МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

16+

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА
И
ИННОВАЦИИ

Научный журнал

Выпуск № 2, 2026

Выходит 4 раза в год

ISSN 2307-910X

Ставрополь – Пятигорск
2026

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL STATE AUTONOMOUS EDUCATIONAL
INSTITUTION FOR HIGHER EDUCATION
"NORTH-CAUCASUS FEDERAL UNIVERSITY"

16+

MODERN SCIENCE AND INNOVATIONS

Scientific journal

Issue No. 2, 2026

Turns out 4 times a year

ISSN 2307-910X

Stavropol - Pyatigorsk
2026

Журнал «Современная наука и инновации» (Sovremennaya nauka i innovatsii)

Учредитель **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»**

История журнала Журнал основан в 2012 году. Дата выхода первого номера: 24.06.2013.

Цель Основной целью журнала является освещение результатов научных исследований отечественный и зарубежных ученых, имеющих высокую теоретическую и практическую значимость.

Главный редактор **Шебзухова Т.А.,** доктор исторических наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный университет (ПИ СКФУ) (Пятигорск, Россия)

Редакционный совет журнала **Вартумян А.А.,** доктор политических наук, профессор председатель (ПИ СКФУ, Пятигорск, Россия); **Першин И.М.,** доктор технических наук, профессор, заместитель председателя (ПИ СКФУ, Пятигорск, Россия); **Евдокимов И.А.,** член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, зам. главного редактора по естественно-научному направлению (СКФУ, Ставрополь, Россия); **Медетов Н.А.,** доктор физико-математических наук, профессор (Костанайский государственный университет им. Байтурсынова, Костанай, Республика Казахстан); **Уткин В.А.,** доктор медицинских наук, профессор (НИИ Курортологии, Пятигорск, Россия); **Веселов Г.Е.,** доктор технических наук, профессор (ЮФУ, Таганрог, Россия); **Григорьев В.В.,** доктор технических наук, профессор (САО УИТМО, Санкт-Петербург, Россия); **Душин С.Е.,** доктор технических наук, профессор (СПб ГЭТУ, Санкт-Петербург, Россия); **Балега Ю.Ю.,** член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук (САО РАН, Верхний Архыз, Россия); **Cynthia Pizarro,** доктор антропологии, профессор, член национального совета понаучным и техническим исследованиям Аргентины (Университет Буэнос-Айреса, Буэнос-Айрес, Аргентина); **Федорова М.М.,** доктор политических наук, профессор (Институт философии РАН, Москва, Россия); **Коробкеев А.А.,** доктор медицинских наук, профессор (СтГМУ, Ставрополь, Россия); **Hannes Meissner,** доктор наук, профессор (Университет прикладных исследований Вены, Вена, Австрия); **Шутов А.Ю.,** член-корреспондент РАН, доктор исторических наук, профессор, зав. каф. истории и теории политики (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия).

Редакционная коллегия **Шебзухова Т.А.,** доктор исторических наук, профессор, главный редактор (ПИ СКФУ, Пятигорск, Россия); **Вартумян А.А.,** доктор политических наук, профессор, зам. главного редактора по гуманитарному направлению (ПИ СКФУ, Пятигорск, Россия); **Першин И.М.,** доктор технических наук, профессор, зам. главного редактора по техническому направлению (ПИ СКФУ, Пятигорск); **Евдокимов И.А.,** член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, зам. главного редактора по естественно-научному направлению (СКФУ, Ставрополь, Россия); **Боташева А.К.,** доктор политических наук, профессор (ПГУ, Пятигорск, Россия); **Брацихин А.А.,** доктор технических наук, профессор (УдГАУ, Ижевск, Россия); **Емельянов С.А.,** доктор технических наук, профессор (СКФУ, Ставрополь, Россия); **Казуб В.Т.,** доктор технических наук, профессор (ПМФИ (филиал) ВолГМУ, Пятигорск, Россия); **Карабущенко П.Л.,** доктор философских наук, профессор (АГУ, Астрахань, Россия); **Корячкина С.Я.,** доктор технических наук, профессор (ОГУ им. И.С. Тургенева, Орел, Россия); **Коновалов Д.А.,** доктор фармацевтических наук, профессор (ПМФИ, Пятигорск, Россия); **Косов Г.В.,** доктор политических наук, профессор (СГУ, Республика Крым, Севастополь, Россия); **Лодыгин А.Д.,** доктор технических наук, доцент (СКФУ, Ставрополь, Россия); **Cynthia Pizarro,** доктор антропологии, профессор, член национального совета по научным и техническим исследованиям Аргентины (Университет Буэнос-Айреса, Буэнос-Айрес, Аргентина); **Маннино Саверио,** профессор, Миланский университет (Милан, Италия); **Пушмина И.Н.,** доктор технических наук, доцент (СФУ, Красноярск, Россия); **Садовой В.В.,** доктор технических наук, профессор (Ставропольский институт кооперации (филиал) Белгородского университета кооперации, экономики и права, Ставрополь, Россия); **Теплый Д.Л.,** доктор биологических наук, профессор, академик РАЕН (АГУ, Астрахань, Россия); **Усманов Р.Х.,** доктор политических наук, профессор (АГУ, Астрахань, Россия); **Тарасов И.Н.,** доктор политических наук, профессор (БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия); **Шабров О.Ф.,** доктор политических наук, профессор (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия); **Храмцова Ф.И.,** доктор политических наук, профессор (филиал РГСУ, Минск, Республика Беларусь); **Oliver Hinkelbein,** доктор наук, профессор (Университет Бремена, Бремен, Германия); **Khalid Khayati,** доктор наук, профессор (Университет Линчопинг, Линчопинг, Швеция); **Чернобабов А.И.,** доктор физико-математических наук профессор (ПИ СКФУ, Пятигорск, Россия); **Чернышев А.Б.,** доктор физико-математических наук, доцент (ПИ СКФУ, Пятигорск, Россия); **Ширинянц А.А.,** доктор политических наук, профессор, зав. каф. истории социально-политических учений (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия); **Шутов А.Ю.,** член-корреспондент РАН, доктор исторических наук, профессор, зав. каф. истории и теории политики (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия).

Ответственный секретарь **Оробинская В.Н.,** кандидат технических наук (Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказского федерального университета (ПИ СКФУ)) (Пятигорск, Россия)

Свидетельство о регистрации СМИ Научный журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-51370 от 10 октября 2012 г.

Подписной индекс Объединенный каталог ПРЕССА РОССИИ. Газеты и журналы: 94010
Журнал включен в новый перечень рецензируемых изданий (ВАК)
БД «Российский индекс научного цитирования».
Свободная цена

Дата выхода в свет текущего номера 15.04.2026.

Типография и издательство ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» филиала СКФУ в г. Пятигорске, 357500, Ставропольский край, г. Пятигорск, ул. Октябрьская / пр. 40 лет Октября, 38/90.

Тираж 500 экз.

Перидиочность 4 выпуска в год.

Адрес адрес издателя: 355017, Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Пушкина 1
адрес редакции: 357500, Ставропольский край, г. Пятигорск, пр. 40 лет Октября, 56

Телефон (879-3) 33-34-21, 8-928-351-93-25

E-mail oponir@pfncfu.ru

ISSN 2307-910X

Материалы журнала открытого доступа в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License, которая разрешает их использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.
Авторское право на оригинал-макет и оформление принадлежит журналу, авторское право на статьи – авторам.

© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», оригинал-макет, оформление, 2026

"Modern Science and Innovations" journal

Founder **Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "North-Caucasus Federal University"**

History of journal The journal was founded in 2012. Release date of the first issue: 06.24.2013.
Purpose The main purpose of the journal is to cover the results of scientific research of domestic and foreign scientists with high theoretical and practical relevance.

Editor-in-Chief **Shebzukhova T.A.,** Dr. Sci. (Hist.), Professor, North-Caucasus Federal University (NCFU)

Editorial Council **Vartumyan A.A.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor, Chairman (PI NCFU, Pyatigorsk, Russia); **Pershin I.M.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (PI NCFU, Pyatigorsk, Russia); **Evdokimov I.A.,** Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Techn.), Professor, Deputy Editor-in-Chief in the natural science field (NCFU, Stavropol, Russia); **Medetov N.A.,** Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (Kostanay State University named after Baitursynov, Kostanay, Republic of Kazakhstan); **Utkin V.A.,** Dr. Sci. (Medicine), Professor (Institute of Spa in Pyatigorsk, Russia); **Veselov G.E.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (Southern Federal University, Taganrog, Russia); **Grigoriev V.V.,** Dr. Sci.(Techn.), Professor (St. Petersburg National Research University Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia); **Dushyn S.E.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (St. Petersburg State Electrotechnical University, St. Petersburg Russia); **Balega Yu.Yu.,** Member-correspondent of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Phys.-Math.) (Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, Upper Arkhyz, Russia); **Dr. Cynthia Pizarro,** Anthropology Professor, Member of the National Council for Scientific and Technical Research of Argentina (University of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina); **Fedorova M.M.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor (Institute of Philosophy, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); **Korobkeev A.A.,** Dr. Sci. (Medicine), Professor (Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia); **Hannes Meissner,** Doctor of Sciences, Professor (University of Applied Studies, Vienna, Austria); **Shutov A.Yu.,** Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Hist.), Professor, Head of the Department of History and Theory of Politics (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia).

Editorial Board **Shebzukhova T.A.,** Dr. Sci. (Hist.), Professor, Chief Editor (PI NCFU, Pyatigorsk, Russia); **Vartumyan A.A.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor, Deputy Chief Editor of the humanitarian direction (PI NCFU, Pyatigorsk, Russia); **Pershin I.M.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor, Deputy Chief Editor of the technical direction (PI NCFU, Pyatigorsk, Russia); **Evdokimov I.A.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); **Botasheva A.K.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor (Pyatigorsk State University, Pyatigorsk, Russia); **Bratsikhin A.A.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia), **Veselov G.E.**, Dr. Sci. (Techn.), Professor; **Emelyanov S.A.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); **Kazub V.T.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute (branch) of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia); **Karabushenko P.L.,** PhD, Professor (Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia); **Koryachkina S.Ya.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (Orel State University, Orel, Russia); **Konovalov D.A.,** Dr. Sci. (Pharmacy), Professor (Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute (branch) of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia); **Kosov G.V.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor (Sevastopol State University, Sevastopol, Russia); **Dr. Cynthia Pizarro,** Anthropology Professor, Member of the National Council for Scientific and Technical Research of Argentina (University of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina); **Pushmina I.N.,** Dr. Sci. (Techn.), Associate Professor (Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia); **Sadovy V.V.,** Dr. Sci. (Techn.), Professor (Stavropol Cooperative Institute (branch) of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Stavropol, Russia); **Teplyi D.L.,** Dr. Sci. (Biol.), Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia); **Usmanov R.Kh.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor (Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia); **Tarasov I.N.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor (Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia); **Shabrov O.F.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia); **Hramtsova F.I.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor (branch of Russian State Social University, Minsk, Republic of Belarus), **Oliver Hinkelbein,** Dr. Sci., Professor (University of Bremen, Bremen, Germany); **Khalid Khayati,** Dr. Sci. Professor (University of Linkoping, Linkoping, Sweden); **Chernobabov A.I.,** Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (PI NCFU, Pyatigorsk, Russia); **Chernyshev A.B.,** Dr. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor (PI NCFU, Pyatigorsk, Russia); **Shirinyants A.A.,** Dr. Sci. (Polit.), Professor, Head of the Department of the History of Socio-Political Doctrines (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia); **Shutov A.Yu.,** Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Hist.), Professor, Head of the Department of History and Theory of Politics (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia).

Executive secretary **Orobinskaya V.N.,** Cand. Sci. (Techn.) (Pyatigorsk Institute (branch) of North-Caucasus Federal University (PI NCFU) (Pyatigorsk, Russia))

Certificate media registration PI No. FS 77-51370 dated October10th2012

Index United catalogue. THE RUSSIAN PRESS. Newspapers and magazines: 94010
The journal is included in the new list of peer-reviewed publications (VAK)
The journal is included in the database of the 'Russian science citation index".
Free price

Publication date of the current issue 15.04.2026.
Printing house and publishing house Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "North-Caucasus Federal University" branch of North-Caucasus Federal University in Pyatigorsk, 357500, Stavropol Territory, Pyatigorsk, st. Oktyabrskaya / 40 Let Oktyabrya Ave., 38/90.
Circulation 500 copies
Frequency 4 issues per year.
Address publisher's address: 355017, Stavropol Territory, Stavropol, Pushkin St., 1
editorial office address: 357500, Stavropol Territory, Pyatigorsk, 40 let Octyabrya Ave., 56
Phone (879-3) 33-34-21, 8-928-351-93-25
E-mail oponir@pfncfu.ru
ISSN 2307-910X

Journal content is an open access under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright for the original layout and design belongs to the journal, copyright for the articles belongs to the authors.

© FSAEI HE "North-Caucasus Federal University", original layout, design, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Сергей Александрович Корниенко, Алина Раисовна Багаутдинова
АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ПРИНЯТИИ КОМПРОМИССНОГО РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ 9

Иван Валерьевич Азаров, Наталия Владимировна Кононова, Данила Эдуардович Суренков, Глеб Алексеевич Семенов, Олег Арменович Санамян
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ SQL-ИНЪЕКЦИЙ 18

Флоринский Олег Святославович, Барышников Андрей Андреевич
АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИЙ СИСТЕМ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФРЕЙМВОРКОВ 33

Владимир Андреевич Андреев
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ДО ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ 42

Алексей Витальевич Вечканов, Александр Сергеевич Гиш
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 61

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Софья Игоревна Фурсова, Алексей Дмитриевич Лодыгин, Иван Алексеевич Евдокимов
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ГЛУБОКОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ 69

Олеся Сергеевна Бутримова, Роман Олегович Будкевич
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЕКТИНА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РОСТА ШТАММОВ *LACTOCOCCUS LACTIS* И *LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM* И СОХРАНЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ИНКАПСУЛИРОВАНИИ 88

Екатерина Андреевна Казанцева, А.В. Копылова
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРЕСНОГО ТЕСТА С ОБОГАЩЕНИЕМ ПОРОШКОМ ПАПОРОТНИКА-ОРЛЯКА: ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ, КАЧЕСТВА И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ 100

Елизавета Маисовна Юсуфова, Елена Александровна Губарева, Евгений Васильевич Слипченко
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЛЛУСНОЙ ТКАНИ *ECHINACEA PURPUREA* 113

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Валерия Николаевна Оробинская

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ АМИНОКИСЛОТНЫХ БИОСТИМУЛЯТОРОВ В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПИЩЕВЫХ И СЕЛЬКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЦЕЛЕЙ (ОБЗОР) 121

Ковалев Павел Александрович, Эдуард Анатольевич Пронин
ПОЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРЖДАНСКО-ПАТРИОТИЧЕСКИХ ЦЕННОСТЕЙ В КОНТЕКСТЕ ОНЛАЙН ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 130

Елена Анатольевна Даниленко
МИКОТОКСИНЫ В КУКУРУЗЕ: ОТ ПОЛЕВОЙ ПАТОЛОГИИ К УГРОЗЕ ЗДОРОВЬЮ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА (ОБЗОР) 135

Ирина Александровна Герейханова, Александр Владимирович Сливков
МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ PR-СТРАТЕГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ИМИДЖА ИСПОЛНИТЕЛЯ 142

Илья Викторович Слепых
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУЛЬТУР (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР) 148

ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ксения Геннадьевна Минец
О ПЕРСПЕКТИВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В АНАЛИЗЕ ПОЛИТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА «РУССКОГО МИРА» 159

Дмитрий Сергеевич Чекменев, Александр Юрьевич Бородаев
ОСОБЕННОСТИ ПОЛИТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДОВ-КУРОРТОВ РЕГИОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД 166

Алексей Викторович Агапов
СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОПОЛИТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ В СУБРЕГИОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ В УСЛОВИЯХ ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ НОВОГО МИРОПОРЯДКА 174

Надежда Юрьевна Шумова
ГУМАНИТАРНАЯ ПОМОЩЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ВЛИЯНИЯ В СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ 182

Наталья Валерьевна Сараева, Мария Николавена Разомазова, Наталия Николаевна Пачина
ИНСТРУМЕНТЫ ЯЗЫКОВОЙ ПОЛИТИКИ МНОГОНАЦИОНАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВА В КОНСТРУИРОВАНИИ НАЦИОНАЛЬНО-ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ 188

ДИСКУССИОННЫЕ СТАТЬИ

Саглар Алексеевна Манкаева, Герел Батровна Болаева, Ангелина Викторовна Муева, Хечеев Бембя Валерьевич
ДИАГНОСТИКА РЕЧЕВЫХ НАРУШЕНИЙ В ПСИХОЛОГО-ЛОГОПЕДИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: КРОСС-ЯЗЫКОВАЯ ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ SLOWFAST 200

Требования к оформлению рукописей 213

CONTENTS

TECHNICAL SCIENCES
INFORMATION, COMPUTING AND MANAGEMENT

Sergey Al. Kornienko, Alina R. Bagautdinova
ANALYSIS OF COMPLEX ASSIGNMENT INDICATORS WHEN MAKING A COMPROMISE SOLUTION USING VECTOR OPTIMIZATION IN MULTI-CRITERIA TASKS 9

Ivan V. Azarov, Natalia Vl. Kononova, Danila E. Surenkov, Gleb Al. Semenov, Oleg A. Sanamyan
THE INVESTIGATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR DETECTING SQL INJECTIONS 18

Oleg S. Florinskiy, Andrey A. Baryshnikov
ANALYSIS OF IMPLEMENTATIONS OF GRAPHICAL INTERFACE DESIGN SYSTEMS USING VARIOUS FRAMEWORKS 33

Vladimir A. Andreev
METHODOLOGICAL APPROACHES TO ORGANIZING THE COMPLETE PRODUCTION CYCLE OF BLOCK-MODULAR BOILER HOUSES FROM TECHNICAL SPECIFICATION TO COMMISSIONING 42

Aleksey A. Vechkanov , Alexander S. Gish
DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL FOR PROTECTING DATA GENERATION FOR MACHINE LEARNING 61

TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS

Sofia Igorevna Fursova, Aleksei Dmitrievich Lodygin, Ivan Alekseevich Evdokimov
MODERN TRENDS IN THE USE OF PRODUCTS OF DEEP FRACTIONATION OF DAIRY RAW MATERIALS IN FUNCTIONAL NUTRITION TECHNOLOGY 69

Olesya Sergeevna Butrimova , Roman Olegovich Budkevich
EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF PECTIN ON THE GROWTH RATE OF LACTOCOCCUS LACTIS AND LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM STRAINS AND THE PRESERVATION OF MICROBIAL VIABILITY DURING ENCAPSULATION 88

Ekaterina Andreevna Kazantseva, A.V. Kopylova
DEVELOPMENT OF A NEW RANGE OF FLOUR PRODUCTS MADE FROM UNLEAVENED DOUGH WITH THE ADDITION OF BRACKEN POWDER: ENSURING SAFETY, QUALITY AND COMPETITIVENESS 100

Elizaveta Maisovna Yusufova, Elena Aleksandrovna Gubareva, Evgeny Vasilyevich Slipchenko
OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF THE NUTRIENT MEDIUM FOR OBTAINING CALLUS TISSUE OF *ECHINACEA PURPUREA* 113

SHORT REPORTS

Valeria N. Orobinskaya
EFFECTIVENESS OF USING COMPLEX AMINO ACID BIOSTIMULATORS IN GRAIN CULTIVATION FOR FOOD AND AGRICULTURAL PURPOSES (REVIEW) 121

Pavel A Kovalev, Eduard A. Pronin
POLITICAL ASPECTS OF THE FORMATION OF CIVIC AND PATRIOTIC VALUES IN THE CONTEXT OF ONLINE EDUCATION IN RUSSIA: CHALLENGES AND PROSPECTS 130

Elena A. Danilenko
MYCOTOXINS IN MAIZE: FROM FIELD PATHOLOGY TO ANIMAL AND HUMAN HEALTH THREATS (A REVIEW) 135

Irine Alexandrovna Gereikhanova, Alexander Vladimirovich Slivkov
MODELS AND METHODS OF DEVELOPING A PR STRATEGY FOR THE FORMATION OF AN ARTIST'S IMAGE 142

Ilya V. Slepykh
MODERN PROBLEMS AND OPPORTUNITIES FOR USING BIOLOGICAL PRODUCTS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX FOR CULTIVATING CROPS (ANALYTICAL REVIEW) 148

POLITICAL SCIENCES

Minets Ksenia Gennadievna 159
ON THE PERSPECTIVE OF APPLYING MATHEMATICAL METHODS IN THE ANALYSIS OF THE POLITICAL SPACE OF THE "RUSSIAN WORLD"

Dmitry Sergeevich Chekmenev, Borodaev Alexander Yurievich
FEATURES OF POLITICAL MANAGEMENT OF ENSURING PUBLIC SAFETY OF RESORT TOWNS OF THE CAUCASIAN MINERAL WATERS REGION 166

Alexey Victorovch Agapov
MODERN GEOPOLITICAL TRANSFORMATIONS IN THE SUB-REGION OF SOUTHEAST ASIA IN THE CONTEXT OF THE EMERGING NEW WORLD ORDER 174

Nadezhda Y. Shumova
HUMANITARIAN AID AS AN INSTRUMENT OF INFLUENCE IN A STRATEGIC PERSPECTIVE 182

Natalia N. Saraeva, Maria N. Razomazova, Natalia N. Pachina
LANGUAGE POLICY INSTRUMENTS OF A MULTINATIONAL STATE IN THE CONSTRUCTION OF NATIONAL-STATE IDENTITY 188

DISCUSSION PAPERS

Saglar Alekseevna Mankaeva, Gerel Batrovna Bolaeva, Angelina Viktorovna Mueva, Khecheev Bembya Valerievich 200
DIAGNOSTICS OF SPEECH DISORDERS IN PSYCHOLOGICAL AND SPEECH THERAPY PRACTICE: CROSS-LINGUAL VALIDATION OF THE SLOWFAST MODEL

Requirements for preparation of manuscripts 213

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ | TECHNICAL SCIENCES

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С..9-17
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Modern Science and Innovations. 2026;(2)9-17
TECHNICAL SCIENCES
INFORMATION, COMPUTING AND MANAGEMENT

Научная статья
УДК 519.8: 519.85
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.1

Анализ комплексных показателей назначения при принятии компромиссного решения с использованием векторной оптимизации в многокритериальных задачах

Сергей Александрович Корниенко[1,2], Алина Раисовна Багаутдинова[2,*]

[1] Филиал федерального государственного унитарного предприятия «Главный радиочастотный центр» в Южном и Северо-Кавказском Федеральных округах, 355008, Россия, г.Ставрополь, ул. Орджоникидзе, 69
[2] Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.
[1]rfc-stv@yandex.ru
[2]bagaauttdinova@mail.ru

[*]Автор, ответственный за переписку: **Багаутдинова Алина Раисовна,** bagaauttdinova@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с выбором оборудования для систем контроля радиочастотного спектра в условиях многокритериальности и противоречивости требований к их характеристикам. Анализируются подходы к определению весовых коэффициентов, позволяющих агрегировать разнородные показатели, такие как точность пеленгования, диапазон частот, быстродействие, помехоустойчивость и другие, в единый интегральный критерий. Основное внимание уделено трём группам показателей назначения: комплексным, экономическим и технико-экономическим. Для каждой из них выявлены особенности формирования и ограничения при практическом применении. Показано, что использование только технических или только экономических критериев не даёт полной картины, необходимой лицу, принимающему решение. Наибольшую ценность представляют технико-экономические показатели, позволяющие связать достигаемый технический эффект с затратами различного вида. Однако, как отмечается в работе, применение таких критериев, как отношение эффекта к затратам, требует дополнительного анализа зависимости между этими величинами. При линейном характере связи использование подобных критериев оправдано, в противном случае необходимо приводить сравниваемые варианты к сопоставимому виду или привлекать экспертные оценки. Результаты могут быть полезны специалистам, занимающимся модернизацией и развитием систем радиоконтроля, а также тем, кто участвует в тендерных процедурах по выбору подобного оборудования.

Ключевые слова: многокритериальные задачи, векторная оптимизация, компромиссное решение, комплексные показатели назначения, системы радиоконтроля, технико-экономическая эффективность, весовые коэффициенты, принятие решений.

Для цитирования: Корниенко А.С., Багаутдинова А.Р. Анализ комплексных показателей назначения при принятии компромиссного решения с использованием векторной оптимизации в многокритериальных задачах // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 9-17. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.1

© Корниенко А.С., Багаутдинова А.Р., 2026

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.01.2026;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

Analysis of complex assignment indicators when making a compromise solution using vector optimization in multi-criteria tasks

Sergey Alexandrovich Kornienko[1,2], Alina Raisovna Bagautdinova[2]

[1] Branch of the Federal State Unitary Enterprise "Main Radio Frequency Center" in the Southern and North Caucasian Federal Districts, 355008, 69 Ordzhonikidze St., Stavropol, Russia,
[2] North-Caucasus Federal University, 355017, 1 Pushkin St., Stavropol, Russia

[1]rfc-stv@yandex.ru;
[2]bagaauttdinova@mail.ru

[*] Corresponding author **Alina Raisovna Bagautdinova**, bagaauttdinova@mail.ru

Abstract: The article discusses issues related to the choice of equipment for radio frequency spectrum monitoring systems in conditions of multiple criteria and conflicting requirements for their characteristics. The approaches to determining weighting coefficients are analyzed, which make it possible to aggregate heterogeneous indicators such as bearing accuracy, frequency range, speed, noise immunity, and others into a single integral criterion. The main attention is paid to three groups of indicators of purpose: complex, economic, and techno-economic. For each of them, the peculiarities of formation and limitations in practical application are revealed. It is shown that using only technical or only economic criteria does not provide the complete picture needed by the decision maker. The most valuable technical and economic indicators are those that make it possible to link the achieved technical effect with various types of costs. However, as noted in the paper, the application of criteria such as the ratio of effect to cost requires additional analysis of the relationship between these values. If the relationship is linear, the use of such criteria is justified, otherwise it is necessary to bring the compared options to a comparable form or involve expert assessments. The results may be useful to specialists involved in the modernization and development of radio monitoring systems, as well as to those who participate in tender procedures for the selection of such equipment.
Keywords: multi-criteria tasks, vector optimization, compromise solution, complex assignment indicators, radio monitoring systems, technical and economic efficiency, weighting factors, decision-making.

For citation: Kornienko A.S., Bagautdinova A.R. Analysis of complex assignment indicators when making a compromise solution using vector optimization in multi-criteria problems *Modern Science and Innovations*. 2026;(1):9-17. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.1
Conflict of interest: the autors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.04.2026;
approved after reviewing 01.05.2026;
accepted for publication 01.06.2026.

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 21.01.2026;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Introduction. In today's increasingly intense information warfare environment, the use of radio frequency spectrum (RFS) monitoring systems (hereinafter referred to as RFSMS) plays a crucial role in ensuring the security of both the state and various sectors of activity.

In general, the effectiveness of the RFSMS can be characterized by the following indicators:

1) the ability to quickly and accurately detect the source of unwanted radio emissions (RE),

2) classify the technical parameters of such an RE,

3) make a decision on further work with the RE.

The RFSMS system must be highly productive and effective, and in order to make a decision on its development, renewal or modernization, and the search for current (alternative) and promising design options, it is possible to use a multi-criteria analysis method (MCA), which, from several proposed RFSMS alternatives, will allow one to find solutions that best satisfy all criteria or represent an optimal compromise between them.

RFSMS [2] are complex systems that are characterized by such features as: 1) emergence (integrity), 2) the presence of heterogeneous connections, 3) robustness, therefore, it is practically impossible to select the required system without taking into account many characteristics, but only using the intuition of the decision maker (DM).

To conduct a multi-criteria analysis, it is necessary to determine the parameter weights (weighting coefficients), since only with their help it is possible to ensure the unification (aggregation) of various indicators, such as frequency range, direction finding accuracy, speed, the possibility of panoramic analysis and direction finding, work with databases, reliability, placement requirements, etc., into a single aggregate (integral) indicator and ultimately make a final decision.

The purpose of the article is to analyze and systematize existing approaches to assessing weights when conducting a generalized quantitative analysis of existing RFSMS, as well as to identify components that will influence the choice of methodology for determining weighting coefficients.

In compromise decision-making problems solved using vector optimization, there are always conflicting criteria, whereby improving one leads to a deterioration in the other, or vice versa. The situation is even worse when the criteria are not only contradictory but also irreducible (expressed in different units of measurement).

Thus, the vector optimization problem is one of making a compromise decision, taking into account the performance indicators that characterize the main parameters of the emergency response system, defining the primary tasks it is designed to perform. These indicators play a significant role in assessing the quality of equipment when finding the best solutions.

Let us consider the designation indicators by which it is proposed to evaluate the weighting coefficients when making a compromise decision: 1) complex designation indicators, 2) economic complex designation indicators, 3) technical and technical-economic designation indicators.

Complex purpose indicators.

Complex designation indicators are indicators presented in the form of a product of the quality indicators of any system K_i, in our case the RFSMS:

$$K_I = K_1 K_2 ... K_n \tag{1}$$

and the quotient obtained by dividing some indicators by others:

$$K_{II} = \frac{K_1 K_2 ... K_m}{K_{1+m} K_{m+2} ... K_n}, \tag{2}$$

where K_i — technical parameters, economic, social and time indicators. When assessing the effectiveness of the emergency response system, the article proposes to use the following general indicators [3]: the size of the zone (territory) of operation, the nature of use, the functions performed, the performance of the systems, design limitations during production and installation, cost, minimization of damage from the purchase, the time from order to commissioning, the expected social significance of the purchased emergency response system.

The use of these generalized indicators will allow us to consider several quality indicators and, based on them, formulate a generalized performance indicator. These indicators make it clear that each must be assessed across all proposed SRFSMS.

Let us analyze and divide the complex indicators for the appointment of the SRFSMS into three groups:

1) indicators, all components of which are not presented in monetary terms;

2) indicators, all components of which are expressed in monetary terms;

3) indicators, some of whose components have a monetary expression, while the other part is not presented in monetary form.

The indicators of the 1st group characterize technical efficiency and are formed by combining the technical characteristics of the RFSMS.

To evaluate the effectiveness of the RFSMS, it is necessary to develop a set of technical parameters that characterize its operation, such as its intended purpose (radio emission measurement or direction finding), operating mode, installation location, tasks, the existing electromagnetic environment (EME), prospects for the development of radio technologies in the region, and much more. We will highlight the first group of indicators (technical parameters) characterizing the capabilities and functionality of the RFSMS:

1) operating frequency range – characterizes the frequency range in which the system is capable of finding, detecting and monitoring RE;
2) sensitivity of the receiving device (the threshold for detecting the radioactive source by reception) – characterizes the minimum level of RE at which the system is able to detect it;
3) dynamic range (of the receiving device of the RFSMS) characterizes the difference between the minimum and maximum signal levels of the RE, which the receiving device can correctly process, detect or measure without distortion;
4) resolution (frequency or time), where the first determines how closely spaced in frequency the irradiated radiation sources can be recorded as separate ones, and the second determines the minimum time interval within which the system is able to record the irradiated radiation sources;
5) The measurement error of the main parameters of the RE characterizes the accuracy and reliability of the data received by the system;
6) directional characteristics (for direction-finding antennas), this is the ability of the system to distinguish signals that come from close angular directions and the error in the angle at which the system determines the RE;
7) bandwidth (frequency range scanning speed) characterizes the number of signals that the system is capable of processing per unit of time;
8) probabilistic characteristics of detection of RE:

- probability of detection (P^d) : the probability that the system will detect a radioactive source of a certain type/level within its coverage area,

- probability of false alarm (P^f) : the probability that the system will “detect” an RE where it does not exist,

- probability of correct classification : the probability of correct determination of the type of radioactive source (modulation, affiliation, etc.), if the system is provided with a classification function;

9) reaction time (detection and processing of the RE) is the time interval between the appearance of a signal from the RE until its recording;

10) bandwidth (spectral window) is the frequency band within which monitoring can be carried out simultaneously (relevant for broadband systems);

11) resistance to interference and overload, this is the ability of the system to operate in conditions of high interference, both intentional and unintentional, and to prevent overload of the input paths;

12) operational reliability and fault tolerance, this is the probability of failure-free operation, resistance to external factors;

13) automation and integration, this is the level of automation of the processes of direction finding, detection, measurement, identification and classification of radio signals, the ability to integrate into other systems (for example, into frequency resource management systems, into radio environment analysis programs);

14) the spatial control zone (coverage), as a rule, depends on the height of the antennas, the power of the radio waves, the geographical features of the region and the frequency of the signal;

15) power consumption and infrastructure requirements, it is necessary to take into account the manufacturer's requirements for power supply, cooling, dimensions and weight of the equipment.

The indicators of the 2nd group include: the payback period of capital investments, the comparative efficiency coefficient, minimizing the damage from the purchase of the RFSMS, and an analysis of indicators determined by the difference between costs and effects.

Economic complex indicators of destination.

The most common economic indicators are indicators of the effect-cost ratio or the difference W-E.

Since effects and costs are measured on a common scale of value, their application does not require additional research. Let us list the main types of economic effects and costs. The economic effect of the RFSMS is determined by the sphere and period of its manifestation, as well as the volume of output. Depending on the sphere of manifestation, the following types of effect are distinguished: effect at the producer (in the sphere of production of new systems); effect at the consumer (in the sphere of operation of the RFSMS); and state (national economic) effect.

In this article, we only consider the effect that the consumer will experience when he begins to use the RFSMS.

The economic effect for the consumer characterizes the efficiency of the emergency response system if it reflects only the interests of the consumer enterprise.

The economic effect of the emergency response system can be determined over various time intervals: annual economic effect; economic effect for the entire service life of the systems.

In this case, we assume that the effect is the savings in current costs for the compared options i and j , obtained during the payback period T of capital investments. The costs are capital investments $\Delta K = K_{эj} - K_{эi}$. Then, to determine the more effective option, the following formula can be used:

$$\sum_{t=1}^{T} (C_{ýi} - C_{ýj})_t = K_{ýi} - K_{ýj} \tag{3}$$

where $C_{ýi}$, $C_{ýj}$ are current costs for the compared options in the t -th year excluding depreciation charges.

The meaning of formula (3) is that with a more capital-intensive option, the amount of savings on operating costs over time T should be no less than the capital investment. Otherwise, the condition for the payback of capital investments will be written as

$$\frac{Ý}{W} = \frac{\sum_{t=1}^{T} (C_{ýi} - C_{ýj})}{K_{ýj} - K_{ýi}} = 1 \tag{4}$$

Formula (4) can be represented graphically on a chart (Figure 1). This chart shows the dependence of costs and benefits on time for two options for selecting the RFSMS (I and II).

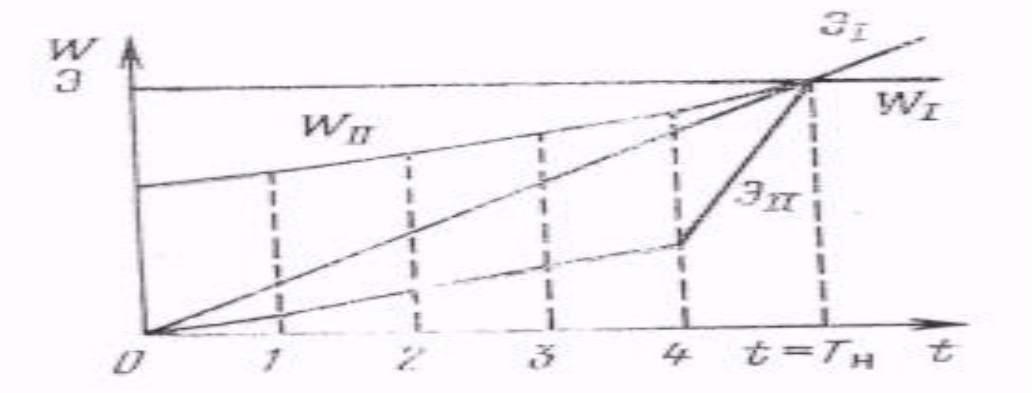


Figure 1. Dependence of costs and effects on time

In the first case, capital investments W_I are constant, and savings on operating costs increase linearly over time.

Both E_{II} and W_{II} vary nonlinearly with time . Although in both cases the ratio E / W = 1 at $t = T_n$, the results of these examples cannot be considered equivalent. This is due to the fact that although the effect obtained over time T_n is the same in both cases, it is distributed unequally over time. The same applies to capital investments. To identify the best technical solution, it is necessary to take the time factor into account in the analysis.

When using cost criteria such as E / W, it is necessary to consider the dependence of E and W on the degree of achievement of the goal q. The degree of achievement can be considered, for example, the performance of the RFSMS, which is characterized by the speed of panoramic spectral analysis of signals at a given resolution and dynamic range.

Figure 2 shows the nonlinear dependencies E (q) and W (q). It follows from the figure that the ratio E / W depends significantly on q. When comparing the i-th and j-th systems, the efficiency condition for the i -th system has the form $E > W_t$. This condition is satisfied for the range of values $q^*_1 < q < q^*_2$. When $q < q^*_1$ and $q > q^*_2$ The i -th system turns out to be less efficient than the j -th. Thus, given the nonlinear nature of the dependencies E(q) and W (q), in order to select the most efficient option for technical solutions, it will be necessary to study the relationship in a specific area.

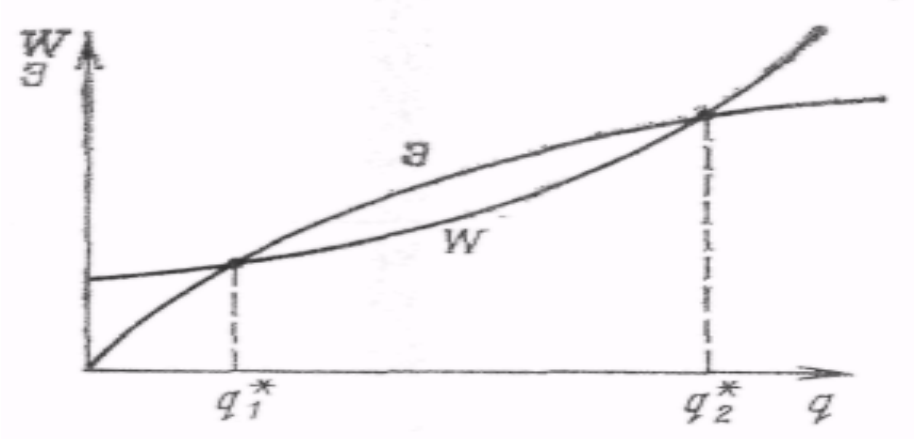


Figure 2. Nonlinear dependencies E(q) and W(q).

These studies address economic indicators that do not provide complete information for making decisions on the supply of the RFSMS.

The third group of indicators are technical and economic ones and therefore are of greatest interest when selecting optimal options for new emergency response systems. These indicators include: costs per unit of produced systems and the ratio of the technical effect of a given type to costs.

Regardless of the type of complex purpose indicator, when using them, it is still necessary to conduct a certain analysis. The main elements of this analysis are: establishing the meaning and content of the quantities E and W; determining the dependencies of the effect and costs on time; analyzing the dependencies of E and W on the degree of goal achievement when applying the - compared RFSMS.

Technical and technical-economic indicators of the purpose.

The technical complex designation indicators are:

$$K_{IT} = K_{1T} K_2 T ... K_{nT} \quad (7)$$

$$K_{IIt} = \frac{K_{1t} K_{2t} ... K_{mt}}{K_{(m+1)T} ... K_{nt}} \quad (8)$$

where K_{it} is the i -th particular technical quality indicator.

Although the K_{IT} and K_{IIT} indicators generalize a number of specific indicators, they are of a local nature, as their formation does not take into account economic quality indicators. This does not

mean that technical integrated performance indicators are completely unsuitable. However, when using them, it is necessary to consider the economic and social significance of the specific K_{it} indicators.

Let's analyze this using some examples.

The operating frequency range of a radio receiver built into the RFSMS is the range of possible tuning frequencies within which its basic characteristics are ensured. For smooth tuning, the frequency range is defined by the limiting frequencies $f_{0\ min} - f_{0\ max}$. The relative range is characterized by the overlap coefficient

$$to_P = f_{0\ min} / f_{0\ max} \quad (9).$$

This parameter is used to compare the proposed RFSMS; the receivers used in such equipment must have a high coverage factor.

However, the economic significance of the overlap coefficient k_{Π} in the whole system of the SCCRHS in the general case is not the same.

Let us assume that when comparing two variants of the proposed RFSMS, the condition $k_{P1} = k_{P2}$ is satisfied, where $k_{P1} = f_{0\ min\ 1} / f_{0\ max\ 1}$ and $k_{P2} = f_{0\ min\ 2} / f_{0\ max\ 2}$. The equality $k_{P1} = k_{P2}$ can be ensured by various combinations of parameters $f_{0\ min}$ and $f_{0\ max.}$

The economic consequences of implementing these relationships will depend on the receivers used in the RFSMS. For example, the importance of the frequency band will depend on the wavelength range used (decameter or meter).

Another important characteristic of the radio receiver in the RFSMS is the dynamic range and the intersection points for second- and third-order intermodulation.

Intermodulation in a receiver is the occurrence of interference at the output of a radio receiver when two or more interfering signals with frequencies outside the main and side channels are applied to its input. This type of interference is called intermodulation.

In the general case, the excess of the useful signal over the intermodulation components of the n-th order:

$$\Delta_n = P_1 - P_n = (IP_n - P_{in}) - n\,(IP_n - P_{in}) = (n-1)(IP_n - P_{in}) \quad (10)$$

n-th order intermodulation is determined by the formula:

$$D_n = (IP_n - P_{pr})\ n - 1/n \quad (11)$$

Ensuring the required operating frequency range, dynamic range for n-th order intermodulation, and n-th order intermodulation components will be associated with different costs of selecting a receiving device for the RFSMS. Therefore, when using generalized indicators such as the overlap coefficient k_P, intermodulation components Δ_n, dynamic range D_n for a technical and economic assessment of the compared RFSMS, additional analysis will be required.

In this case, it will be necessary to bring the compared options into a comparable form according to individual parameters K_{iT} (in the example under consideration, according to the parameters k_{Π}, Δ_n, D_n) or to evaluate their significance using expert assessment methods.

When conducting additional analysis, the reliability of the data obtained may not correspond to the actual data.

Therefore, without dwelling further on technical complex quality indicators, we will consider the characteristics of similar technical and economic indicators. In practice, indicators such as E_t / W or W / E_t are widely used, where E_t is the technical effect and W is the economic costs of one type or another. Such indicators include:

- the volume of output per unit of capital investment;
- costs associated with servicing the unit of the RFSMS;
- operating costs per measurement or direction finding of a radiation source.

As indicated in [4], the efficiency of the RFSMS for performing certain tasks can be compared using the ratio

$$E_1 / E_2 = (G_1 / C_1) / (G_2 / C_2), \quad (12)$$

where $G_1 G_2$ – results of using the proposed RFSMS options 1 and 2; C_1, C_2 – costs of creating and operating the specified RFSMS.

It is also possible to evaluate using indicators such as:

$$E' = G - C \text{ and } E'' = G / C \quad (13)$$

In practice, indicators of the G / C type are considered more "convenient" than the E' = G - C indicator, since the latter can only be used if G and C have the same dimensionality (the same units of measurement). However, both the first and second indicators have shortcomings. Suppose that G and C are expressed in monetary terms. It would seem that the E' criterion can be used in this case. However, when applying it, costs C are subtracted from the result G. If G is the economic effect and C is the discounted costs, then such a subtraction will in some cases be invalid. This is due to the different structures of the indicators of economic effect and costs.

For example, if the payback period formula is used, the costs are additional capital investments. The economic benefit is the savings on operating costs. In this case, adding and subtracting the benefits and costs is impossible.

G / C indicator has certain advantages over the E = G - C indicator, since when using it, the effect and cost indicators can have different dimensions. The disadvantage of such criteria is that the same value of E' can be obtained with different combinations of G and C. When comparing two types of RFSMS using this criterion, the following conditions can be met: $E'_1 = E''_2$; $G_1 >> G_2$; $C_1 >> C_2$. The choice of a more effective option is associated with one or another degree of uncertainty

Conclusion.

According to the presented results, the selection of comprehensive performance indicators is crucial when conducting a detailed analysis of the RFSMS tender proposals. The outcome of the selection process will largely depend on the selection of these indicators to make the right decision. Having analyzed the three types of indicators, it can be concluded that the most appropriate approach is to conduct an analysis based on technical and economic indicators, as they are interrelated and not isolated.

It seems that when using criteria like G / C, it is necessary to identify the relationship G = f (C). If this relationship is linear, their use will be justified. Otherwise, it will be necessary to either compare the options in terms of effect or cost, or determine their importance using expert methods.

Список источников

1. Корниенко С. А. Применение векторной оптимизации при выборе оборудования радиоконтроля // Сборник трудов 13-й международной открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях». - Воронеж: Научная книга, 2008. - Вып. 13. - С. 139–268.

2. Корниенко С. А. Применение системного анализа при оценке структурной сложности служб радиоконтроля. - Воронеж: Информационные технологии моделирования и управления, 2007. - 160 с.

3. Корниенко С. А. Применение системного анализа для разработки математической модели оценки структурной сложности систем и подсистем радиоконтроля различных уровней радиочастотной службы // Вестник СОНИИР: Периодический теоретический и научно-практический журнал. - Самара: 2007. - № 4(18). - С. 67-72.

4. Цветков А. Г. Принципы количественной оценки эффективности радиоэлектронных средств / под ред. С. Ф. Матвеевского. - Москва: Советское радио, 1971. - 200 с.

5. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / под ред. А. М. Рембовского. - М: Горячая линия - Телеком, 2006. - 492 с.

6. Бузов А. Л., Быховский М. А. (ред.), Васехо Н. В., Волкова Ю. В. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: учеб. пособие для вузов. - М: Эко-Трендз, 2006. - 372 с.

7. Подиновский В. В. Математическая теория выработки решений в сложных ситуациях: учебник / В. В. Подиновский. - Москва: М-во обороны СССР, 1981. - 210 с.

8. РД 45.193-2001. Руководящий документ отрасли. Оборудование станций радиоконтроля. Общие технические требования. - М: ЦНТИ «Информсвязь», 2001. - 18 с.

9. Юрлов Ф. Ф. Технико-экономическая эффективность сложных радиоэлектронных систем / Ф. Ф. Юрлов. - Москва: Советское радио, 1980. - 278 с: ил., табл. - Библиогр.: с. 268-271.

10. Гостев В. В., Сорокин В. А. Многокритериальные методы оценки эффективности радиоэлектронных систем. М.: Радио и связь, 2010. – 38 с.

11. Савельев А. Б. Методы многокритериального анализа в задачах управления и принятия решений. СПб.: Питер, 2015. – 44 с.

References

1. Kornienko S. A. Application of vector optimization in the selection of radio monitoring equipment // Proceedings of the 13th International open scientific conference "Modern problems of informatization in modeling and social technologies". Voronezh: Scientific Book, 2008. Vol. 13. - Pp. 139-268.

2. Kornienko S. A. The use of system analysis in assessing the structural complexity of radio monitoring services. Voronezh: Information Technologies of Modeling and Management, 2007. 160 p.

3. Kornienko S. A. Application of system analysis to develop a mathematical model for assessing the structural complexity of radio monitoring systems and subsystems at various levels of the radio frequency service // Bulletin of SONIR: A periodic theoretical and scientific-practical journal. - Samara: 2007. - № 4(18). - Pp. 67-72.

4. Tsvetkov A. G. Principles of quantitative assessment of the effectiveness of electronic means / ed. by S. F. Matveevsky. - Moscow: Soviet Radio, 1971. - 200 p.

5. Rembovsky A.M., Ashikhmin A.V., Kozmin V. A. Radio monitoring: tasks, methods, tools / edited by A.M. Rembovsky. Moscow: Hotline - Telecom, 2006. 492 p.

6. Buzov A. L., Bykhovsky M. A. (ed.), Vasekho N. V., Volkova Yu. V. Radio frequency spectrum control and electromagnetic compatibility of radio systems: textbook. handbook for universities. Moscow: Eco-Trends, 2006. 372 p.

7. Podinovsky V. V. Mathematical theory of decision-making in difficult situations: textbook / V. V. Podinovsky. Moscow: Ministry of Defense of the USSR, 1981. 210 p.

8. RD 45.193-2001. An industry guidance document. Equipment of radio monitoring stations. General technical requirements. Moscow: Central Research Institute "Informsvyaz", 2001. 18 p.

9. Yurlov F. F. Technical and economic efficiency of complex electronic systems / F. F. Yurlov. - Moscow: Soviet Radio, 1980. - 278 p.: ill., table. - Bibliogr.: pp. 268-271.

10. Gostev V. V., Sorokin V. A. Multicriteria methods for evaluating the effectiveness of radioelectronic systems. Moscow: Radio and Communications, 2010. 38 p.

11. Savelyev A. B. Methods of multicriteria analysis in management and decision–making problems. St. Petersburg: Peter, 2015. 44 p.

Информация об авторах

Корниенко Сергей Александрович – доцент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь. Researcher ID: QAY-5617-2026

Багаутдинова Алина Раисовна – студент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь. Researcher ID: QAY-3762-2026

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Kornienko Sergey Alexandrovich – Associate Professor, North-Caucasus Federal University, Stavropol. Researcher ID: QAY-5617-2026.

Bagautdinova Alina Raisovna – Student, North-Caucasus Federal University, Stavropol. Researcher ID: QAY-3762-2026

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 18-32
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):18-32
TECHNICAL SCIENCES
INFORMATION, COMPUTING AND MANAGEMENT

Научная статья
УДК 004.724.4, 004.8: 004.056.5
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.2

Исследование методов машинного обучения для обнаружения SQL-инъекций

Иван Валерьевич Азаров[1], Наталия Владимировна Кононова[2], Данила Эдуардович Суренков[3], Глеб Алексеевич Семенов[4*], Олег Арменович Санамян[5]

[1, 3, 4, 5]Северо-Кавказский федеральный университет Россия, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.
[2]филиал РТУ МИРЭА в г. Ставрополь, 355035, г. Ставрополь, проспект Кулакова, 8а.
[1]iazarov@ncfu.ru;
[2]knv_fm@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8988-0694
[3]dsurienkov@mail.ru
[4]glebsemenov2003@gmail.com; https://orcid.org/0009-0004-1850-9021
[5]s.oleg.s2003@gmail.com; https://orcid.org/0009-0002-3667-2901

[*]Автор, ответственный за переписку: **Семенов Глеб Алексеевич,** glebsemenov2003@gmail.com.

Аннотация: ***Введение.*** В статье рассматривается задача обнаружения SQL-инъекций в HTTP-запросах с использованием методов машинного обучения. Модели обучались на датасете, содержащем более 120 000 HTTP-запросов, разделённых на легитимные и содержащие SQL-инъекции. Каждый запрос формирован признаковым описанием, его размерность уменьшена, для этого использовался метод главных компонентов. Число компонент, с которыми проводилось исследование каждой модели и находилось в диапазоне от 2 до 14. ***Материалы и методы.*** В исследование участвуют различные модели: Probabilistic Neural Network(PNN), Naive Bayes, Multilayer Perceptron с алгоритмом RProp, Fuzzy Rule, k-Nearest Neighbors(KNN), Random Forest, Decision Tree и Gradient Boosted Trees. Оценка качества выполняется по метрикам полноты и точности выявления атак. Оценка переобучения выполняется по метрику ROC-AUC. ***Результаты и обсуждение.*** Проведено исследование эффективности различных моделей. Среди выбранных моделей по метрикам выделяется модель Probabilistic Neural Network. При 3 главных компонентах значение полноты составляет 0,996, а точность выявления атак равна 0,81. ***Заключение.*** Полученный результат, демонстрирует что модель обнаруживает почти все SQL-инъекции, но часть обычных запросов определяются как вредоносные.
Ключевые слова: SQL-инъекция, машинное обучение, классификация, PCA, KNIME, обнаружение атак, кибербезопасность.

Для цитирования: Азаров И. В., Кононова Н. В., Суренков Д. Э., Семенов Г. А., Санамян О.А. Исследование методов машинного обучения для обнаружения SQL-инъекций // Современная наука и инновации. 2026. № 1. С. 18-32. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.2

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Статья поступила в редакцию 01.04.2026;
одобрена после рецензирования 01.05.2026;
принята к публикации 01.06.2026.

© Азаров И. В., Кононова Н. В., Суренков Д. Э., Семенов Г. А., Санамян О.А., 2026

Research article

The Investigation of Machine Learning Methods for Detecting SQL Injections

Ivan Valerievich Azarov[1], Natalia Vladimirovna Kononova[2], Danila Eduardovich Surenkov[3], Gleb Alekseevich Semenov[4] , Oleg Armenovich Sanamyan[5]

[1, 3, 4, 5]North-Caucasus Federal University, 1 Pushkin St., Stavropol, 355017, Russia
[2]Branch of RTU MIREA in Stavropol, 355035, Stavropol, Kulakova Ave., 8a.
[1]iazarov@ncfu.ru
[2]knv_fm@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8988-0694
[3]dsurienkov@mail.ru
[4] glebsemenov2003@gmail.com, https://orcid.org/0009-0004-1850-9021
[5]s.oleg.s2003@gmail.com, https://orcid.org/0009-0002-3667-2901

[*] Corresponding author **Gleb Alekseevich Semenov**, glebsemenov2003@gmail.com

Abstract*: Introduction.* The paper addresses the task of detecting SQL injections in HTTP requests using machine learning methods. The models were trained on a dataset containing over 120,000 HTTP requests, classified into legitimate requests and those containing SQL injections. Each request was represented by a set of features, the dimensionality of which was reduced using the Principal Component Analysis method. The number of components used for the study of each model ranged from 2 to 14. ***Materials and Methods.*** The study involves various models: Probabilistic Neural Network (PNN), Naive Bayes, Multilayer Perceptron with the RProp algorithm, Fuzzy Rule, k-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest, Decision Tree, and Gradient Boosted Trees. The quality assessment is performed using recall and precision metrics for attack detection. Overfitting is evaluated using the ROC-AUC metric. ***Results and Discussion.*** The effectiveness of different models was studied. Among the selected models, the Probabilistic Neural Network stands out in terms of performance metrics. With 3 principal components, the recall value is 0.996, and the attack detection precision is 0.81. ***Conclusion.*** The obtained result demonstrates that the model detects nearly all SQL injections, but classifies some legitimate requests as malicious.

Keywords: SQL injection, machine learning, classification, PCA, KNIME, attack detection, cybersecurity.

For citation: Azarov I.V., Kononova N.V., Surenkov D.E., Semenov G.A., Sanamyan O.A. Investigation of Machine Learning Methods for Detecting SQL Injections. *Modern Science and Innovations*. 2026 ;(2):18-32. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.2

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 21.01.2026;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Introduction. Web applications have long been a common part of information systems. They provide access to databases, personal accounts, internal organizational services, and various management interfaces. For this reason, attacks on web applications remain one of the most common areas of cybersecurity.

SQL injections occupy a special place among such attacks. They involve injecting fragments of SQL code into query parameters or input fields, altering the logic of database access. As a result, an attacker can extract data from tables, bypass authentication, modify database contents, or disrupt application operation. Despite advances in security, SQL injections remain a practical threat, as vulnerabilities of this type continue to arise in real web systems.

SQL injection (SQLi) is one of the most common and dangerous types of cyberattacks. In this attack, an attacker injects malicious SQL code into database queries to gain unauthorized access,

modify, or delete data. The primary reason for the success of such attacks is improper processing of user input in web applications.

SQL injection detection traditionally relies on signature rules, query filtering, and analysis of suspicious constructs. However, these approaches don't always yield consistent results, especially when the attack disguises itself as a legitimate query or contains a modified structure. This makes the task of automatically recognizing malicious queries more complex and requires methods capable of detecting not only known patterns but also hidden signs of attack.

Machine learning methods are of particular interest in this regard. Their use allows for the analysis of large numbers of HTTP requests, consideration of a set of features, and the construction of models capable of distinguishing between safe and malicious traffic. However, the quality of detection depends largely on the choice of algorithm, the composition of features, and the method of data preprocessing.

The first mentions of SQL injections date back to the late 1990s, when databases began to be actively used in web development. In 1998, Jeff Forristal described vulnerabilities associated with dynamic SQL queries. Subsequently, in the early 2000s, attacks of this type became widespread. One of the most notorious incidents was the "SQL Slammer" worm attack in 2002, which exploited a vulnerability in Microsoft SQL Server and caused widespread disruptions to network infrastructure.

Over time, the main types of SQL injections have emerged:

- classic SQL injection, based on the introduction of malicious code through input forms (login, password, search fields);
- Blind SQL injection (Blind SQLi), in which an attacker extracts information indirectly by analyzing system behavior or response time;
- A SQL injection vulnerability based on the UNION operator that allows combining legitimate and malicious queries.

The SQL injection mechanism is based on modifying the structure of the original SQL query by injecting additional code via user input. As a result, the application generates a modified query, which is executed by the database management system. A generalized attack flow diagram is shown in Figure 1.

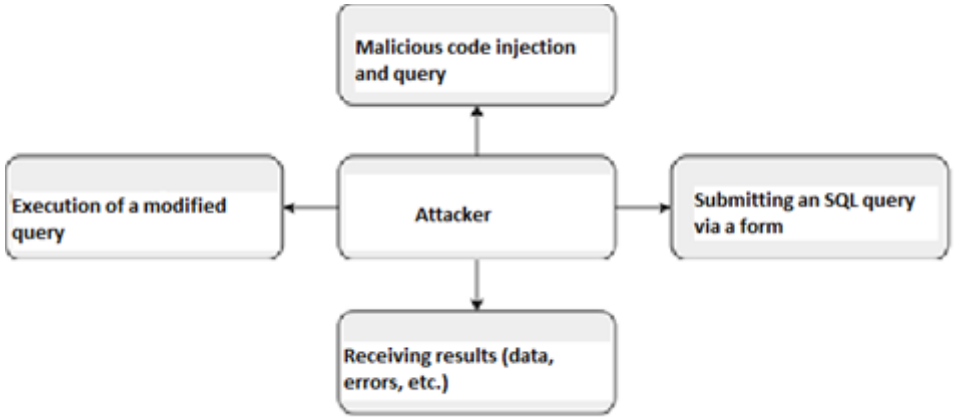


Figure 1. Summary scheme

This process involves the following sequential steps: sending a malicious request through the user interface, injecting SQL code into the request structure, executing the modified request in the database, and analyzing the system response (data or side effects).

Materials and methods.

Research on SQL injection detection using machine learning can be roughly divided into several areas. One group of studies uses classical classification algorithms based on pre-extracted SQL query features. These include decision trees, logistic regression, and naive Bayes classifiers.

Other studies employ ensemble methods, particularly Random Forest and Gradient Boosted Trees, which improve classification performance by combining multiple base models. A separate area

of research involves neural network approaches, which treat an SQL query as a sequence of characters; such studies utilize CNNs and RNNs. An n-gram approach is also used for query analysis, allowing for the identification of recurring patterns in input data.

This article compares machine learning models used to detect SQL injections in HTTP requests. The impact of feature dimensionality reduction on classification quality is also assessed.

The experiments are conducted in KNIME 5.4.1. This platform is used for data preparation, model training, and metric calculation. Computations are performed on a workstation running Windows 11 Pro with an Intel Xeon E5-2660 v3 processor and 32 GB of RAM.

The study uses a Web Network dataset containing 120,000 HTTP requests. Each request has a class label, so the task is considered a binary classification problem.

The set includes quantitative and categorical features that allow for a formalized description of the query. The main characteristics used in the study are presented in Table 1.

Table 1. Dataset characteristics.

Name	Data type	Meaning
method	Categorical	HTTP request method (e.g. GET, POST)
path	Categorical	Request path (URL without domain)
single_q	Quantitative	The number of single quotes (') in the query
double_q	Quantitative	The number of double quotes (") in the query
dashes	Quantitative	Number of hyphens (-) in the query
braces	Quantitative	The number of curly braces ({}) in the query
spaces	Quantitative	Number of spaces in the query
percentages	Quantitative	Number of percent signs (%) in the query
semicolons	Quantitative	The number of semicolons (;) in the query
angle_brackets	Quantitative	The number of angle brackets (<>) in the query
special_chars	Quantitative	Number of special characters in the query
path_length	Quantitative	Request path length (number of characters)
body_length	Quantitative	Request body length (number of characters)
badwords_count	Quantitative	Number of prohibited words in a query
class	Binary	Request class (1 – suspicious, 0 – normal)

Table 1 shows that the dataset used contains both categorical and quantitative features reflecting the structure and substantive characteristics of an HTTP request. The categorical fields method and path define the general context of the resource request, that is, the method used to send the request and its address part. The remaining features are quantitative in nature and allow us to formalize those query elements that are most often informative when detecting SQL injection attacks.

When evaluating the results, we take into account class imbalance: there are more normal queries in the set than malicious ones. Under these conditions, accuracy alone is insufficient, as even a high level does not guarantee reliable attack detection. Therefore, Recall, Precision, and AUC are used in this study.

Recall indicates the proportion of malicious queries identified correctly. This metric is particularly important for this task, as missing SQL injections is a more serious problem than false positives. Precision reflects the proportion of queries classified by the model as malicious that are actually attacks. The AUC metric is used as an additional measure of class separation quality.

The study includes Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosted Trees, Tree Ensemble, Naive Bayes, Fuzzy Rule, Probabilistic Neural Network, RProp MLP, and k-Nearest Neighbors. This

set of algorithms allows for the comparison of models with different logics on the same set of features and with the same evaluation scheme.

IN research are being considered nine models machine Training methods : Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosted Trees, Tree Ensemble, Naive Bayes, Fuzzy Rule, Probabilistic Neural Network (PNN), RProp MLP , and k-Nearest Neighbors (KNN). The sample includes models with different operating principles, allowing them to be compared within the same task.

The Decision Tree is used as the baseline comparison model. Random Forest, Tree Ensemble, and Gradient Boosted Trees represent ensemble methods aimed at achieving more robust results. Naive Bayes is considered a probabilistic algorithm, and Fuzzy Rule is a fuzzy-rule-based model. The neural network approach is represented by the PNN and RProp MLP models. The k-Nearest Neighbors algorithm is included in the study as a method based on assessing the proximity of objects in a feature space.

This set of models makes it possible to compare different approaches to classification on the same set of features and with the same evaluation scheme.

To reduce the dimensionality of the feature space, principal component analysis (PCA) is used. This transformation reduces the number of features by eliminating correlations between them while preserving the core information. The study evaluates the impact of the number of components on classification quality for various models. Recall and Precision are used as metrics.

To reduce overfitting, parameter selection and feature dimensionality reduction using PCA are used. This reduces the number of redundant features and makes models less sensitive to the characteristics of the training set.

Additionally, the AUC metric is taken into account, which indicates how confidently the model distinguishes between two classes. High AUC values correspond to more reliable separation of normal and malicious queries.

Naive Bayes and Random Forest models performed the most consistently in the study. These models were found to be less prone to overfitting and produced more consistent results.

Results and discussion.

To reduce the dimensionality of the feature space, principal component analysis (PCA) is used. This transformation reduces the number of features by eliminating correlations between them while preserving the core information. The study evaluates the impact of the number of components on classification quality for various models. Recall and Precision are used as metrics.

Figure 2 shows the results for the Random Forest model. As the number of components increases, classification performance gradually improves and then plateaus. This indicates that the model performs effectively even with an expanding feature space and is only weakly sensitive to redundant features.

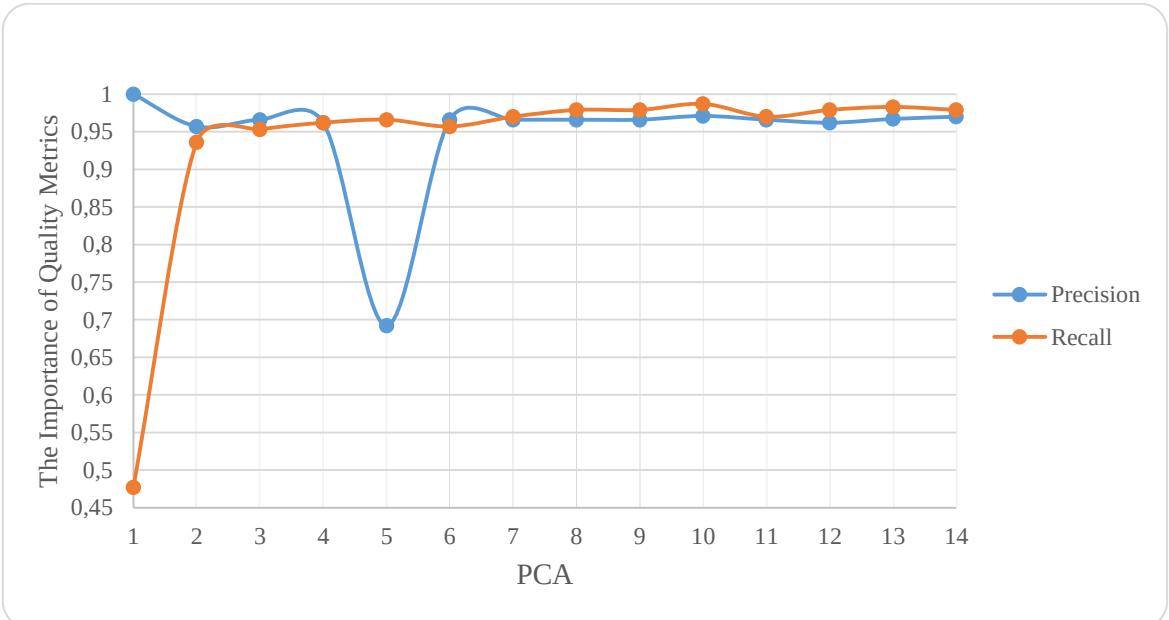


Figure 2. Comparison of quality metrics based on the number of PCA components in the Random Forest model

Figure 3 shows the results for the Decision Tree. Maximum metric values are achieved with a moderate number of components, after which quality begins to decline. This behavior is due to overfitting as feature size increases.

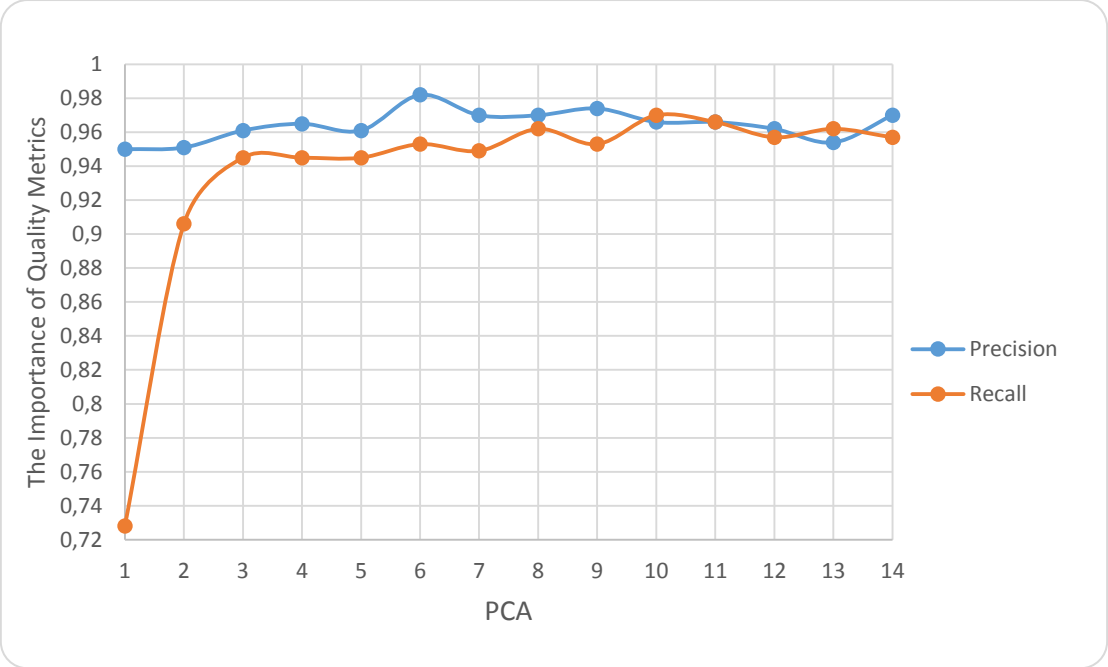


Figure 3. Comparison of quality metrics from the number of PCA components of the Decision Tree model

Figure 4 shows the results for the Tree Ensemble model. The relationship is similar to that of Random Forest: as the number of components increases, the quality improves and then stabilizes. This confirms the robustness of ensemble methods to noise features.

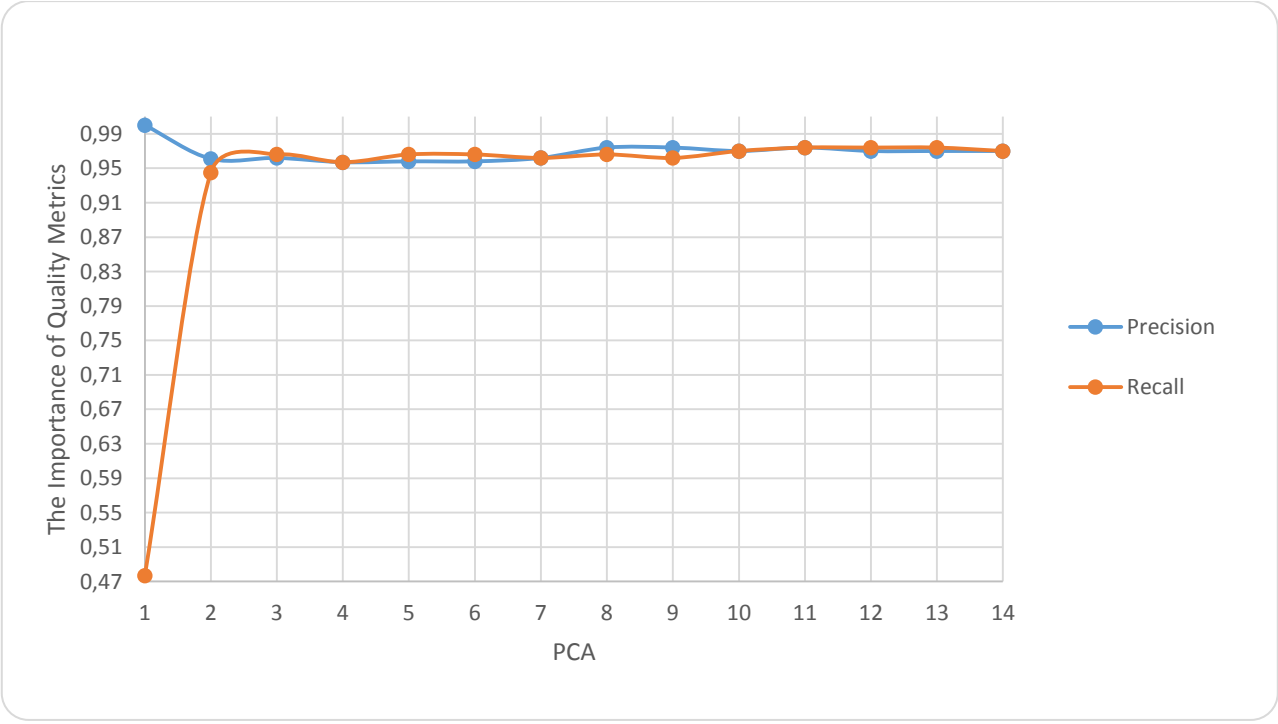


Figure 4. Comparison of quality metrics from the number of PCA components of the Tree Ensemble model

Figure 5 shows the results for Gradient Boosted Trees. Quality increases up to a certain PCA value, after which no significant changes are observed. Thus, there is an optimal number of components for this model.

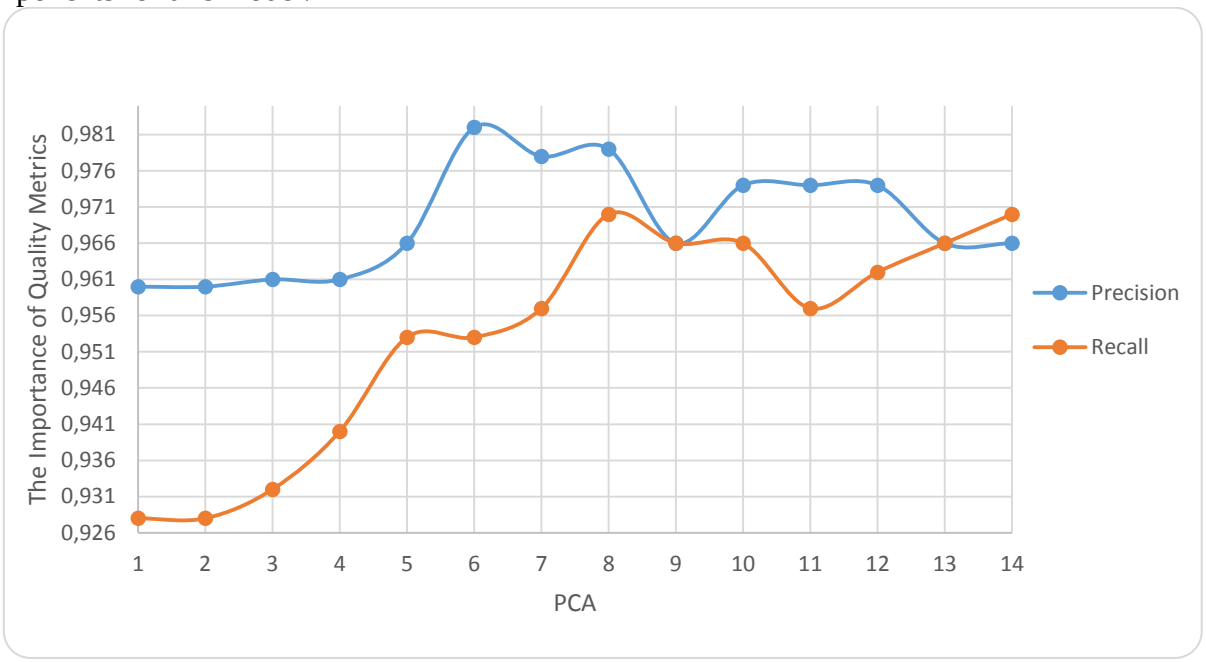


Figure 5. Comparison of quality metrics from the number of PCA components of the Gradient Boosted Trees model

Figure 6 shows the results for the k-nearest neighbors algorithm. The best results are achieved with a moderate number of components. As the dimensionality increases or decreases, the quality decreases, due to the algorithm's sensitivity to the structure of the feature space.

Figure 6. Comparison of performance metrics depending on the number of PCA components for the k- Nearest Neighbors model

Figure 7 shows the results for Naive Bayes. Maximum values are achieved with a small number of components. This is because the model performs worse with correlated features and benefits from their reduction.

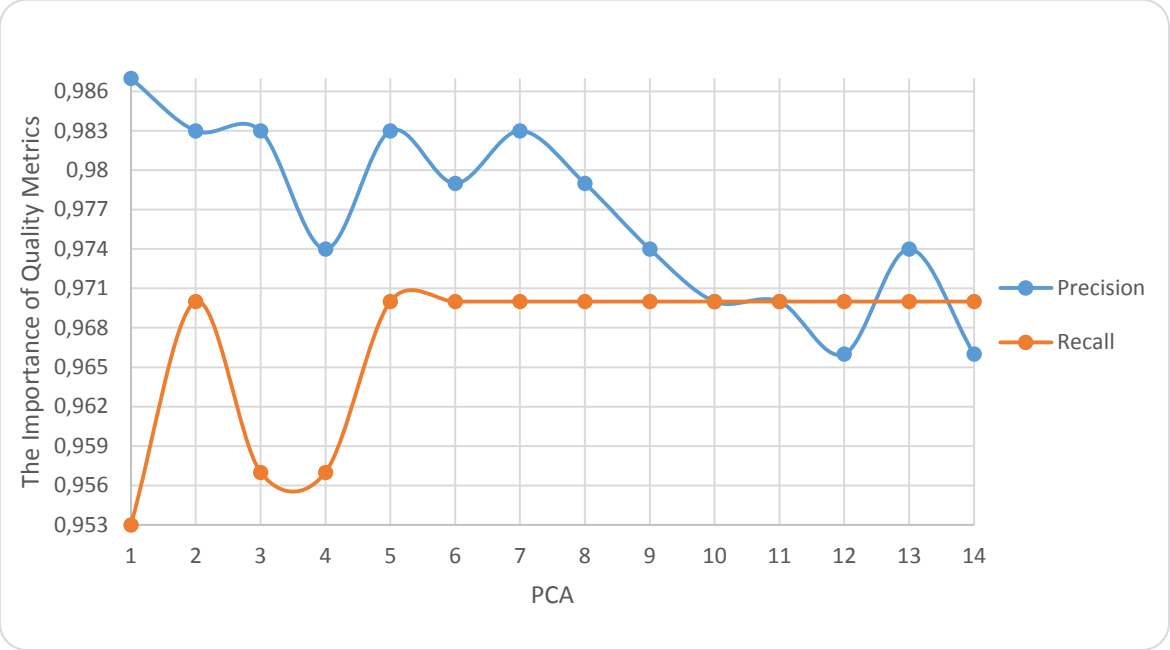


Figure 7. Comparison of quality metrics from the number of PCA components of the Naive Bayes model

Figure 8 shows the results for the Fuzzy Rule model. Quality peaks at a moderate number of components and does not change significantly thereafter.

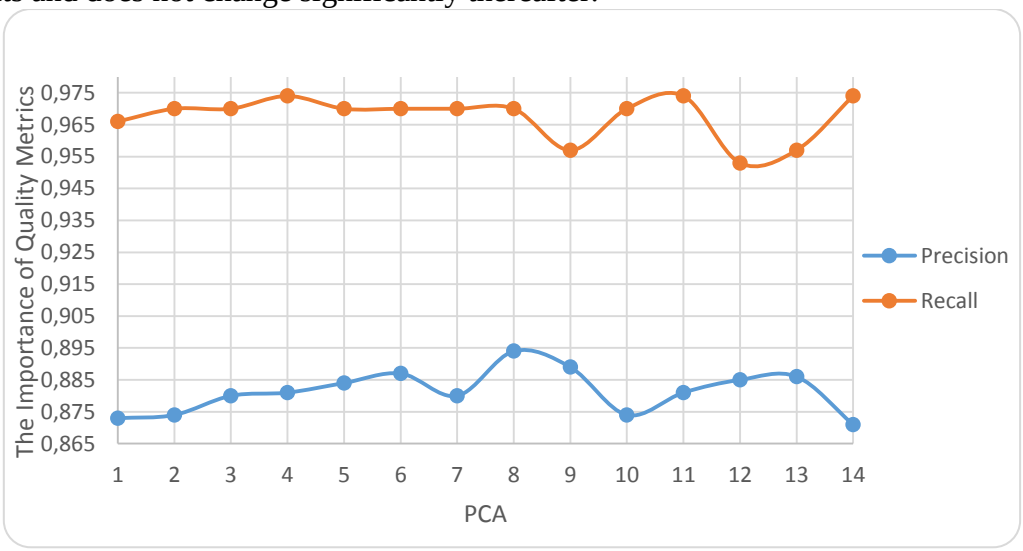


Figure 8. Comparison of quality metrics from the number of PCA components of the Fuzzy Rule model

Figure 9 shows the results for a probabilistic neural network (PNN). With a small number of components, high Recall values are achieved, but Precision remains lower, indicating an increase in false positives.

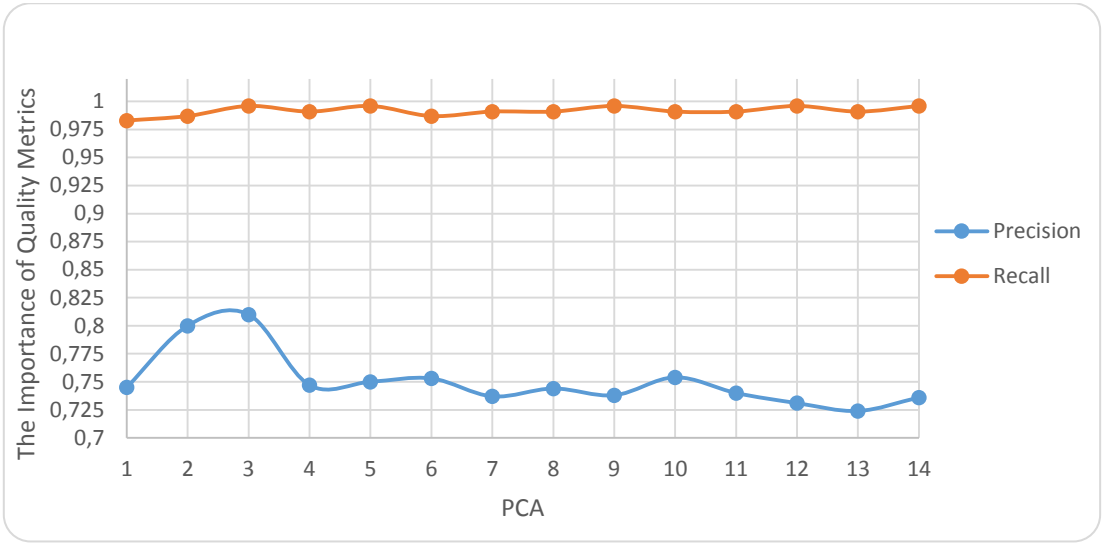


Figure 9. Comparison of quality metrics based on the number of PCA components in the *Probabilistic* Neural Network model

Figure 10 shows the results for the RProp MLP model. Classification performance increases with the number of components up to a certain value, after which the changes become insignificant. This indicates that the neural network model requires a sufficient number of informative features.

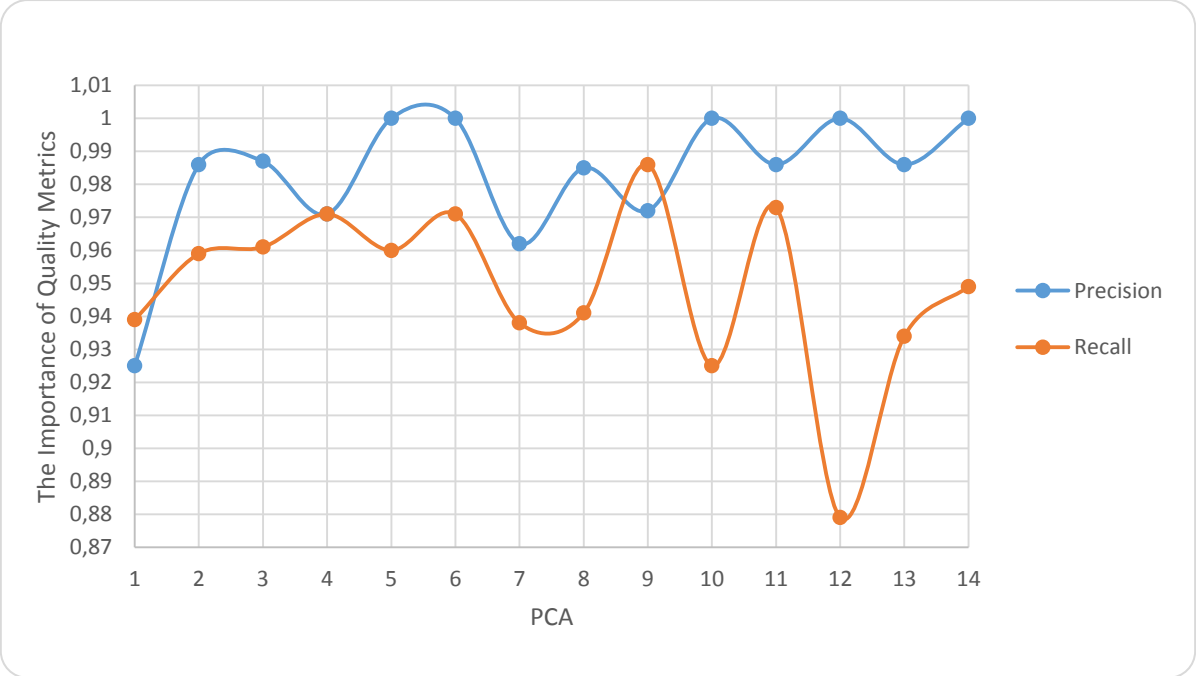


Figure 10. Comparison of quality metrics from the number of PCA components of the RProp MLP model

Thus, the conducted analysis shows that the optimal number of PCA components is a model-dependent parameter.

The summary results are shown in Table 2.

Table 2. Optimal values of the number of PCA components

Model	PCA	Recall	Precision
PNN	3	0.996	0.81
Naive Bayes	2	0.983	0.97
RProp MLP	8	0.985	0.941
Fuzzy Rule	8	0.97	0.894

Model	PCA	Recall	Precision
K-Nearest Neighbors (KNN)	8	0.971	0.985
Random Forest	14	0.979	0.97
Decision Tree	10	0.97	0.966
Decision Tree	11	0.974	0.974
Gradient Boosted Trees	8	0.97	0.979

For the most effective models, the impact of key hyperparameters on classification quality is considered. Evaluation is performed using the Recall and Precision metrics, using previously selected PCA values.

Figure 11 shows the results for the Naive Bayes model with varying default probability. Small default probability values yield the best metric values. As the default probability increases, accuracy decreases, resulting in an increased number of false positives.

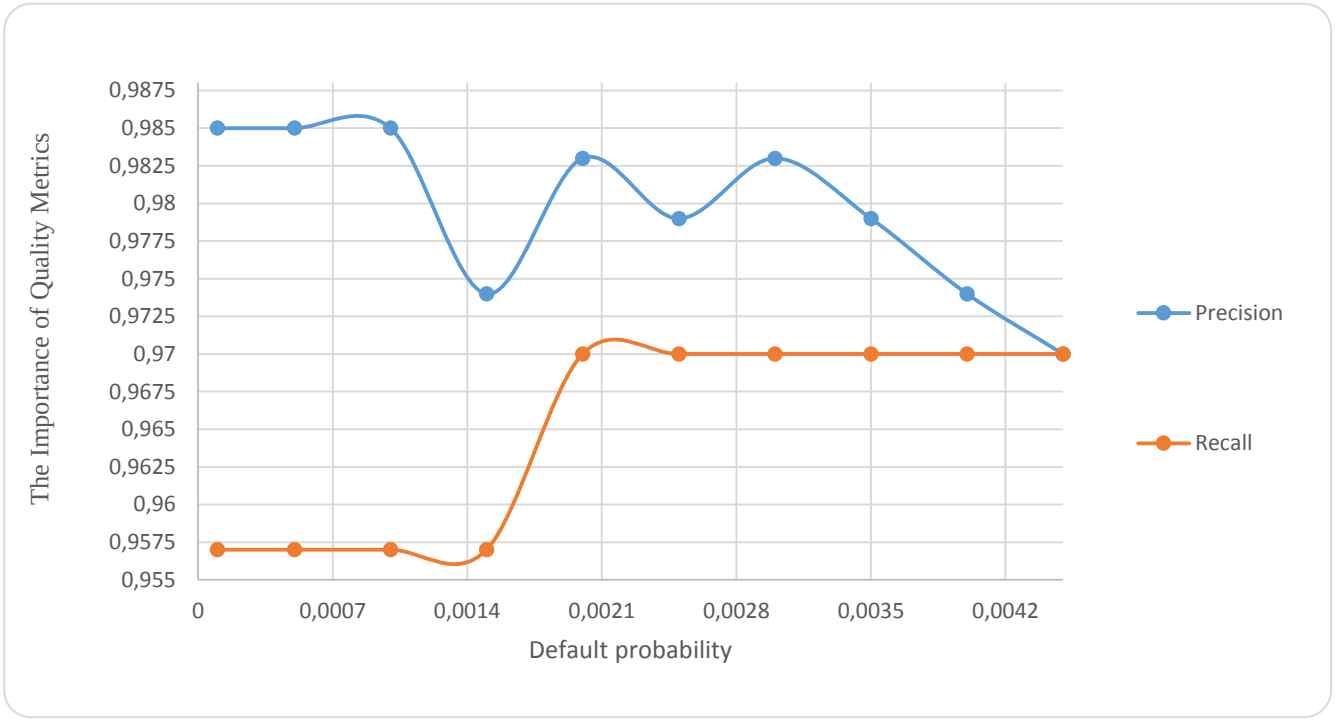


Figure 11. Dependence of quality metrics on the "Default probability" parameter for the Naive Bayes model

Figure 12 shows the results for the Random Forest model with varying tree depth. Classification quality improves with increasing depth, but after a certain value, the changes become insignificant. This indicates that optimal model complexity has been achieved.

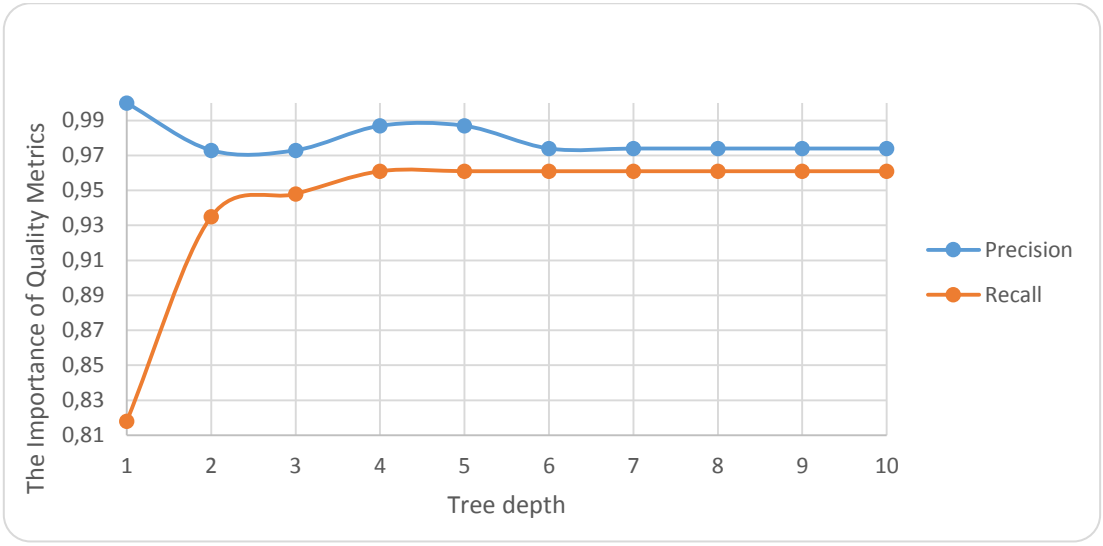


Figure 12. Dependency metrics quality from "Limit number of levels (tree depth)" for Random Forest/Figure models

Figure 13 shows the results for the KNN algorithm with varying numbers of neighbors (k). The best metric values are achieved with small values of this parameter. As the number of neighbors increases, classification quality decreases, due to the smoothing of class boundaries and a loss of sensitivity to local data structure.

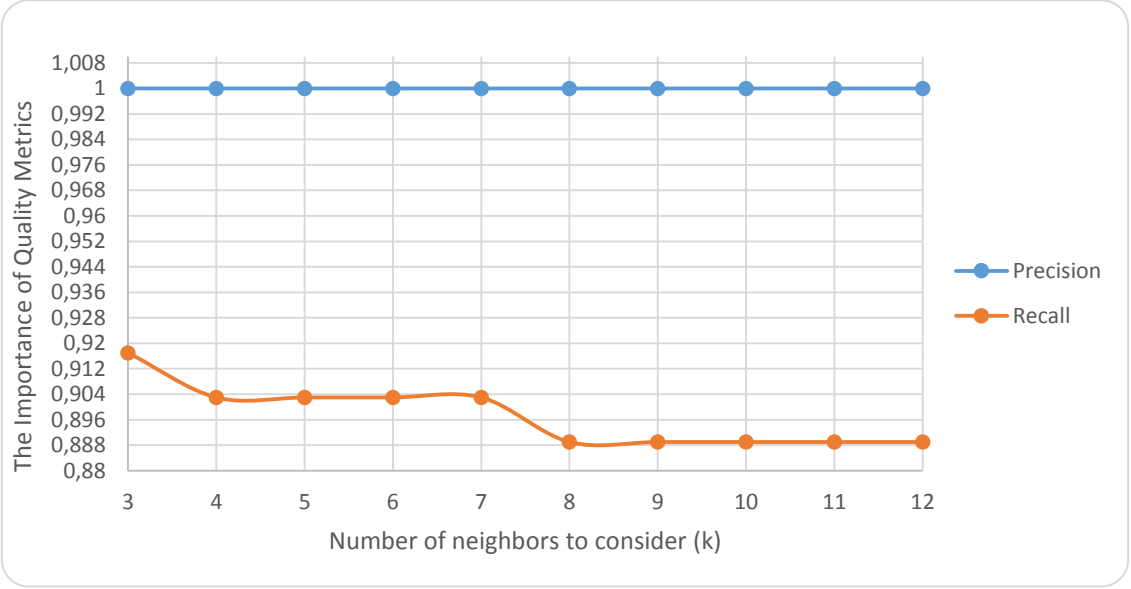


Figure 13. Dependency metrics quality from “Number of neighbors to consider (k)” of the KNN model

Figure 14 shows the results for Gradient Boosted Trees as tree depth varies. As depth increases, classification performance improves up to a certain point, after which changes become insignificant. This indicates that an optimal model complexity has been reached, at which point further complexity does not improve the results.

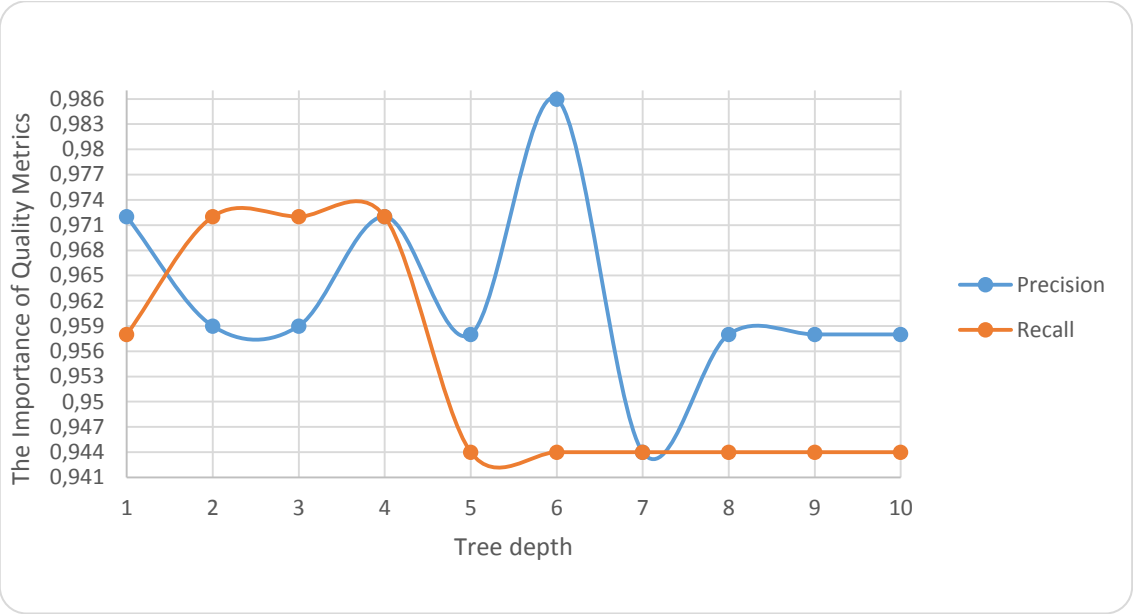


Figure 14. Dependency metrics quality from "Limit number of levels (tree depth)" of the Gradient Boosted Trees model

Figure 15 shows the results for the Tree Ensemble model. The pattern of the dependence is similar to other ensemble methods: there is an optimal depth value that achieves the best performance. Further increases in the parameter do not yield significant improvement.

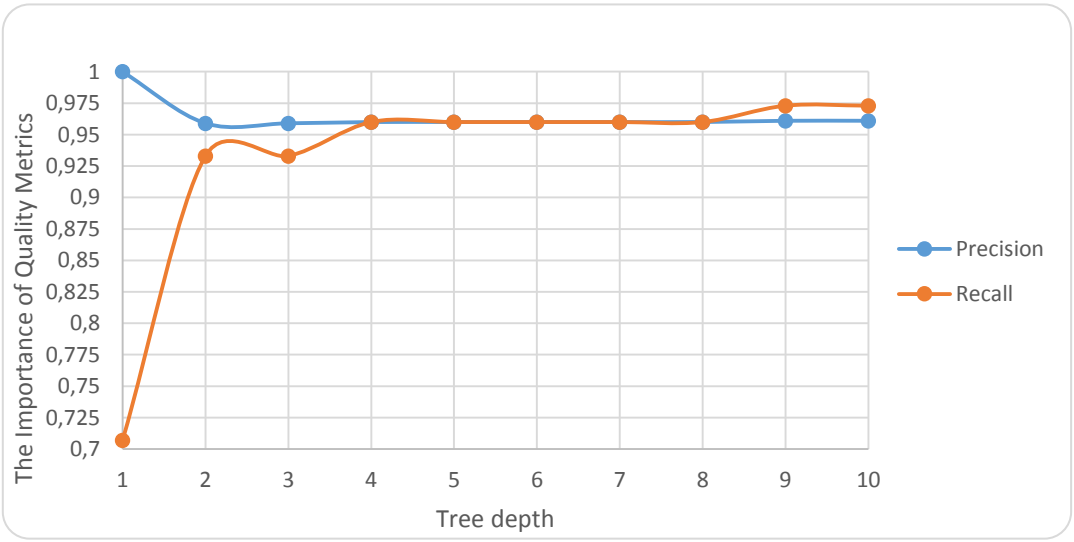


Figure 15. Dependency metrics quality from the "Limit number of levels (tree depth)" model Tree Ensemble

For each model, a range of hyperparameter values is identified that achieves the best Recall and Precision values. Further increases in the parameters do not improve classification quality and, in some cases, even decrease it.

The final metric values for the most effective models are shown in Table 3.

Table 3. Final values of quality metrics for the best models.

Model	**Recall**	**Precision**	**AUC**
Naive Bayes	0.97	0.983	0.973
Random Forest	0.987	0.961	0.975
KNN	0.917	1	0.958
Gradient Boosted Trees	0.972	0.959	0.814
Tree Ensemble	0.973	0.961	0.968

According to Table 3, ensemble methods and the Naive Bayes algorithm demonstrate the best metric values. Random Forest and Tree Ensemble models provide the most balanced Recall and Precision metrics. The KNN algorithm is characterized by high accuracy but is inferior in recall, indicating that some malicious queries are missed.

Conclusion.

The paper examined machine learning methods for detecting SQL injections in HTTP requests on a dataset of over 120,000 records. The analysis showed that classification quality depended on both the chosen algorithm and the number of principal components used after feature dimensionality reduction.

The most balanced results were obtained for the Random Forest, Tree Ensemble, and Naive Bayes models. For Random Forest, the Recall, Precision, and AUC values were 0.987, 0.961, and 0.975, respectively. For Tree Ensemble, these values were 0.973, 0.961, and 0.968, and for Naive Bayes, they were 0.970, 0.983, and 0.973. These results showed that ensemble methods and the probabilistic approach provided the most stable tradeoff between detection recall and the number of false positives. Separately, it was found that the k-Nearest Neighbors model achieved a Precision of 1.000, but its Recall value was 0.917, indicating that some malicious queries were missed.

The obtained results confirmed that machine learning methods can be used to detect SQL injections in HTTP requests, but the final classification quality was determined by the choice of model, the number of principal components, and the tuning parameters.

Список источников

1. 1. Ashton K. That “Internet of Things” Thing: In the Real World Things Matter More than Ideas // RFID Journal. 2009. 22 June. URL: https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/.

2. Cisco Internet Business Solutions Group. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. 2011. URL: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf.

3. Воронина В. В., Михеев А. В., Ярушкина Н. Г., Святов К. В. Теория и практика машинного обучения: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2017. 290 с.

4. Лапина М. А., Подручный Н. В., Русанов М. А., Бабенко М. Г. Исследование методов машинного обучения для выявления сетевых атак // Труды Института системного программирования РАН. 2025. Т. 37. Вып. 4. Ч. 2. С. 147–174. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(4)-24.

5. Лапина М. А., Мовзалевская В. В., Токмакова М. Е., Бабенко М. Г., Саджид М. Применение технологий машинного обучения для обнаружения веб-атак // Вопросы кибербезопасности. 2024. № 4(62). С. 92–103. DOI: 10.21681/2311-3456-2024-4-92-103.

6. Лапина М. А., Лукьянов Д. А., Лапин В. Г., Кучеров Н. Н. Исследование методов машинного обучения для обнаружения сайтов-мошенников // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 4. С. 250–262. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-4-250-262.

7. Лапина М. А., Капшук Н. Р., Русанов М. А., Тимофеева Е. Ф. Обнаружение атак с использованием SQL-инъекций по сетевым журналам с помощью методов машинного обучения // Труды Института системного программирования РАН. 2025. Т. 37. Вып. 5. С. 81–92. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(5)-6.

8. Лапина М. А., Дымуха Р. А., Кучеров Н. Н., Басан Е. С. Исследование методов машинного обучения для обнаружения спуфинг-атак в децентрализованных сетях // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 3. С. 16–31. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-3-16-31.

9. Лапина М. А., Гриценко Д. Д., Кеньков Е. А., Багаутдинова А. Р., Соломянко А. А. Детектирование атак на отказ в программно-конфигурируемых сетях с использованием методов машинного обучения // Труды Института системного программирования РАН. 2025. Т. 37. Вып. 6. Ч. 4. С. 139–158. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(6)-55.

10. KNIME Analytics Platform [Электронный ресурс]. URL: https://www.knime.com/knime-analytics-platform.

11. Lashkari A. H. CICFlowmeter-V4.0 (formerly known as ISCXFlowMeter) is a Network Traffic Bi-flow Generator and Analyser for Anomaly Detection [Электронный ресурс]. DOI: 10.13140/RG.2.2.13827.20003. URL: https://github.com/ahlashkari/CICFlowMeter.

12. IoT-SDN IDS Dataset [Электронный ресурс]. URL: https://www.kaggle.com/datasets/hebadhirar/iot-sdn-ids-dataset.

13. Карачанская Е. В., Соседова Н. И. Метод выявления аномалий сетевого трафика, основанный на его самоподобной структуре // Безопасность информационных технологий. 2019. Т. 26. № 1. С. 98–110. DOI: 10.26583/bit.2019.1.10.

14. Jolliffe I. T., Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2016. Vol. 374. No. 2065. Art. 20150202. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202.

15. Song Y. Y., Lu Y. Decision tree methods: applications for classification and prediction // Shanghai Archives of Psychiatry. 2015. Vol. 27. No. 2. P. 130–135. DOI: 10.11919/j.issn.1002-0829.215044.

16. Zhang S., Li X., Zong M., Zhu X., Wang R. Efficient kNN classification with different numbers of nearest neighbors // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2018. Vol. 29. No. 5. P. 1774–1785. DOI: 10.1109/TNNLS.2017.2673241.

17. Biau G., Scornet E. A random forest guided tour // TEST. 2016. Vol. 25. No. 2. P. 197–227. DOI: 10.1007/s11749-016-0481-7.

18. Natekin A., Knoll A. Gradient boosting machines, a tutorial // Frontiers in Neurorobotics. 2013. Vol. 7. Art. 21. DOI: 10.3389/fnbot.2013.00021.

19. Балыбердин А. В., Крылов Г. О. Повышение точности выявления аномалий для систем обнаружения вторжения с помощью ансамблевого обучения // Безопасность информационных технологий. 2025. Т. 32. № 1. С. 153–171. DOI: 10.26583/bit.2025.1.11.

20. Лавров Б. О., Иванов М. А. Интеллектуальное обнаружение аномалий в контейнеризованных приложениях: методы, архитектура и инструменты // Безопасность информационных технологий. 2025. Т. 32. № 4. С. 149–164. DOI: 10.26583/bit.2025.4.11.

References

1. Ashton K. That “Internet of Things” Thing: In the Real World Things Matter More than Ideas // RFID Journal. 2009. 22 June. URL: https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/.

2. Cisco Internet Business Solutions Group. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. 2011. URL: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf.

3. Voronina V. V., Mikheev A. V., Yarushkina N. G., Svyatov K. V. Teoriya i praktika mashinnogo obucheniya: ucheb. posobie. Ul'yanovsk: UlGTU, 2017. 290 s.

4. Lapina M. A., Podruchnyi N. V., Rusanov M. A., Babenko M. G. Issledovanie metodov mashinnogo obucheniya dlya vyyavleniya setevykh atak // Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN. 2025. T. 37. Vyp. 4. Ch. 2. S. 147–174. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(4)-24.

5. Lapina M. A., Movzalevskaya V. V., Tokmakova M. E., Babenko M. G., Sadzhid M. Primenenie tekhnologii mashinnogo obucheniya dlya obnaruzheniya veb-atak // Voprosy kiberbezopasnosti. 2024. № 4(62). S. 92–103. DOI: 10.21681/2311-3456-2024-4-92-103.

6. Lapina M. A., Luk'yanov D. A., Lapin V. G., Kucherov N. N. Issledovanie metodov mashinnogo obucheniya dlya obnaruzheniya saitov-moshennikov // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2025. № 4. S. 250–262. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-4-250-262.

7. Lapina M. A., Kapshuk N. R., Rusanov M. A., Timofeeva E. F. Obnaruzhenie atak s ispol'zovaniem SQL-in"ektsii po setevym zhurnalam s pomoshch'yu metodov mashinnogo obucheniya // Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN. 2025. T. 37. Vyp. 5. S. 81–92. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(5)-6.

8. Lapina M. A., Dymukha R. A., Kucherov N. N., Basan E. S. Issledovanie metodov mashinnogo obucheniya dlya obnaruzheniya spufing-atak v detsentralizovannykh setyakh // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2025. № 3. S. 16–31. DOI: 10.18522/2311-3103-2025-3-16-31.

9. Lapina M. A., Gritsenko D. D., Ken'kov E. A., Bagautdinova A. R., Solomyanko A. A. Detektirovanie atak na otkaz v programmno-konfiguriruemykh setyakh s ispol'zovaniem metodov mashinnogo obucheniya // Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN. 2025. T. 37. Vyp. 6. Ch. 4. S. 139–158. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(6)-55.

10. KNIME Analytics Platform [Ehlektronnyi resurs]. URL: https://www.knime.com/knime-analytics-platform.

11. Lashkari A. H. CICFlowmeter-V4.0 (formerly known as ISCXFlowMeter) is a Network Traffic Bi-flow Generator and Analyser for Anomaly Detection [Ehlektronnyi resurs]. DOI: 10.13140/RG.2.2.13827.20003. URL: https://github.com/ahlashkari/CICFlowMeter.

12. IoT-SDN IDS Dataset [Ehlektronnyi resurs]. URL: https://www.kaggle.com/datasets/hebadhirar/iot-sdn-ids-dataset.
13. Karachanskaya E. V., Sosedova N. I. Metod vyyavleniya anomalii setevogo trafika, osnovannyi na ego samopodobnoi strukture // Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologii. 2019. T. 26. № 1. S. 98–110. DOI: 10.26583/bit.2019.1.10.
14. Jolliffe I. T., Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2016. Vol. 374. No. 2065. Art. 20150202. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202.
15. Song Y. Y., Lu Y. Decision tree methods: applications for classification and prediction // Shanghai Archives of Psychiatry. 2015. Vol. 27. No. 2. P. 130–135. DOI: 10.11919/j.issn.1002-0829.215044.
16. Zhang S., Li X., Zong M., Zhu X., Wang R. Efficient kNN classification with different numbers of nearest neighbors // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2018. Vol. 29. No. 5. P. 1774–1785. DOI: 10.1109/TNNLS.2017.2673241.
17. Biau G., Scornet E. A random forest guided tour // TEST. 2016. Vol. 25. No. 2. P. 197–227. DOI: 10.1007/s11749-016-0481-7.
18. Natekin A., Knoll A. Gradient boosting machines, a tutorial // Frontiers in Neurorobotics. 2013. Vol. 7. Art. 21. DOI: 10.3389/fnbot.2013.00021.
19. Balyberdin A. V., Krylov G. O. Povyshenie tochnosti vyyavleniya anomalii dlya sistem obnaruzheniya vtorzheniya s pomoshch'yu ansamblevogo obucheniya // Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologii. 2025. T. 32. № 1. S. 153–171. DOI: 10.26583/bit.2025.1.11.
20. Lavrov B. O., Ivanov M. A. Intellektual'noe obnaruzhenie anomalii v konteinerizovannykh prilozheniyakh: metody, arkhitektura i instrumenty // Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologii. 2025. T. 32. № 4. S. 149–164. DOI: 10.26583/bit.2025.4.11.

Информация об авторах

Азаров Иван Валерьевич – доцент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь. Researcher ID: PJA-9864-2026.

Кононова Наталия Владимировна – доцент, филиал РТУ МИРЭА в г. Ставрополь, Ставрополь, Researcher ID: PUE-2199-2026

Суренков Данила Эдуардович – студент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь,

Семенов Глеб Алексеевич – студент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Researcher ID: PII-8176-2026

Санамян Олег Арменович – студент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Researcher ID: PJA-7256-2026

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Azarov Ivan Valerievich – Associate Professor, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Researcher ID: PJA-9864-2026.

Kononova Natalia Vladimirovna – Associate Professor, Branch of RTU MIREA in Stavropol, Stavropol, Researcher ID: PUE-2199-2026

Surenkov Danila Eduardovich – Student, North-Caucasus Federal University, Stavropol

Semenov Gleb Alekseevich – Student, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Researcher ID: PII-8176-2026

Sanamyan Oleg Armenovich – Student, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Researcher ID: PJA-7256-2026

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 33-41
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Modern Science and Innovations. 2026;(2) 33-41
TECHNICAL SCIENCES
INFORMATION, COMPUTING AND MANAGEMENT

Научная статья
УДК 004.75, УДК 004.42
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.3

Анализ реализаций систем построения графических интерфейсов с использованием различных фреймворков

Флоринский Олег Святославович[1*], Барышников Андрей Андреевич[2*]

[1,2,] Пятигорский институт (филиал) «Северо-Кавказский федеральный университет» в г. Пятигорске (ул. Ермолова 46, г. Пятигорск, Ставропольский край, 357528, Россия)
[1] florinski@yandex.ru https://orcid.org/0000-0003-0626-4982
[2] andrey.baryshnikov9@yandex.ru https://orcid.org/0009-0005-8589-3059

*Автор, ответственный за переписку: **Флоринский Олег Святославович**, florinski@yandex.ru

Аннотация. ***Введение.*** Потребление цифрового контента людьми стремительно растет с каждым годом. Для получения информации пользователи используют огромное количество разнообразных приложений, сайтов, видеохостингов и других систем. При каждом использовании таких систем каждый пользователь сталкивается с графическим интерфейсом этой системы. Создание графического интерфейса для пользователя непростая задача. Для различных сред и языков программирования существует множество систем построения графических интерфейсов, чаще всего они реализованы как фреймворки. ***Материалы и методы исследований.*** Создание графических интерфейсов – сложная задача, для решения которой существует множество инструментов, включая фреймворки, ориентированные на конкретные языки или платформы, а также средства визуального программирования. В данной научной статье представлен анализ пяти популярных систем – Flutter, Jetpack Compose, Electron, Windows Forms и Qt. Анализ проводился по следующим ключевым критериям: скорость разработки, производительность, кроссплатформенность, кастомизация, лицензирование и поддержка сообщества. ***Результаты исследований и их обсуждение.*** Flutter – кроссплатформенный фреймворк на языке Dart, обеспечивающий высокую скорость разработки благодаря горячей перезагрузке и единой кодовой базе для iOS, Android, Web, Windows, macOS и Linux. Jetpack Compose – декларативный инструмент для разработки UI на Kotlin в экосистеме Android. Electron – позволяет создавать десктопные приложения на веб-технологиях (HTML/CSS/JS). Windows Forms – классический фреймворк от Microsoft для создания Windows-приложений на C#. Отличается простотой визуального проектирования и низким порогом входа, но ограничен только Windows, устаревает и не поддерживает современные UI-возможности. Qt – мощный кроссплатформенный фреймворк на C++ с поддержкой визуального проектирования (Qt Designer) и декларативного языка QML. ***Заключение.*** Рассмотренные фреймворки – Flutter, Jetpack Compose, Windows Forms, Electron и Qt – демонстрируют разные подходы к построению графических интерфейсов, каждый из которых оптимизирован под определённые задачи и целевые платформы. Ни один из них не обеспечивает идеального баланса между скоростью разработки, производительностью и кроссплатформенностью, однако каждый выделяется в отдельных аспектах. Выбор инструмента зависит не только от технических характеристик, но и от языка программирования, лицензионных условий, долгосрочной поддержки и активности сообщества.

Ключевые слова: Системы построения графических интерфейсов, фреймворки, языки программирования, пользовательский интерфейс, информационные технологии, операционные системы.

Для цитирования: Флоринский О.С., Барышников А.А. Анализ реализаций систем построения графических интерфейсов с использованием различных фреймворков // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 33-41. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.3

© Флоринский О.С., Барышников А.А. 2025.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.01.2026;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

Analysis of implementations of graphical interface design systems using various frameworks

Oleg S. Florinskiy[1*], Andrey A. Baryshnikov[2*]

[1, 2], Pyatigorsk Institute (branch) of the North Caucasus Federal University in Pyatigorsk (46 Ermolova St., Pyatigorsk, Stavropol Territory, 357528, Russia)
[1] florinski@yandex.ru https://orcid.org/0000-0003-0626-4982
[2] andrey.baryshnikov9@yandex.ru https://orcid.org/0009-0005-8589-3059

*Corresponding author **Oleg S. Florinskiy**, florinski@yandex.ru

Abstract. ***Introduction.*** People's consumption of digital content is growing rapidly every year. To obtain information, users use a huge variety of applications, websites, video hosting services and other systems. Every time such systems are used, each user is confronted with the graphical interface of this system. Creating a graphical user interface is not an easy task. There are many GUI building systems for various environments and programming languages, most often they are implemented as frameworks. ***Materials and methods.*** Creating graphical interfaces is a complex task, for which there are many tools, including frameworks focused on specific languages or platforms, as well as visual programming tools. This scientific article presents an analysis of five popular systems – Flutter, Jetpack Compose, Electron, Windows Forms and Qt. The analysis was carried out according to the following key criteria: development speed, performance, cross-platform, customization, licensing, and community support. ***Results and discussion.*** Flutter is a cross–platform framework in the Dart language that provides high-speed development thanks to a hot reboot and a single code base for iOS, Android, Web, Windows, macOS and Linux. Jetpack Compose is a declarative Kotlin UI development tool in the Android ecosystem. Electron – allows you to create desktop applications using web technologies (HTML/CSS/JS). Windows Forms is a classic Microsoft framework for creating Windows applications in C#. It has a simple visual design and a low entry threshold, but is limited only to Windows, is outdated and does not support modern UI features. Qt is a powerful cross–platform C++ framework with support for visual design (Qt Designer) and the declarative QML language. ***Conclusion.*** The frameworks considered – Flutter, Jetpack Compose, Windows Forms, Electron, and Qt – demonstrate different approaches to building graphical interfaces, each of which is optimized for specific tasks and target platforms. None of them provides a perfect balance between development speed, performance, and cross-platform, but each stands out in its own aspects. The choice of a tool depends not only on the technical characteristics, but also on the programming language, license terms, long-term support and community activity.
Key words: GUI building systems, frameworks, programming languages, user interface, information technology, operating systems.

For citation: Florinsky O.S., Baryshnikov A.A. Analysis of implementations of graphical interface design systems using various frameworks. *Modern Science and Innovations.* 2026; (2):33-41. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.3

Conflict of interest: the autors declare no conflicts of interests.
The article was submitted 12.01.2026;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Introduction. The digital world is growing exponentially. Banking applications, digital documents, online maps, and other programs have become an integral part of human life. The interface is the first thing a user encounters when interacting with a program, and its quality directly impacts the overall perception of the product [4]. The usability, predictability, and aesthetics of the interface determine not only user satisfaction but also task performance [6]. Building graphical interfaces that meet all user requirements takes a tremendous amount of time. In practice, developers often spend considerable time collecting analytics on user usage of their program and only after drawing conclusions from this data do they create something truly worthwhile and unique.

Research materials and methods. Creating graphical interfaces is a complex task, for which numerous powerful development tools exist. Many of these are designed for a specific programming language or development environment. There are also development tools that allow you to create graphical interfaces using visual programming.

Conducting an analysis of the implementation of graphical interface construction systems includes several criteria: development speed, Performance, cross-platform compatibility, customization, licensing, and community. The analysis will cover the most popular GUI building systems in the software development market, namely the following frameworks:

– Flutter ;
– Jetpack Compose ;
– Electron ;
– Windows Forms ;
– Qt .

Research Results and Discussion. The Flutter framework provides a modern toolkit for building UIs. This framework is used for developing cross-platform software using the Dart programming language. Flutter supports the following platforms: iOS, Android, Web, Windows, Linux, and macOS.

Flutter's development speed is one of its key advantages. Hot reloading allows you to see code changes in the running app almost instantly. Flutter uses the same programming language, Dart, across all platforms, which not only increases the speed of software development but also reduces development costs. A vast selection of ready-made templates and widgets for various interface styles also contributes to increased development speed.

There are no serious issues with the performance of Flutter apps. The Flutter framework uses its own Skia rendering engine, ensuring high performance and a consistent look across all platforms [11]. Like many other modern UI frameworks, the framework dynamically redraws only those elements whose data has changed. This approach is commonly referred to as smart recomposition. Flutter's performance isn't critically flawed, but there are a few important caveats. Because the apps aren't native, their size will be larger than native apps due to the size of the Flutter engine itself. It's also worth noting that Flutter currently has some performance issues when working with infinite lists, but this issue is being addressed with updates.

The Flutter framework supports multiple platforms—from mobile systems based on Android and iOS, to desktop systems based on Windows, Linux, and MacOS, to web applications. Using the same programming language when developing for different platforms is very convenient, but it does come with some challenges. Over 90% of code written in Flutter can be reused when porting an application to another platform. The remaining code concerns system components, requiring specific constructs to access them. Such challenges can be encountered, for example, when porting an application from iOS to Android. The advent of platform channels has partially eliminated the need for native platform code. However, a problem has emerged: platform channel updates occur somewhat later than platform updates, creating certain inconveniences for developers.

This framework enables the creation of responsive interface designs. Flutter uses its own graphics rendering engine, Skia. It allows for the use of native interface components instead of native platform components (Android Views/iOS UIKit and others), while still actively leveraging other native capabilities (e.g., camera access, GPS). Flutter uses widgets as the foundation of the graphical

interface. By combining, customizing, and interacting with them, you can easily create a user interface with any design and functionality.

The Flutter framework is open-source, making it free for commercial or other use. This also allows developers to modify the framework itself when using it for their own development.

Flutter has a wide selection of libraries for integration with major services and an active community of programmers and developers who support and quickly improve the product, eliminating flaws and bugs. Flutter developers regularly publish video overviews of new features or simple walkthroughs of the framework's components.

The Kotlin programming language has its own tool for creating graphical interfaces for the Android operating system: Jetpack Compose. This tool has replaced the classic Android View style of developing interfaces for applications written in the Java programming language. In traditional Android development, the graphical interface is described in XML markup files, and the logic for managing these elements is written in Java/Kotlin code. In contrast to this approach, Jetpack Compose allows you to create and manipulate objects within the compiled code. This means that both the markup and the business logic of interface elements are immediately contained within the program code. This approach to development is called declarative. Modern approaches to building interfaces are increasingly based on the declarative paradigm, where the developer describes "how the UI should look in a given state" rather than manually managing changes to elements [7].

Developing Android apps using Jetpack Compose is a great option for development speed and productivity. The Jetpack Compose framework features fast reloading and preview technology, which instantly displays changes to program code in the emulator. Android Studio's Getting Started guides will help you quickly begin developing software.

The Jetpack Compose framework uses the Kotlin programming language, which in turn runs on the Java Virtual Machine (JVM). The JVM is the foundation of the Android operating system, which is the framework's primary focus. In terms of performance, the framework boasts strong capabilities, including smart recomposition and direct memory management. However, like many other frameworks, it has challenges when working with complex and infinite lists. Using the JVM also has its drawbacks, one of which is increased RAM consumption. When developing software using Jetpack Compose, memory leaks are difficult to avoid.

Jetpack Compose has a cross-platform fork – the Compose Multiplatform framework, which allows for developing applications for multiple operating systems simultaneously. This framework enables a declarative approach to writing GUIs for various operating systems, unlike Jetpack Compose, which only supports GUI development for the Android operating system. This development approach ensures good performance and allows for the reuse of most of the code when porting an application to another operating system, replacing only components that touch the operating system's system libraries. A disadvantage of Compose Multiplatform is its steeper learning curve, as this fork is developed by other developers and has less in-depth documentation.

The Jetpack Compose framework offers a wide range of capabilities for building various graphical interfaces. All modern Android interface components are naturally supported by the framework, as Kotlin and Jetpack Compose are developed jointly with Android OS developers [9]. Jetpack Compose uses various container types to build graphical interfaces. For example, Row or Column define the placement of objects within them. By combining object placement with containers, you can achieve virtually any graphical interface shape and presentation. However, the more complex the interface presentation, the more difficult it will be to create using this framework. Unfortunately, the framework does not provide ready-made templates for creating complex sets of interface elements, but a large number of custom solutions are available in the public domain.

Licensing and community are among the framework's strengths. It's open-source under the Apache 2.0 license, supported by Google, and free to use in any commercial project. Regular updates, an active and growing framework community, and developer support facilitate smoother development and ongoing support.

A framework called Electron was created for developing applications based on web technologies. Electron enables the use of web technologies (HTML, CSS, JavaScript) to create

desktop applications, significantly speeding up development by reusing existing web solutions [5]. Electron is currently one of the largest web development tools, allowing for the seamless creation of cross-platform applications based on existing websites.

Developing with the Electron framework has become a breakthrough in application development speed. Developers with experience in web development technologies can immediately begin writing software products with Electron. The same code runs seamlessly across all platforms – Windows, Linux, and MacOS. The ability to migrate an existing website to the program also improves development speed. Developers don't have to spend months learning a new programming language to convert their website to a Windows program. Simply migrate an existing website to the Electron framework, tweaking the display of elements and database streaming [8]. All these advantages make Electron the leader in development speed in the software market.

A complete Electron app contains a complete copy of the Chromium core, meaning each app is a fully functional browser. This has a direct impact on the performance of apps written with this framework. These apps consume very high amounts of RAM and CPU, which is their main drawback. While this isn't noticeable for simple apps, it can be a significant issue for complex and demanding programs.

The Electron framework is one of the leaders in cross-platform support. It can be used to create applications for three major operating systems: Windows, Linux, and macOS. Moreover, as mentioned earlier, the codebase remains consistent across all platforms. This eliminates the need for developers to write and maintain three different projects.

In terms of interface customization, the Electron framework offers virtually limitless possibilities. Since the browser core is responsible for rendering the interface, developers can utilize the full capabilities of HTML, CSS, and JavaScript to create unique designs and complex animations. A comparison of mobile app graphical interfaces developed using the Electron, Jetpack Compose, and Flutter frameworks is shown in Figure 1.

Figure 1 – Comparison of graphical interfaces of mobile applications developed using the Electron and Jetpack frameworks Compose, Flutter

Electron is an open-source project licensed under the MIT license. This allows the framework to be freely used for commercial projects without the obligation to disclose the source code.

The community around Electron is vast and active, used by major companies like Discord, Slack, Figma, and Visual Studio Code. This provides a wealth of training materials, ready-made

solutions, and libraries, significantly simplifying the development process and finding answers to questions.

Windows framework Forms provides a powerful tool for building graphical interfaces for applications based on the Windows operating system. Forms allows you to write GUI applications using C #. The framework has good integration with Visual Studio. Studio, which allows for visual programming. Windows Forms, being part of the .NET ecosystem, has long remained the primary tool for creating desktop applications for Windows due to the ease of visual interface design [12].

Using the drag - and - drop system, interface elements can be moved from the toolbar to the screen, and their position, size, and other parameters can be controlled directly within the development environment on the screen form [2]. This speeds up the construction of a graphical interface compared to creating an interface by writing program code. Controllers in Windows Forms are very easy to set up; adding a button to the interface and configuring its logic takes just a few clicks.

Windows framework Forms has direct support from Windows developers, as both products are developed by Microsoft. All graphical interface elements are directly inherited from the Windows operating system. The startup time of an application created using Windows Forms. The runtime is approximately one second, which speeds up software development and debugging. A basic application, which has no dependencies on the. Net platform, takes up approximately 5-10 megabytes of disk space and has no issues with RAM consumption. The main performance issue with this framework is its single-threaded nature. When creating complex animations, performance issues may arise on systems with weak CPU core performance.

Due to its reliance on native Windows components and lack of cross-platform support, the Windows Forms development tool is gradually giving way to more modern solutions such as .NET [3]. This framework is based on Windows operating system components, and porting it to other platforms is not practical, as it would likely introduce numerous performance issues and problems with the use of system components during development.

Unfortunately, this tool hasn't received major updates in a long time; most recent framework changes have focused on support and security. This provides some stability, but limits developers when compared to other modern GUI building tools. These capabilities are particularly related to the flexibility of GUI creation. Some interface elements used in Windows Forms have a rather outdated default look and limited functionality.

The C # programming language used by the Windows framework Forms has long been a popular development environment, with numerous books and documentation written over the years, and a large developer community built. As a result, the entry threshold for GUI development on Windows is relatively low. Forms are quite low.

Qt framework is a powerful cross-platform tool for developing software in the C ++ programming language. This framework also supports other languages through bindings. Qt has long been a market leader among large corporations.

Qt development is achieved through several factors. The framework offers a wide range of ready-to-use components (widgets, classes for working with networks or databases, etc.). The primary tool for designing graphical interfaces is Qt Designer. It allows you to create interfaces using visual programming, significantly speeding up development. The framework uses declarative interface descriptions, allowing for faster creation of graphical interfaces for embedded systems and mobile applications.

Qt framework uses one of the most optimized programming languages, C++. This allows it to be used for both simple desktop applications and complex and demanding systems. Programs created with the Qt framework are compiled to native machine code, ensuring high application speed and reducing resource consumption. For graphically complex interfaces, hardware acceleration is used via Vulkan, DirectX, and other graphics APIs.

Qt is one of the most powerful and productive cross-platform solutions on the market. It supports all major operating systems: Windows, Linux, macOS, Android, and iOS. Business logic

and most of the interface code are written once, and the Qt compiler and other framework-integrated tools are used for specific operating systems.

Applications written using Qt have virtually no limitations in terms of the appearance and capabilities of their graphical interfaces. The framework uses a system similar to CSS , allowing you to create complex geometric shapes, define gradients, and much more without touching C ++ code. Figure 2 shows a comparison of the graphical interfaces of desktop applications created using the Windows Forms and Qt frameworks.

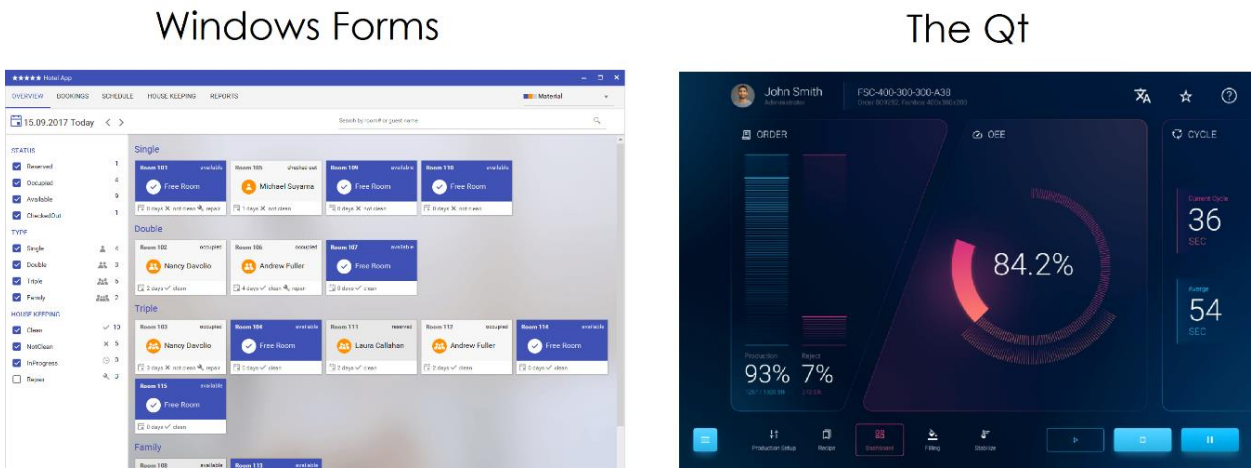


Figure 2 – Comparison of graphical interfaces of desktop applications developed using Windows frameworks Forms and Qt

The Qt framework gives developers complete control over the interface's appearance and behavior through the use of QML and Qt Quick technologies, which enable the description of dynamic user interfaces. This is especially important for creating custom UIs in industrial and embedded systems [1]. Using these technologies, developers gain complete control over every pixel, enabling them to create complex animations, 3D effects, and custom transitions.

Qt framework has two licensing options. The first is an open commercial license, which requires the user to make the source code of the Qt libraries publicly available whenever they are modified (the program's business logic does not need to be made public). The second option requires the user to pay The Qt Company (the developer and owner of the Qt framework). In this case, it's permissible not to release the source code of the modified libraries. A free version may be sufficient for developers, but for large companies, this could be a problem.

Qt framework has been in development since 1990, and during this time, it has gathered a huge community of developers and enthusiasts. Numerous books, video blogs, and websites with answers to frequently asked questions about the framework are available for learning Qt. Beyond the community, there's also structured support: commercial partners, consultants, and The Qt Company itself, which organizes the annual Qt World Summit conference.

Conclusion. The graphical interface development systems discussed above offer distinct capabilities and advantages. Modern UI frameworks strive for a balance between development speed, performance, and cross-platform compatibility; however, achieving all three simultaneously remains challenging [3]. Table 1 presents an assessment of the graphical interface development systems based on the analysis. The analysis was conducted taking into account the user's choices when creating software.

Table 1 – Comparative analysis of graphical interface construction systems of various frameworks

Analysis criterion	Flutter	Jetpack Compose	Windows Forms	Electron	Qt
Speed of development	5	4	5	5	4

Performance	4	5	3	2	5
Cross-platform	5	4	1	5	5
Customization	4	4	3	5	5
Licensing	5	5	5	5	3
Community	5	5	4	5	5

The primary criterion when choosing a framework for creating a graphical interface remains experience with the programming language used by that framework [10]. When choosing a tool, the developer should consider not only technical specifications but also long-term support, licensing, and community accessibility [6]. When choosing a graphical interface building system, it is necessary to consider several factors. First, it is necessary to determine the target platforms for which the software is being developed. Second, it is necessary to identify the software's functional capabilities. Third, it is also worth taking a closer look at the building systems that are of greatest interest in the field of software development.

The analysis yields several important conclusions. The presented graphical interface development systems are designed for a variety of tasks and each have their own advantages and disadvantages. An effective interface should not only be functional but also align with the user's cognitive models, minimizing cognitive load [5]. Almost all of the systems reviewed offer extensive cross-platform support, allowing for software development for multiple operating systems simultaneously. Some frameworks offer superior performance, while others boast high development speed or even tools for converting a finished website into a fully-fledged application.

Список источников

1. Бланшет, Ж. Программирование на C++ с использованием Qt 6 / Ж. Бланшет, М. Саммерфилд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2023. – 832 с.
2. Глушаков, С. В. Программирование на языке C# / С. В. Глушаков, И. В. Линчевский. – Харьков : Фолио ; Москва : АСТ, 2021. – 416 с.
3. Джонс, М. Разработка кроссплатформенных приложений с помощью .NET MAUI / М. Джонс ; пер. с англ. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – 320 с.
4. Норман, Д. А. Дизайн привычных вещей / Д. А. Норман. – Москва : Альпина нон-фикшн, 2022. – 304 с.
5. Полляк, М. Electron: создание кроссплатформенных десктопных приложений / М. Полляк ; пер. с англ. – Москва : ДМК Пресс, 2020. – 288 с.
6. Сергушев, Н. А. Современные методы проектирования пользовательских интерфейсов : учебное пособие / Н. А. Сергушев. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2021. – 208 с.
7. Троелсен, Э. Язык программирования C# 10 и платформа .NET 6 / Э. Троелсен, Ф. Джепикс ; пер. с англ. – Санкт-Петербург : Питер, 2023. – 1248 с.
8. Флоринский О.С., Мороз П.С. О моделировании потоков событий и данных при проектировании баз данных. – «Перспективы науки». – Тамбов: Издательский Дом ТМБпринт, 2019. – №4 (115).– С. 13 – 19.
9. Флоринский О.С., Барышников А.А. Графический интерфейс Jetpack Compose // Вестник Ессентукского института управления, бизнеса и права. Межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 20. Ессентуки: Издательский центр ЧОУ ВО ЕИУБП, 2023. – С. 155-161.
10. Флоринский О.С., Шахбазян А.К. Язык Python // «Молодая наука-2020». Сборник научных трудов VIII-й ежегодной научно-практической конференции «Университетская наука – региону» (2020 г.) / Под ред. Т.А. Шебзуховой, А.А. Вартумяна, И.М. Першина – Пятигорск: Издательство ПФ СКФУ, 2020. – Т.III. – С. 244 – 247
11. Уиндмилл, Э. Flutter в действии / Э. Уиндмилл ; пер. с англ. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 416 с.
12. Шикин, Е. В. Компьютерная графика. Qt и OpenGL / Е. В. Шикин, А. В. Плисский. – Москва : ДМК Пресс, 2022. – 352 с.

References

1. Blanchet J, Summerfield M. C++ GUI Programming with Qt 6. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg; 2023. 832 p. (In Russ.).

2. Glushakov SV, Linchevskiy IV. Programming in C#. Kharkiv: Folio; Moscow: AST; 2021. 416 p. (In Russ.).
3. Jones M. Cross-Platform Development with .NET MAUI. Moscow: DMK Press; 2023. 320 p. (In Russ.).
4. Norman DA. The Design of Everyday Things. Moscow: Alpina non-fiction; 2022. 304 p. (In Russ.).
5. Pollak M. Electron: Building Cross-Platform Desktop Applications. Moscow: DMK Press; 2020. 288 p. (In Russ.).
6. Sergushev NA. Modern Methods of User Interface Design: a textbook. Moscow: Goryachaya Liniya-Telekom; 2021. 208 p. (In Russ.).
7. Troelsen E, Jepiks F. C# 10 and .NET 6. Saint Petersburg: Piter; 2023. 1248 p. (In Russ.).
8. Florinskiy OS, Moroz PS. On modeling event and data flows in database design. Perspektivy Nauki. 2019;(4):13-19. (In Russ.).
9. Florinskiy OS, Baryshnikov AA. Graphical interface Jetpack Compose. Vestnik Essentukskogo Instituta Upravleniya, Biznesa i Prava. 2023;(20):155-161. (In Russ.).
10. Florinskiy OS, Shakhbazyan AK. Python language. In: "Molodaya Nauka-2020". Proceedings of the VIII Annual Scientific and Practical Conference "University Science to the Region" (2020). Pyatigorsk: PF SKFU Publishing House; 2020. Vol. III. p. 244-247. (In Russ.).
11. Windmill E. Flutter in Action. Moscow: DMK Press; 2021. 416 p. (In Russ.).
12. Shikin EV, Pliskiy AV. Computer Graphics. Qt and OpenGL. Moscow: DMK Press; 2022. 352 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Флоринский Олег Святославович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления и информационных технологий Пятигорского института (филиала) Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: PDY-4346-2025

Барышников Андрей Андреевич – студент 4 курса направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии», лаборант кафедры систем управления и информационных технологий Пятигорского института (филиала) Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: PDY-4136-2025

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Florinsky Oleg Svyatoslavovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Control Systems and Information Technologies of the North-Caucasus Federal University, Researcher ID: PDY-4346-2025

Andrey Andreevich Baryshnikov – 4th year student of the 09.03.02 direction «Information Systems and Technologies», laboratory assistant at the Department of Control Systems and Information Technologies of the Pyatigorsk Institute (branch) North-Caucasus Federal University, Researcher ID: PDY-4136-2025

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 42-60
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Modern Science and Innovations. 2026;(2) 42-60
TECHNICAL SCIENCES
INFORMATION, COMPUTING AND MANAGEMENT

Научная статья
УДК 621.182
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.4

Методологические подходы к организации полного производственного цикла блочно-модульных котельных от технического задания до ввода в эксплуатацию

Владимир Андреевич Андреев[1*]

[1] ООО Термовольт (101000, РОССИЯ, МОСКВА Г, МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ОКРУГ БАСМАННЫЙ ВН.ТЕР.Г., Б-Р ЧИСТОПРУДНЫЙ, Д. 2, ПОМЕЩ. 52/2)
[1] vladimirdep1@gmail.com; https://orcid.org/0009-0001-2713-4063
*Автор, ответственный за переписку

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлено систематизированное описание методологических подходов к организации полного производственного цикла блочно-модульных котельных (БМК) от формирования технического задания до ввода объекта в эксплуатацию. Методологическая литература по теме фрагментарна. Отдельные стадии жизненного цикла имеют подробное описание, тогда как методология сквозной координации этапов в систематическом виде не сформулирована. ***Цель.*** Разработка методологического каркаса, представляющего жизненный цикл БМК как единый информационный контур, и выделение сквозных принципов, обеспечивающих преемственность инженерных решений на стыках стадий. ***Материалы и методы.*** Исследование построено на сравнительном анализе российской, европейской и североамериканской инженерных школ, поэтапной декомпозиции жизненного цикла БМК, методологическом синтезе и обобщении современной научной литературы по системной инженерии, цифровым двойникам и кибербезопасности энергетических объектов. ***Результаты и обсуждение.*** В ходе работы выделены четыре сквозных методологических принципа – преемственности данных, ранней диагностируемости, модульности как проектно-производственного принципа и интегрированной безопасности. Разработаны граф преемственности данных, матрица реализации принципов по этапам и классификация методологических рисков. Обнаружена нелинейная зависимость стоимости устранения рисков от удалённости стадии их обнаружения от стадии возникновения. ***Заключение.*** Качество производственного цикла БМК определяется сквозной согласованностью переходов между стадиями сильнее, чем локальной оптимизацией решений внутри отдельных стадий. Обозначены перспективные направления, связанные с цифровыми двойниками, передачей данных через границы жизненных циклов и кибербезопасностью дистанционного мониторинга.

Ключевые слова: блочно-модульная котельная, жизненный цикл оборудования, методология проектирования, заводская готовность, пусконаладка, преемственность инженерных данных, промышленная теплоэнергетика, котельное оборудование, диагностируемость, интегрированная безопасность

Для цитирования: Андреев В.А. Методологические подходы к организации полного производственного цикла блочно-модульных котельных от технического задания до ввода в эксплуатацию // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 42-60. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.4

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.01.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2025;
принята к публикации 01.03.2025.

© Андреев В.А.., 2026

Research article

Methodological approaches to organizing the complete production cycle of block-modular boiler houses from technical specification to commissioning

Vladimir A. Andreev[1*]

[1] Termovolt LLC (101000, RUSSIA, MOSCOW, MUNICIPAL DISTRICT BASMANNY VN.TER.G., B-R CHISTOPRUDNY, 2, ROOM 52/2)
[1] vladimirdep1@gmail.com; https://orcid.org/0009-0001-2713-4063
*Corresponding author

Abstract. ***Introduction.*** The paper presents a systematized description of methodological approaches to organizing the complete production cycle of block-modular boiler houses (BMBH) from the technical specification stage to commissioning. The state of the literature is fragmented: individual life-cycle stages are thoroughly described, while the methodology of cross-stage coordination is not systematically articulated. ***Goal.*** Development of a methodological framework treating the BMBH life cycle as a unified information loop and identification of cross-cutting principles ensuring continuity of engineering solutions at stage boundaries. ***Materials and methods.*** The research is based on a comparative analysis of Russian, European and North American engineering schools, stage-by-stage decomposition of the BMBH life cycle, methodological synthesis, and generalization of recent scientific literature on systems engineering, digital twins and cybersecurity of energy facilities. ***Results and discussion.*** Four cross-cutting methodological principles are identified – data continuity, early diagnosability, modularity as a design-and-production principle, and integrated safety; a data-continuity graph, a matrix mapping principles onto stages, and a classification of methodological risks are developed; a nonlinear dependence of the cost of risk mitigation on the distance between detection and origination stages is established. ***Conclusion.*** It is concluded that the quality of the BMBH production cycle is determined by cross-stage consistency rather than by local optimization within individual stages; prospective directions are outlined, including digital twins, data transfer across life-cycle boundaries, and cybersecurity of remote monitoring systems.
Key words: block-modular boiler house, equipment life cycle, design methodology, factory readiness, commissioning, engineering data continuity, industrial heat-power engineering, boiler equipment, diagnosability, integrated safety

For citation: Andreev V. Methodological approaches to organizing the complete production cycle of block-modular boiler houses from technical specification to commissioning. *Modern Science and Innovations*. 2026;(2):42-60. (In Russ.). https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.4

Conflict of interest: the autors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 12.01.2026;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Введение. Блочно-модульные котельные, далее БМК, занимают устойчивое место в практике промышленной теплоэнергетики и коммунального теплоснабжения. Сжатые сроки ввода, высокая степень заводской готовности, унификация платформенных решений и независимость от характеристик строительной площадки выдвигают этот класс оборудования на роль предпочтительного по экономическим и техническим критериям в широком диапазоне задач от обеспечения тепловой энергией удалённых производственных объектов до резервирования генерации в составе распределённых энергосистем. Распространение блочно-модульного подхода в последние десятилетия привело к формированию устойчивой инженерной практики на всех стадиях жизненного цикла такого оборудования.

При этом методологическая литература по теме фрагментарна. Каждая стадия из числа формирования технического задания, проектирования, заводской сборки, монтажа,

пусконаладки и ввода в эксплуатацию имеет описание в нормативных документах, отраслевых руководствах и тематических публикациях. Методология сквозной координации этих стадий, которая обеспечивает преемственность инженерных решений и информационных артефактов на стыках, в систематическом виде не сформулирована. Практикующий инженер вынужден реконструировать её самостоятельно, опираясь на разрозненные источники и накопленный опыт.

Это положение порождает практическую проблему. Отраслевой опыт показывает, что заметная часть удорожаний и срывов сроков при реализации проектов БМК связана с разрывами преемственности между стадиями, тогда как дефекты решений внутри стадий имеют вторичный характер. К числу таких разрывов относятся требования технического задания, не доведённые до проектных решений. Сюда же относятся проектные допущения, не верифицированные на этапе заводских испытаний. Подобной природы и диагностическая архитектура автоматики, не предусмотренная при проектировании и оттого недоступная при эксплуатации. Стоимость устранения таких разрывов растёт по нелинейному закону по мере удаления от стадии их возникновения.

Настоящая статья ставит исследовательский вопрос. Какие методологические принципы обеспечивают преемственность инженерных решений между этапами жизненного цикла блочно-модульной котельной и как они соотносятся с практикой типового проектирования по разделам. Защищаемый тезис состоит в том, что жизненный цикл БМК следует рассматривать как единый информационный контур. В этом контуре четыре сквозных принципа из числа преемственности данных, ранней диагностируемости, модульности как проектно-производственного принципа и интегрированной безопасности определяют качество перехода между этапами сильнее, чем локальная оптимизация решений внутри каждой стадии.

Объектом исследования выступает полный производственный цикл блочно-модульных котельных от формирования технического задания до ввода объекта в эксплуатацию.

Предметом исследования являются методологические принципы и инструменты сквозной координации этапов жизненного цикла БМК, обеспечивающие преемственность инженерных решений и информационных артефактов на стыках стадий.

Цель исследования – разработка методологического каркаса организации полного производственного цикла блочно-модульных котельных, представляющего жизненный цикл БМК как единый информационный контур и систематизирующего сквозные принципы координации этапов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследования:**

1) провести сравнительный анализ российской, европейской и североамериканской инженерных школ для выявления различий методологических акцентов в организации жизненного цикла БМК.

2) выделить и охарактеризовать методологические особенности шести стадий жизненного цикла БМК с акцентом на переходах между этапами.

3) сформулировать сквозные методологические принципы, обеспечивающие преемственность инженерных решений и информационных артефактов между стадиями цикла.

4) разработать аналитические инструменты систематизации в виде графа преемственности данных, матрицы реализации сквозных принципов и классификации методологических рисков.

5) обозначить открытые методологические вопросы и направления дальнейшей систематизации с учётом современного состояния исследований в области цифровых двойников, диагностики и кибербезопасности энергетических объектов.

Введение определяет техническую и нормативную рамку рассматриваемого класса оборудования и проводит сопоставление российской, европейской и североамериканской инженерных школ. Раздел «Материалы и методы исследований» характеризует источниковую базу работы, описывает методический аппарат и разбирает шесть стадий жизненного цикла БМК с акцентом на методологических переходах между ними. Раздел «Результаты исследований и их обсуждение» представляет аналитический синтез из четырёх сквозных принципов и трёх инструментов в виде графа преемственности данных, матрицы принципов и классификации методологических рисков, а также обозначает открытые методологические вопросы и направления дальнейшей систематизации. Заключение формулирует основные выводы и практические применения предложенной методологической рамки.

Под блочно-модульной котельной в настоящей статье понимается транспортабельная котельная установка, которая поставляется на объект в виде одного или нескольких заводски собранных и испытанных блок-модулей. Такие модули содержат основное и вспомогательное теплотехническое оборудование, средства автоматизации и обвязку. На площадке от установки требуется подключение к внешним сетям без выполнения существенного объёма монтажных работ внутри блока. Такая трактовка отделяет БМК и от котельных стационарного исполнения, которые монтируются на площадке из отдельных компонентов, и от мобильных или контейнерных установок временного назначения, для которых требования к долговечности и нормированию иные.

Рабочая классификация БМК строится по нескольким независимым основаниям. По типу теплоносителя выделяются водогрейные, паровые и комбинированные установки. По диапазону мощности различают установки малой мощности до 1 МВт, средней мощности от 1 до 10 МВт и большой мощности свыше 10 МВт. Верхняя граница применимости блочно-модульного исполнения определяется в большей мере транспортно-логистическими ограничениями, чем теплотехническими. По виду топлива установки делятся на газовые, жидкотопливные, твердотопливные, а также установки с возможностью переключения. По исполнению различают открытые установки с навесом, полузакрытые и закрытые в утеплённой оболочке блока. Каждое из оснований влечёт самостоятельный набор проектных и нормативных требований.

Российская нормативная рамка проектирования и эксплуатации БМК опирается на федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности [1], своды правил по теплоснабжению и тепловым сетям [2, 3], профильные государственные стандарты на котельное оборудование и средства автоматизации, а также на отраслевые методические документы предприятий-изготовителей. Эта рамка акцентирует параметры готового изделия из числа допустимого давления, температур, требований к материалам, оснащению предохранительными устройствами, объёмам и периодичности освидетельствований. Процессная сторона того, как организован цикл от ТЗ до ввода, остаётся в зоне внутренней методологии проектных и производственных организаций.

Европейская практика представлена в первую очередь стандартами EN 12952 для водотрубных котлов [5] и EN 12953 для жаротрубных котлов [6], а также поддерживающим их корпусом гармонизированных норм. Эта школа выстраивает иной методологический акцент. Значительная часть требований относится к процессам оценки риска при проектировании, обеспечения заводской готовности, документирования инженерных решений, прослеживаемости материалов и сварных соединений, верификации эксплуатационных свойств до отгрузки. Скандинавская традиция централизованного теплоснабжения, в которой блочно-модульный подход развивался десятилетиями, дополняет эту картину устойчивыми отраслевыми решениями по типизации платформ и дистанционному мониторингу [12, 13].

Североамериканская традиция опирается на ASME Boiler and Pressure Vessel Code [7] и акцентирует распределение ответственности между изготовителем котельного оборудования, проектировщиком установки и эксплуатирующей организацией. Сертификация изготовителя по соответствующим разделам кода, обязательное привлечение уполномоченного инспектора, разграничение зон ответственности по комплектности и монтажу формируют методологическую среду, в которой межстадийные переходы оформляются в документальной и юридической форме. Российская традиция нормирует параметры изделия, европейская традиция нормирует процесс заводской готовности, североамериканская традиция нормирует границы ответственности участников цикла. Каждая из них предлагает практикующему инженеру свою рабочую модель координации этапов, и зрелая методология организации полного цикла БМК тяготеет к синтезу этих акцентов.

Указанное различие методологических акцентов имеет практические следствия для организации полного цикла. В рамках изделие-ориентированного подхода информационная преемственность между этапами обеспечивается через паспорта оборудования, заключения по освидетельствованиям и комплекты исполнительной документации. Процессная сторона остаётся внутренним делом исполнителей. В подходе, который ориентирован на заводскую готовность, преемственность распространяется на процедурный план работ, протоколы оценки рисков и записи прослеживаемости. Это снижает методологический разрыв между проектным замыслом и физической реализацией. В подходе, который ориентирован на распределение ответственности, преемственность подкрепляется юридически значимыми границами зон ответственности, и нарушение преемственности данных получает прозрачное правовое выражение. Современная российская практика проектирования и поставки БМК содержит элементы всех трёх подходов, при этом степень их интеграции в единую методологическую рамку остаётся неравномерной.

Систематизация различий трёх школ по основным аспектам организации жизненного цикла БМК приведена в таблице 1. Сравнение фиксирует те различия методологических акцентов, которые существенны для практики координации этапов цикла.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика инженерных школ по аспектам организации жизненного цикла БМК/ Table 1 – Comparative characteristics of engineering schools in terms of BMK lifecycle management

Аспект организации цикла	Российская традиция	Европейская традиция (EN, скандинавская школа)	Североамериканская традиция (ASME)
Основной нормативный фокус	Параметры готового изделия	Процесс обеспечения заводской готовности	Распределение ответственности участников
Базовая нормативная рамка	ФНП по котлам, СП 89.13330, отраслевые ГОСТ	EN 12952, EN 12953, гармонизированные нормы CEN	ASME BPVC, юрисдикционные нормы штатов
Документирование межстадийных переходов	Паспорта изделия, освидетельствования, испол. документация	Процедурный план, оценка рисков, прослеживаемость	Юридически фиксируемые границы ответственности
Подход к заводской готовности	Нормируется через требования к комплектности	Нормируется как самостоятельный процесс	Регламентируется через ответственность изготовителя
Роль независимой инспекции	Ростехнадзор и подведомственные органы	Нотифицированные органы (Notified Bodies)	Authorized Inspector в рамках ASME-сертификации

Материалы и методы исследований. Материалом исследования служат три группы источников. К первой группе относятся действующие нормативные документы Российской Федерации в области промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, проектирования котельных установок и тепловых сетей, а также применения цифровых двойников в промышленности [1–4]. Ко второй группе принадлежат международные стандарты в области котельного оборудования и системной инженерии, включая серии EN 12952 и EN 12953, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ISO/IEC/IEEE 15288 и IEC 62443 [5–9]. Третью группу образует современная научная литература по системной инженерии, цифровым двойникам, диагностике и кибербезопасности энергетических объектов, опубликованная в рецензируемых журналах в 2018–2024 годах [10–20]. Помимо литературных источников в работе обобщается практический опыт автора в области проектирования, производства и пусконаладки блочно-модульных котельных.

Методическая основа работы опирается на четыре компонента. Сравнительный анализ нормативных рамок российской, европейской и североамериканской инженерных школ выявляет методологические акценты, существенные для координации этапов жизненного цикла БМК. Поэтапная декомпозиция жизненного цикла обеспечивает выделение методологических особенностей шести стадий из числа технического задания, проектирования, производства, монтажа и пусконаладки, ввода в эксплуатацию и эксплуатационного цикла. Методологический синтез позволяет выявить сквозные принципы, проходящие через все этапы, и построить авторские инструменты координации в виде графа преемственности данных, матрицы реализации сквозных принципов и классификации методологических рисков. Обобщение литературных данных верифицирует предложенные решения на соответствие современному состоянию исследований в области диагностики, цифровых двойников и кибербезопасности энергетических объектов.

Этап технического задания. Техническое задание представляет собой одновременно вход проектного цикла и точку максимальной концентрации методологических рисков. Решения, не зафиксированные в ТЗ, реконструируются проектировщиком из косвенных предпосылок или обнаруживаются как пропуск на поздних стадиях, где стоимость исправления возрастает на порядки. По этой причине методология формирования ТЗ заслуживает отдельного содержательного анализа сверх чек-листа обязательных пунктов.

Содержательное наполнение ТЗ для БМК группируется в пять связанных блоков. Характеристика тепловой нагрузки охватывает номинальное значение и график потребления сезонный, суточный или технологический, требования к минимальному и максимальному режимам, требования к скорости отклика на изменение нагрузки. Топливные характеристики включают основной и резервный виды топлива, требования к качеству, источники и условия поставки, ограничения по составу. Климатические и площадочные ограничения охватывают расчётные температуры, ветровые и снеговые нагрузки, сейсмичность, особенности грунтов, доступную площадь и габариты транспортных коридоров. Требования к автоматизации задают степень автоматизации, наличие постоянного оперативного персонала, потребности в диспетчеризации и дистанционном управлении. Требования по надёжности и безопасности фиксируют категорию электроснабжения, степень резервирования, специальные требования промышленной безопасности, обусловленные характером основного производства.

Методологическая особенность ТЗ для БМК состоит в том, что многие его параметры связаны между собой, причём связи эти не всегда очевидны заказчику на момент формирования документа. Требование к компактности компоновки ограничивает выбор типа и компоновки котлов. Требование к маневренности нагрузки определяет необходимость в установке нескольких котлов меньшей мощности взамен одного крупного. Требование к дистанционной эксплуатации без постоянного присутствия персонала влечёт повышенные

требования к составу средств автоматики и диагностики. Зрелая практика формирования ТЗ предусматривает диалоговый цикл с проектировщиком на ранней стадии, в ходе которого эти связи проясняются до фиксации финальной редакции.

Отраслевая практика обнаруживает три типичных методологических дефекта ТЗ. Недоопределённость графика тепловой нагрузки в виде указания одних пиковых значений без характеристики режимной части ведёт к избыточной установленной мощности и плохим частичным режимам. Неполнота требований к резервированию проявляется в формальном указании категории взамен содержательной формулировки того, что должно сохраняться при отказе чего, и обнаруживается уже на стадии проектирования с возвратом к заказчику. Отсутствие требований к диагностируемости закрепляет архитектуру автоматики, непригодную для последующего анализа отказов, поскольку ТЗ не предъявляет требований к составу архивируемых параметров и глубине ретроспективы. Каждый из этих дефектов обнаруживается за пределами этапа ТЗ, и эта задержка порождает основные потери жизненного цикла.

Методологически продуктивная форма работы с ТЗ имеет вид итерационного диалогового цикла между заказчиком и проектировщиком на ранней стадии, а формальное согласование документа в финальной редакции уступает ему по эффективности. На таком цикле проектировщик проясняет связанные параметры, демонстрирует заказчику технико-экономические следствия альтернативных формулировок и фиксирует принятые решения с указанием их источников. Эта практика снимает значительную часть будущих рисков до начала собственно проектирования и формирует у заказчика реалистичные ожидания относительно характеристик будущей установки. В отраслях со зрелой методологической культурой такой цикл оформлен процедурно через серию рабочих совещаний с протоколированием принятых решений. В иных случаях он остаётся внутренней практикой отдельных проектных организаций.

Проектирование блочно-модульной котельной как системы решений. Проектирование БМК распадается на устоявшийся набор разделов. К ним относятся тепловая схема, компоновка оборудования в габаритах блока, газовый тракт и дымоудаление, водоподготовка, электротехническая часть, контрольно-измерительные приборы и автоматика, автоматизированная система управления технологическим процессом. Каждый раздел опирается на собственный нормативный и расчётный аппарат, выполняется специализированной группой и оформляется самостоятельным комплектом документации. Качество решений внутри отдельного раздела обеспечивается профессиональной подготовкой исполнителя. Центральный методологический сюжет проектного этапа состоит в согласованности решений между разделами.

Принципы согласования между разделами реализуются через систему сквозных параметров и контрольных точек. Тепловая схема задаёт расходы и параметры теплоносителя, на которых строится подбор насосного оборудования в электротехнической части и проектирование трубопроводов в компоновочной части. Компоновка определяет физическое размещение оборудования, на котором строится трассировка газового тракта и кабельных линий. Решения по водоподготовке диктуют требования к материальному исполнению котлов и трубопроводов. Архитектура АСУ ТП согласовывается со всеми перечисленными разделами на уровне состава измеряемых параметров, точек размещения датчиков и логики защит. Разрыв в любой из этих связей обнаруживается на стадии заводской сборки или ПНР и обходится дороже, чем согласование на проектном этапе.

Расчётный аппарат проектирования БМК включает группу типовых задач, для каждой из которых сложилась устойчивая методика. Тепловые балансы котельного контура и тепловой схемы установки в целом определяют выбор основного оборудования и режимные

характеристики. Аэродинамический расчёт газового тракта с учётом местных сопротивлений в условиях компактной компоновки блока определяет требования к дымососам и геометрии дымохода. Гидравлический расчёт водяного контура определяет напорно-расходные характеристики циркуляционных насосов. Отдельную группу составляют расчёты, которые зависят от характера обслуживаемого технологического процесса. При проектировании БМК для процессов с высокими и переменными температурами теплоносителя, в том числе для процессов переработки и хранения вязких нефтепродуктов, стандартной инженерной задачей становится расчёт теплового расширения коллекторов и трубопроводов с подбором компенсаторных решений. Эти решения предотвращают деформацию и повреждение труб при штатных циклах нагрева и охлаждения. Игнорирование этой задачи на проектной стадии приводит к одному из распространённых эксплуатационных дефектов БМК в виде нарушения герметичности коллекторных узлов.

Задача расчёта теплового расширения выходит за рамки одноактного вычисления величины удлинения по справочному коэффициенту. Она требует анализа цикличности тепловых нагрузок, учёта неравномерности нагрева различных участков трубопровода в реальных режимах работы, согласования компенсаторных решений с условиями закрепления трубопровода и с геометрией размещения оборудования в габаритах блок-модуля. Каждое из этих обстоятельств меняет выбор компенсаторного решения в широком диапазоне от подбора П-образных или Z-образных компенсаторов и сильфонных компенсаторов до пересмотра самой компоновки трубопровода. Особенность БМК как класса оборудования состоит в том, что свобода компоновочных решений ограничена габаритами блок-модуля, и это ограничение учитывается при проектировании компенсации температурных деформаций с первых итераций, без откладывания на финальную стадию.

Особое методологическое место на проектном этапе занимает закладка диагностируемости. Под диагностируемостью понимается свойство установки, которое обеспечивает возможность последующего анализа её состояния и причин отказов по архивным данным средств автоматики. Диагностируемость не достраивается в эксплуатации. Когда архитектура АСУ ТП спроектирована без необходимого состава измеряемых параметров, без должной частоты опроса и без достаточной глубины архивирования, последующий анализ оказывается ограничен вне зависимости от квалификации эксплуатирующего персонала. Зрелая практика проектирования включает диагностические требования в техническое задание на АСУ ТП на одном уровне с требованиями по управлению и защитам. В состав архивируемых параметров входят основные технологические переменные и косвенные индикаторы состояния оборудования, на которых строятся диагностические признаки. Эта закладка образует методологический мостик к стадии эксплуатации. Возможности диагностики неисправностей по архивам АСУ ТП в эксплуатации определяются проектными решениями. Современные обзоры методов обнаружения отказов в подстанциях централизованного теплоснабжения и в котельном оборудовании в целом подтверждают эту зависимость: эффективность диагностики критически определяется составом и метаданными архивных рядов, формируемых на стадии проектирования автоматики [14, 15].

Содержательный набор требований к диагностируемости БМК поддаётся обобщению. В состав архивируемых параметров входят температуры теплоносителя на входе и выходе каждого котла и на ключевых узлах тепловой схемы, давления в основных контурах с частотой опроса, достаточной для фиксации переходных процессов, расходы топлива и теплоносителя, параметры состояния горелочных устройств, токи и потребляемые мощности насосного оборудования. К каждой из групп параметров предъявляются требования по точности привязки во времени через единый источник синхронизации всех измерительных каналов, по глубине архива не менее эксплуатационного цикла межремонтного периода и по сохранности

при сбоях питания и связи. Архитектурная возможность последующей выгрузки архивов в форматах, пригодных для автономного анализа специалистами проектной или экспертной организации, имеет принципиальное значение. Без неё диагностический потенциал АСУ ТП оказывается ограничен возможностями штатного интерфейса оператора.

Производство: переход от проекта к изделию. Производственная стадия БМК переносит ключевые операции с площадки заказчика в заводской цех. В блоке изготавливают и сваривают раму, ставят котлы, теплообменники и насосы, монтируют газоходы, дымоходы, трубопроводы теплоносителя и топлива, кабельные трассы, шкафы автоматики и контуры КИПиА. Такой перенос повышает управляемость качества и сокращает сроки работ на площадке.

Контроль качества идёт по ходу сборки. Сварные соединения проходят неразрушающий контроль, трубопроводы испытывают давлением до закрытия облицовкой, цепи АСУ ТП проверяют до подачи питания. Это нужно из-за будущей недоступности многих узлов. Дефект, найденный после отгрузки или монтажа, ведёт к демонтажу, чей объём многократен исходным работам.

Заводские испытания завершают изготовление блока перед отправкой. Их программа зависит от типа установки и договора: прокрутка оборудования без нагрузки, гидравлические испытания, проверка защит, блокировок и алгоритмов автоматики на стенде. Эти испытания подтверждают качество сборки и формируют исходные данные для оценки пусконаладки на площадке.

Методологическая роль испытаний связана с переходом изделия в новое состояние жизненного цикла. До них установка остаётся собранным объектом с ожидаемым соответствием проекту. После них она получает статус проверенного экземпляра с зафиксированными характеристиками. Полные протоколы сокращают объём площадочных проверок, а формальные протоколы заставляют повторять заводскую программу в худших условиях. Модульность БМК тоже является результатом внутренней организации производства: единой платформы, типоразмеров, унифицированных подключений, типовых шкафов автоматики и общей системы обозначений. Без этого каждая поставка становится разовым инженерным проектом, что разрушает экономический смысл блочно-модульного подхода.

Монтаж и пусконаладка на площадке. После отгрузки заводски собранного и испытанного блок-модуля на площадку заказчика жизненный цикл БМК переходит в стадию площадочных работ. Логистическая организация этой стадии распадается на два контура. Шеф-монтажные работы выполняются специалистами завода-изготовителя и обеспечивают правильность установки и подключения блока. Общестроительные и монтажные работы по подготовке фундаментов, подведению внешних сетей и обустройству площадки выполняются подрядной организацией заказчика. Разграничение зон ответственности между двумя контурами на стадии договорных отношений предотвращает заметную часть площадочных проблем.

Подключение блок-модуля к внешним сетям включает несколько технологически независимых, но методологически связанных операций. Сюда относятся подключение к газораспределительной системе с выполнением регламентов промышленной безопасности, подключение к системе водоснабжения и водоотведения, подключение к системе электроснабжения с проверкой согласованности категорий надёжности, подключение к тепловым сетям заказчика, монтаж и подключение дымоотводящего тракта в части, которая выходит за габариты блока. Каждая из операций имеет собственные нормативные требования и собственный набор актов, которые оформляют её завершение. При этом операции образуют

связанную последовательность. Попытка ускоренного выполнения отдельных операций без соблюдения связности оборачивается возвратом к ним на этапе пусконаладки.

Пусконаладочные работы выполняются по программе из трёх последовательных этапов. Индивидуальные испытания проверяют работоспособность отдельных единиц оборудования и подсистем в условиях фактической площадки. Насосы, горелочные устройства, контуры регулирования и защит проверяются автономно до включения в общую технологическую схему. Комплексное опробование объединяет проверенные подсистемы в работающую установку и контролирует согласованность их взаимодействия в основных режимах. Режимная наладка завершает цикл, обеспечивает оптимизацию параметров работы установки под фактическую тепловую нагрузку и условия площадки и формирует итоговые режимные карты, которые передаются эксплуатирующей организации.

Интеграция систем безопасности на этапе ПНР заслуживает рассмотрения как сквозной методологический контур, который проходит через все предыдущие стадии. Контроль перегрева, аварийные отсечки по предельным значениям технологических параметров, многоуровневая защита от выхода рабочих сред за допустимые границы, блокировки розжига и пуска, защита от загазованности составляют сквозной контур и опцией финальной стадии не являются. Их требования формируются на этапе технического задания, конкретизируются в проектных решениях, верифицируются на заводских испытаниях и подтверждаются на пусконаладке. Попытка решить вопросы безопасности по факту на стадии ПНР обнаруживает или недостаточность аппаратной базы при отсутствии нужных датчиков, не предусмотренных проектом, или невозможность реализации требуемой логики защит в имеющейся архитектуре АСУ ТП. Любой из этих исходов возвращает работу на проектную стадию, что недопустимо в условиях ввода объекта.

Типичные проблемы стыковки заводской готовности с площадочными условиями составляют отдельный класс трудностей, который требует методологического осмысления. Заводская сборка опирается на расчётные параметры площадки, заявленные в техническом задании. Фактические условия монтажа отличаются по точности отметок фундамента, по характеристикам подведённых сетей, по доступности коммуникаций. Зрелая практика предусматривает на этапе шефмонтажа диагностические процедуры, которые выявляют такие расхождения до начала пусконаладки, и оформляет механизм согласованного принятия решений по их устранению силами одного из участников цикла.

Институциональная организация шефмонтажа требует методологического внимания. Шеф-монтажная группа завода-изготовителя обладает уникальной компетенцией в виде знания конкретного экземпляра поставленного оборудования, которое накоплено в ходе его сборки и заводских испытаний. Эта компетенция не воспроизводится подрядчиком заказчика и не извлекается полностью из переданной документации. Методологически обоснованным является участие шеф-монтажной группы и в ключевых операциях подключения, и в фиксации тех решений, которые принимаются на площадке в отступление от проектных, с включением соответствующих изменений в исполнительную документацию. Без этой фиксации информация о фактически реализованном состоянии установки оказывается размытой между несколькими носителями в виде документации одного состояния, оборудования другого состояния и оперативной памяти шеф-инженеров. Со временем такая информация восстанавливается с потерями.

Ввод в эксплуатацию и переход к эксплуатационному циклу. Стадия ввода в эксплуатацию замыкает производственный цикл БМК и открывает её эксплуатационный жизненный цикл. С методологической стороны она оформляется через передачу эксплуатирующей организации трёх связанных артефактов. Первым артефактом служит материальный объект в виде установленной и наладженной БМК. Вторым артефактом

является документационный комплект из паспортов оборудования, режимных карт, эксплуатационных инструкций, исполнительной документации. Третьим артефактом выступает информационный контур доступа к системам автоматики, дистанционного мониторинга и архивам данных. Полнота и согласованность этих трёх составляющих определяют качество начала эксплуатационного цикла.

Системы дистанционного мониторинга стали отраслевым стандартом ввода в эксплуатацию для значительной части БМК промышленного назначения и расширяют исходный круг задач этапа. Архитектурно такая система включает измерительную и контрольную аппаратуру в составе АСУ ТП блок-модуля, локальный сервер сбора и предобработки данных, канал связи с центром мониторинга в виде выделенного, проводного или беспроводного, в зависимости от расположения объекта и требований по доступности. К системе относятся серверная часть в центре мониторинга с долговременным хранением архивов и средствами визуализации, рабочие места операторов и инженеров-аналитиков. Требования к каналу связи в части пропускной способности, доступности и защищённости, а также к системе разграничения доступа формируются на стадии проектирования и фиксируются в исполнительной документации, которая передаётся при вводе.

Замыкание методологического контура жизненного цикла происходит на этой стадии. Диагностика неисправностей котельного оборудования по архивным данным АСУ ТП представляет собой методический подход, который опирается на анализ ретроспективы измеряемых параметров для выявления признаков неисправностей и предотвращения аварийных ситуаций. Этот подход реализуется при условии, что необходимая архитектура была заложена на проектной стадии. Состав архивируемых параметров, частота их регистрации, глубина хранения, наличие синхронизованных меток времени, привязка к режимам работы установки определяются проектом и не подлежат исправлению в эксплуатации без существенной реконструкции автоматики. Эта связь между проектным решением и эксплуатационной возможностью образует наглядный пример той преемственности данных, которая будет систематизирована ниже в виде сквозного методологического принципа.

Практическое значение этой связи проявляется при возникновении нештатных ситуаций. Анализ архива АСУ ТП за период, предшествующий событию, в значительной части случаев позволяет реконструировать развитие отказа и идентифицировать его первопричину. Такая реконструкция имеет критическое значение для устранения последствий и для предотвращения повторения. Возможность реконструкции существует в той мере, в которой архитектура автоматики была изначально спроектирована для её обеспечения. Установка с минимально достаточным составом измерений, ограниченным набором архивируемых параметров и короткой глубиной хранения после возникновения нештатной ситуации оставляет аналитика без необходимого материала. Восстановление событий по косвенным признакам и опросу персонала даёт более низкий уровень обоснованности выводов. Систематические обзоры применения предиктивного обслуживания и цифровых двойников в энергетическом оборудовании показывают, что эффективность реконструкции и предиктивной аналитики прямо зависит от выбора параметров и архитектуры архива на проектной стадии [17, 20].

Методология передачи объекта эксплуатирующей организации завершает производственный цикл оформлением серии актов. Сюда входят акт приёмки в эксплуатацию, акты индивидуальных и комплексных испытаний, акты разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности, акты передачи документации. Эти документы образуют рабочий справочный аппарат сверх формального завершения. К нему

эксплуатация будет возвращаться в течение всего срока службы установки, в том числе при последующих модернизациях и при разборе нештатных ситуаций.

Особую методологическую значимость имеет режимная карта установки, которая передаётся по итогам наладки. Проектная документация фиксирует расчётные параметры. Режимная карта описывает фактические оптимальные параметры работы конкретного экземпляра БМК в условиях конкретной площадки. Эти параметры представляют собой результат совместной работы заводского оборудования, площадочной обвязки и квалификации наладчика. В их формировании присутствует элемент, который не может быть восстановлен из проектной документации задним числом. Утрата режимной карты или её ненадлежащее ведение в эксплуатации без отметок об изменениях, корректировках и сезонных переключениях приводит к деградации режимной обоснованности работы установки и к ухудшению её экономических характеристик.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведённый разбор шести этапов жизненного цикла БМК даёт аналитический результат работы в форме четырёх сквозных методологических принципов. Их реализация на каждой стадии определяет качество перехода к следующей и эксплуатационные характеристики установки в целом. Дальнейшее изложение раскрывает каждый принцип и сводит результаты в три аналитических инструмента из числа графа преемственности данных, матрицы реализации принципов по этапам и классификации методологических рисков.

Первым сквозным принципом является преемственность данных. Каждый этап жизненного цикла производит информационные артефакты из числа требований, проектных решений, исполнительных документов, протоколов испытаний, режимных карт. Эти артефакты служат верифицируемыми входами для следующего этапа, и качество перехода между этапами есть качество этой передачи. Разрывы преемственности в виде невыраженных в передаваемых артефактах решений, неявных допущений и утраченных при пересборке параметров образуют основную категорию методологических рисков жизненного цикла. Стоимость их устранения тем выше, чем позже они обнаруживаются. Преемственность данных выходит за рамки полноты формальной документации. Значение имеет способность артефакта быть содержательно прочитанным следующим участником цикла, что предполагает согласованность терминологии, единство систем обозначений и форматов и доступность исходных предпосылок, на которых построены решения предыдущего этапа.

Вторым сквозным принципом служит ранняя диагностируемость. Возможность последующего анализа состояния и причин отказов установки определяется архитектурными решениями ранних стадий и проектной стадии в особенности. Диагностируемость не достраивается в эксплуатации и не компенсируется квалификацией персонала. При условии, что необходимые параметры не измеряются, не архивируются с достаточной частотой и глубиной или измеряются без должной точности привязки во времени, реконструкция событий невозможна. Этот принцип переносит задачу обеспечения эксплуатационной диагностики в проектную плоскость, из чего следует методологическое требование. Техническое задание на АСУ ТП включает диагностические требования на одном содержательном уровне с управляющими и защитными. Проектные решения по выбору датчиков и архитектуре сбора данных верифицируются на предмет достаточности для реконструкции типовых сценариев отказов.

Третьим сквозным принципом выступает модульность в её проектно-производственной трактовке. Модульность БМК представляет собой требование к организации деятельности предприятия-изготовителя и потребительским свойством готового изделия не является. Реализованная как принцип, модульность задаёт единую базовую платформу, типоразмерный ряд блок-модулей, унифицированные интерфейсы и стандартизированную документацию, на основе которых формируются конфигурации под индивидуальные требования заказчиков. В

случае, когда принцип не реализован, модульность вырождается в маркетинговую характеристику, скрывающую индивидуальное проектирование каждого заказа. Зрелая реализация принципа предполагает целенаправленные инвестиции изготовителя в разработку базовой платформы и в накопление набора отработанных конфигураций, что окупается за счёт сокращения сроков и рисков последующих поставок.

Четвёртым сквозным принципом выступает интегрированная безопасность. Требования безопасности из числа контроля перегрева, аварийных отсечек, многоуровневой защиты и блокировок формируются как сквозной контур, проходящий через все этапы жизненного цикла. Они задаются в техническом задании, конкретизируются в проектных решениях, верифицируются на заводских испытаниях, подтверждаются на пусконаладке и поддерживаются в эксплуатации. Попытка решения вопросов безопасности на одной из стадий обнаруживает методологическую несостоятельность всей конструкции цикла. Принцип интегрированной безопасности по содержанию близок к принципу ранней диагностируемости. Оба требуют переноса задач, потребность в которых ощущается в эксплуатации, в проектную и более ранние плоскости. Оба наталкиваются на инерционное распределение внимания, при котором проектная стадия концентрируется на функциональных требованиях в ущерб сквозным.

Эти четыре принципа выражают тезис настоящей статьи. Качество жизненного цикла БМК определяется сквозной согласованностью переходов между стадиями, а локальное совершенство решений внутри стадий вторично. Для практического применения принципов предложены три аналитических инструмента.

Первый инструмент представляет собой граф преемственности данных, изображённый на рисунке 1. Жизненный цикл БМК представлен в нём как ориентированный граф, узлами которого служат шесть этапов, а дугами выступают артефакты, передаваемые от этапа к этапу. На графе обозначены критические точки преемственности в виде тех дуг, разрыв или ослабление которых порождает методологические риски следующих стадий. Чтение графа позволяет в каждом конкретном проекте локализовать места, требующие повышенного внимания на стыках, и проверить, какие артефакты фиксируются на каждой стадии для обеспечения качественного перехода.

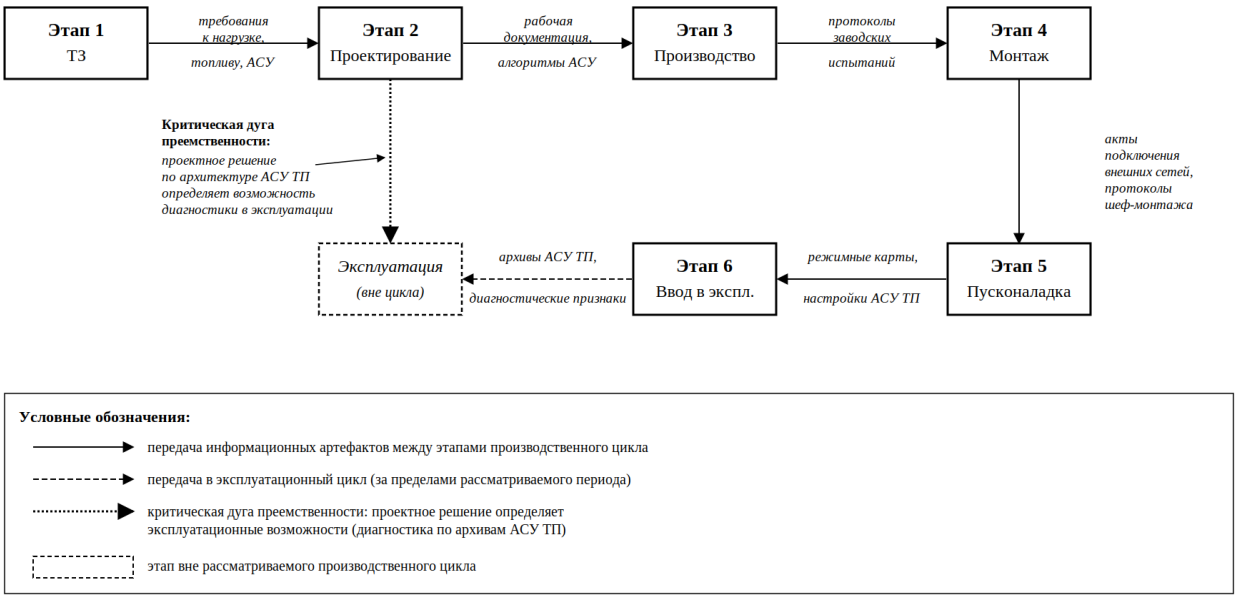


Рисунок 1. Граф преемственности данных между этапами жизненного цикла БМК/ Figure 1. Data continuity graph between the stages of the BMC lifecycle

Второй инструмент в виде матрицы реализации сквозных принципов по этапам жизненного цикла приведён в таблице 2. Строки матрицы соответствуют четырём принципам, столбцы соответствуют шести этапам, ячейки фиксируют конкретную форму реализации каждого принципа на каждом этапе. Матрица служит инструментом самоконтроля для проектного управления. Для каждого конкретного проекта она позволяет проверить полноту реализации сквозных принципов и обнаружить пропуски до того, как они проявятся как риски.

Таблица 2 – Матрица реализации сквозных методологических принципов по этапам жизненного цикла БМК/ Table 2 – Matrix of implementation of cross-cutting methodological principles by stages of the BMK lifecycle

Принцип / Этап	ТЗ	Проектирование	Производство	Монтаж	ПНР	Ввод в экспл.
Преемственность данных	Полнота и однозначность исходных требований	Сквозные параметры между разделами	Протоколы заводских испытаний как референс	Акты подключения и шефмонтажа	Передача настроек АСУ и режимных карт	Архивы АСУ ТП как основа эксплуатации
Ранняя диагности-руемость	Требования к составу архивируемых параметров	Архитектура АСУ ТП с глубиной архива	Верификация состава и точности измерений	Проверка целостности измерительных контуров	Формирование диагностических базисов	Доступ к архивам и инструментам анализа
Модульность как принцип	Совместимость с типоразмерным рядом изготовителя	Опора на базовую платформу и интерфейсы	Унифицированная технология сборки	Стандартизованные интерфейсы внешних сетей	Типовые программы испытаний	Унифицированная эксплуатационная документация
Интегрированная безопасность	Требования по защитам и блокировкам	Проектная реализация многоуровневой защиты	Контроль качества сварных швов и узлов	Соблюдение регламентов промбезопасности	Верификация срабатывания защит	Передача с актуальными настройками защит

Третий инструмент в виде классификации методологических рисков приведён в таблице 3. Для каждой категории риска из числа информационного, технического, координационного и нормативного указывается типичная стадия возникновения, стадия фактического обнаружения и стадия, на которой исправление оптимально по стоимости. Главный аналитический вывод, читаемый из таблицы, состоит в нелинейном росте стоимости устранения рисков по мере удаления от стадии их возникновения. Риск, возникший в ТЗ и обнаруженный на ПНР, обходится на порядок дороже того же риска, обнаруженного на стадии проектирования.

Таблица 3 – Классификация методологических рисков жизненного цикла БМК по стадиям обнаружения и оптимального устранения/ Table 3 – Classification of methodological risks of the BMK lifecycle by stages of detection and optimal elimination

Категория риска	Стадия возникновения	Типичная стадия обнаружения	Стадия оптимального устранения
Информационный (неполнота или неоднозначность артефактов)	ТЗ, проектирование	ПНР, эксплуатация	Стадия возникновения

Категория риска	Стадия возникновения	Типичная стадия обнаружения	Стадия оптимального устранения
Технический (дефекты решений в пределах раздела)	Проектирование, производство	Заводские испытания, ПНР	Заводские испытания
Координационный (несогласованность разделов или этапов)	Проектирование, производство	Монтаж, ПНР	Проектирование (поздний этап)
Нормативный (несоответствие требованиям безопасности или сертификации)	Любая, чаще ТЗ или проектирование	Приёмка, освидетельствование	ТЗ или ранняя стадия проектирования

Качественный характер нелинейного роста стоимости устранения методологических рисков, заявленный в таблице 3, представлен на рисунке 2. По мере удаления стадии обнаружения риска от стадии его возникновения относительные затраты на устранение растут быстрее линейного закона. Риск, возникший в техническом задании и обнаруженный в эксплуатации, требует на устранение объёма ресурсов, который превосходит проектную стоимость соответствующей части установки. Эта закономерность документирована в литературе по системной инженерии. Изначально она описана Б. Боэмом для программных проектов в форме известного правила «1-10-100» [10]. Впоследствии она подтверждена обширной эмпирической базой и включена в нормативные рамочные документы из числа INCOSE Systems Engineering Handbook [11] и международного стандарта ISO/IEC/IEEE 15288 [8]. Её визуализация в применении к жизненному циклу БМК позволяет руководителю проекта оценить экономическое значение качественной проработки ранних стадий в виде числового фактора экономики проекта.

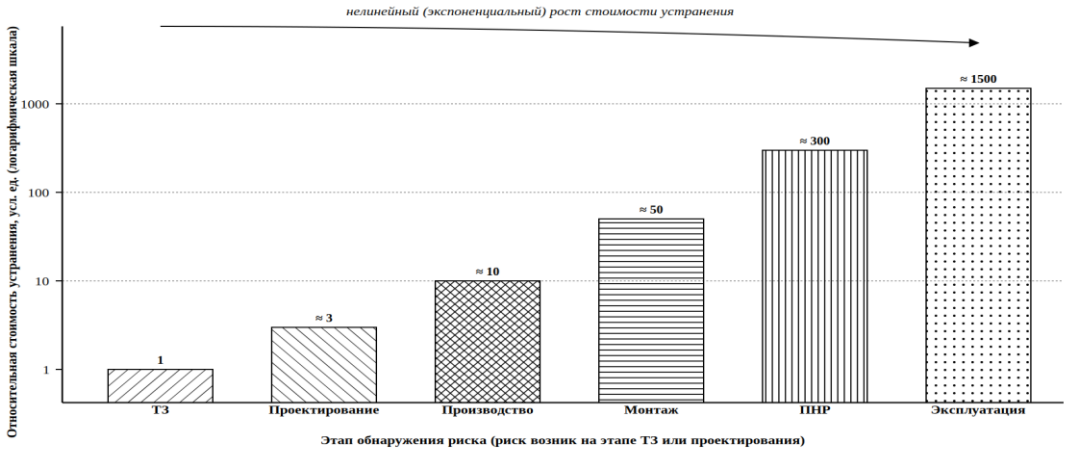


Рисунок 2. Качественная закономерность нелинейного роста стоимости устранения методологических рисков по этапам обнаружения/ Figure 2. Qualitative pattern of nonlinear growth in the cost of eliminating methodological risks by detection stages

Шкала на рисунке логарифмическая. Стоимости приведены в условных единицах относительно стоимости устранения риска на этапе его возникновения в ТЗ. Конкретные коэффициенты варьируются в широких пределах в зависимости от характера риска и условий проекта. Приведённые значения отражают качественную закономерность нелинейного роста, общепризнанную в инженерной практике жизненного цикла сложного оборудования. Различная штриховка столбцов служит для визуального разграничения этапов и количественного смысла не несёт.

Совместное применение трёх инструментов даёт практикующему инженеру и руководителю проекта рабочий аппарат самоконтроля жизненного цикла. Граф локализует артефакты переходов. Матрица проверяет полноту реализации сквозных принципов. Классификация рисков подсказывает, на какой стадии искать причины обнаружившейся проблемы и где её исправление будет экономически выгодным.

Для иллюстрации применения предложенного аппарата рассмотрим обобщённый методический сценарий, типичный для отраслевой практики и не привязанный к конкретному объекту. Заказчик формирует техническое задание на блочно-модульную котельную для промышленной площадки. Он указывает номинальную тепловую нагрузку как пиковое значение и не приводит характеристику режимной части графика. Требования к составу архивируемых параметров АСУ ТП в ТЗ не зафиксированы. Проектная организация, опираясь на пиковое значение, выбирает компоновку с одним крупным котлом. Архитектура АСУ ТП проектируется с минимально достаточным составом измерений, который обеспечивает штатное управление и защиты. На этапе производства блок собирается, проходит заводские испытания и поставляется на площадку. На пусконаладке обнаруживается, что фактический график тепловой нагрузки имеет выраженную межсезонную часть с длительной работой на нагрузках 30–40% от номинала. В этих режимах единичный крупный котёл работает с пониженной эффективностью и повышенным износом горелочного устройства. Дальнейший анализ затруднён. Архив АСУ ТП не содержит данных, необходимых для уверенной диагностики характера ухудшения.

Применение предложенных инструментов к этому сценарию даёт методологическую картину. Граф преемственности на рисунке 1 локализует разрыв на дуге «ТЗ → Проектирование». Артефакт в виде графика тепловой нагрузки был передан в неполной форме, и проектное решение оказалось основано на достоверной, но недостаточной части требований. Матрица сквозных принципов из таблицы 2 показывает, что ячейка «Преемственность данных × ТЗ» не была заполнена в части режимной характеристики нагрузки, а ячейка «Ранняя диагностируемость × ТЗ» не заполнена вовсе. Классификация рисков из таблицы 3 указывает, что речь идёт об информационном риске, который возник на этапе ТЗ и обнаружен на ПНР. Стоимость его устранения в виде пересмотра компоновки, доукомплектования АСУ ТП дополнительными измерительными контурами и повторных испытаний на два порядка превышает стоимость, которая потребовалась бы при раннем устранении на этапе ТЗ через диалоговый цикл с заказчиком и фиксацию полного графика нагрузки. Этот пример показывает характер типичных методологических разрывов и форму применения предложенного аппарата. Три инструмента работают совместно и дают последовательную локализацию проблемы, её природы и точки оптимального устранения.

Предложенные инструменты заменителем инженерного суждения не являются и формальной процедурой не выступают. Их функция состоит в том, чтобы сделать неявные методологические решения видимыми, а профессиональную интуицию опытного инженера перевести в форму, поддающуюся обсуждению, передаче и обучению. В этом смысле граф, матрица и классификация рисков отвечают на задачу, которая стоит перед современной отраслью острее, чем перед предыдущими поколениями инженеров. Это задача масштабирования зрелой практики на растущий объём проектов и на расширяющийся круг исполнителей при сохранении качества методологической организации цикла.

Открытые методологические вопросы и направления развития. Сформулированный аналитический каркас выявляет четыре открытых направления методологической проблематики жизненного цикла БМК. Первое связано с цифровыми двойниками на стадиях пусконаладки и эксплуатации. Модель, созданная на базе проектных данных и калиброванная по заводским испытаниям, может заранее проверять часть решений, снижая длительность и риски ПНР. ГОСТ Р 57700.37-2021 задаёт для этого понятийную и нормативную рамку [4].

Для БМК пока отсутствует цельная методология сопряжения цифрового двойника с установкой, разграничения модели и натурного эксперимента, передачи модели в эксплуатацию. В международных исследованиях это поле развивается через гибридные модели котлов на базе рекуррентных нейронных сетей [16] и связь цифровых двойников с предиктивным обслуживанием [17]. В русскоязычных работах значимы подходы к семантическому моделированию энергетических объектов [19].

Второе направление касается передачи данных через границы жизненных циклов. После изготовления БМК входит в длительную эксплуатацию, где возможны модернизации, реконструкции и замена оборудования, а затем вывод из эксплуатации. На каждой границе требуется передавать проектные, эксплуатационные и диагностические данные следующему участнику цикла. Практика решает эту задачу ситуативно, без устойчивой методологии межпоколенческой передачи данных.

Третье направление связано с кибербезопасностью дистанционного мониторинга и управления БМК. Она должна входить в ТЗ, архитектуру, заводскую проверку и эксплуатационное сопровождение. Серия IEC 62443 описывает безопасность промышленных АСУ ТП от политики оператора до требований к компонентам и разработке защищённых продуктов [9]. Обзоры уязвимостей SCADA-систем показывают, что позднее включение защиты даёт фрагментарный результат [18].

Четвёртое направление охватывает стандартизацию форматов проектных и эксплуатационных артефактов. Разные формы одного содержания у заказчика, проектировщика, изготовителя и эксплуатации создают лишние затраты на перевод данных. Такие форматы требуют отраслевой кооперации и международного опыта.

Все четыре направления взаимосвязаны: стандарты форматов поддерживают передачу данных, цифровой двойник соединяет проектную и эксплуатационную информацию, кибербезопасность удерживает жизнеспособность удалённых и модельных решений. Их раздельное развитие создаёт локальные фрагменты, тогда как БМК нужна согласованная отраслевая повестка.

Заключение. Жизненный цикл блочно-модульной котельной от технического задания до ввода в эксплуатацию рассмотрен в настоящей статье как единый информационный контур. Методологическое качество этого контура определяется сквозной согласованностью переходов между стадиями, а локальное совершенство решений внутри отдельных стадий имеет вторичное значение. Этот тезис конкретизирован через четыре сквозных принципа из числа преемственности данных, ранней диагностируемости, модульности как проектно-производственного принципа и интегрированной безопасности. Тезис систематизирован в виде трёх аналитических инструментов в форме графа преемственности данных, матрицы реализации принципов по этапам и классификации методологических рисков.

Сопоставление российской, европейской и североамериканской инженерных школ показало, что зрелая методология организации полного цикла БМК тяготеет к синтезу трёх акцентов на параметрах изделия, на процессе заводской готовности и на распределении ответственности участников цикла. Обозначенные направления дальнейшей систематизации из числа цифровых двойников, передачи данных через границы жизненных циклов, кибербезопасности дистанционного мониторинга и стандартизации форматов артефактов намечают повестку, в которой описанная в работе методологическая рамка получит дальнейшее развитие.

С практической точки зрения предложенный аналитический аппарат применим к решению задач нескольких типов. Он выступает инструментом аудита существующих процессов проектно-производственной деятельности предприятия-изготовителя на предмет полноты реализации сквозных принципов. Данный аппарат также служит основой для разработки внутрифирменных методических документов, которые обеспечивают преемственность инженерных решений между подразделениями. Он используется как материал для образовательных программ подготовки инженерных кадров в области

промышленной теплоэнергетики. В каждом из применений предложенная рамка дополняет существующие нормативные и методические документы измерением сквозной координации этапов как самостоятельной методологической задачи, не отменяя их.

Список источников

1. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением»: приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 536. М.: Ростехнадзор; 2020.
2. СП 89.13330.2016. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76: утв. приказом Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 944/пр. М.: Минстрой России; 2017.
3. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003: утв. приказом Минрегиона России от 30 июня 2012 г. № 280. М.: Минрегион России; 2012.
4. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения: утв. приказом Росстандарта от 16 сентября 2021 г. № 979-ст. М.: Стандартинформ; 2021.
5. EN 12952. Water-tube boilers and auxiliary installations. Brussels: CEN; 2011–2022. Parts 1–18.
6. EN 12953. Shell boilers. Brussels: CEN; 2012–2025. Parts 1–14.
7. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section I: Rules for Construction of Power Boilers. New York: ASME; 2023.
8. ISO/IEC/IEEE 15288:2023. Systems and software engineering – System life cycle processes. Geneva: ISO; 2023. Available from: https://www.iso.org/standard/81702.html [Accessed 22 May 2026].
9. IEC 62443. Security for industrial automation and control systems (series of standards). Geneva: IEC; 2009–2024.
10. Boehm B. W. Software Engineering Economics. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1981. 767 p.
11. INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. 5th ed. Walden D. D., editor. Hoboken, NJ: Wiley; 2023. 368 p.
12. Frederiksen S., Werner S. District Heating and Cooling. Lund: Studentlitteratur AB; 2013. 586 p.
13. Lund H., Østergaard P. A., Chang M., Werner S., Svendsen S., Sorknæs P., Thorsen J. E., Hvelplund F., Mortensen B. O. G., Mathiesen B. V., Bojesen C., Duic N., Zhang X., Möller B. The status of 4th generation district heating: Research and results. Energy. 2018;164:147–159. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206
14. Neumayer M., Stecher D., Grimm S., Maier A., Bücker D., Schmidt J. Fault and anomaly detection in district heating substations: A survey on methodology and data sets. Energy. 2023;276:127569. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127569
15. van Dreven J., Boeva V., Abghari S., Grahn H., Al Koussa J., Motoasca E. Intelligent Approaches to Fault Detection and Diagnosis in District Heating: Current Trends, Challenges, and Opportunities. Electronics. 2023;12(6):1448. https://doi.org/10.3390/electronics12061448
16. Zhao Y., Cai Y., Jiang H. Recurrent Neural Network-Based Hybrid Modeling Method for Digital Twin of Boiler System in Coal-Fired Power Plant. Applied Sciences. 2023;13(8):4905. https://doi.org/10.3390/app13084905
17. Abd Wahab N. H., Hasikin K., Wee Lai K., Xia K., Bei L., Huang K., Wu X. Systematic review of predictive maintenance and digital twin technologies challenges, opportunities, and best practices. PeerJ Computer Science. 2024;10:e1943. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1943
18. Alanazi M., Mahmood A., Chowdhury M. J. M. SCADA vulnerabilities and attacks: A review of the state-of-the-art and open issues. Computers & Security. 2023;125:103028. https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.103028
19. Массель Л. В., Массель А. Г. Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем. Онтология проектирования. 2023;13(1):44–54. https://doi.org/10.18287/2223-9537-2023-13-1-44-54
20. Чернухин А. В., Богданова Е. А., Савицкая Т. В. Построение модели предиктивной аналитики неисправностей промышленного оборудования. Программные продукты и системы. 2024;37(2):254–261. https://doi.org/10.15827/0236-235X.142.254-261

References

1.Ob utverzhdenii federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Pravila promyshlennoi bezopasnosti pri ispol'zovanii oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem»: prikaz Rostekhnadzora ot 15 dekabrya 2020 g. № 536. M.: Rostekhnadzor; 2020.
2.SP 89.13330.2016. Kotel'nye ustanovki. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-35-76: utv. prikazom Minstroya Rossii ot 16 dekabrya 2016 g. № 944/pr. M.: Minstroi Rossii; 2017.
3.SP 124.13330.2012. Teplovye seti. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 41-02-2003: utv. prikazom Minregiona Rossii ot 30 iyunya 2012 g. № 280. M.: Minregion Rossii; 2012.
4.GOST R 57700.37-2021. Komp'yuternye modeli i modelirovanie. Tsifrovye dvoiniki izdelii. Obshchie polozheniya: utv. prikazom Rosstandarta ot 16 sentyabrya 2021 g. № 979-st. M.: Standartinform; 2021.
5.EN 12952. Water-tube boilers and auxiliary installations. Brussels: CEN; 2011–2022. Parts 1–18.
6.EN 12953. Shell boilers. Brussels: CEN; 2012–2025. Parts 1–14.
7.ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section I: Rules for Construction of Power Boilers. New York: ASME; 2023.
8.ISO/IEC/IEEE 15288:2023. Systems and software engineering – System life cycle processes. Geneva: ISO; 2023. Available from: https://www.iso.org/standard/81702.html [Accessed 22 May 2026].
9.IEC 62443. Security for industrial automation and control systems (series of standards). Geneva: IEC; 2009–2024.
10.Boehm B. W. Software Engineering Economics. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1981. 767 p.
11.INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. 5th ed. Walden D. D., editor. Hoboken, NJ: Wiley; 2023. 368 p.
12.Frederiksen S., Werner S. District Heating and Cooling. Lund: Studentlitteratur AB; 2013. 586 p.
13.Lund H., Østergaard P. A., Chang M., Werner S., Svendsen S., Sorknæs P., Thorsen J. E., Hvelplund F., Mortensen B. O. G., Mathiesen B. V., Bojesen C., Duic N., Zhang X., Möller B. The status of 4th generation district heating: Research and results. Energy. 2018;164:147–159. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206
14.Neumayer M., Stecher D., Grimm S., Maier A., Bücker D., Schmidt J. Fault and anomaly detection in district heating substations: A survey on methodology and data sets. Energy. 2023;276:127569. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127569
15.van Dreven J., Boeva V., Abghari S., Grahn H., Al Koussa J., Motoasca E. Intelligent Approaches to Fault Detection and Diagnosis in District Heating: Current Trends, Challenges, and Opportunities. Electronics. 2023;12(6):1448. https://doi.org/10.3390/electronics12061448
16Zhao Y., Cai Y., Jiang H. Recurrent Neural Network-Based Hybrid Modeling Method for Digital Twin of Boiler System in Coal-Fired Power Plant. Applied Sciences. 2023;13(8):4905. https://doi.org/10.3390/app13084905
17.Abd Wahab N. H., Hasikin K., Wee Lai K., Xia K., Bei L., Huang K., Wu X. Systematic review of predictive maintenance and digital twin technologies challenges, opportunities, and best practices. PeerJ Computer Science. 2024;10:e1943. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1943
18.Alanazi M., Mahmood A., Chowdhury M. J. M. SCADA vulnerabilities and attacks: A review of the state-of-the-art and open issues. Computers & Security. 2023;125:103028. https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.103028
19.Massel' L. V., Massel' A. G. Semanticheskoe modelirovanie pri postroenii tsifrovykh dvoinikov ehnergeticheskikh ob"ektov i sistem. Ontologiya proektirovaniya. 2023;13(1):44–54. https://doi.org/10.18287/2223-9537-2023-13-1-44-54
20.Chernukhin A. V., Bogdanova E. A., Savitskaya T. V. Postroenie modeli prediktivnoi analitiki neispravnostei promyshlennogo oborudovaniya. Programmnye produkty i sistemy. 2024;37(2):254–261. https://doi.org/10.15827/0236-235X.142.254-261

Информация об авторах

Владимир Андреевич Андреев – Руководитель проектов ООО “Термовольт”

Вклад авторов: автор единолично занимался сбором, интерпретацией и анализом полученных данных, а также подготовкой и редактированием текста.

Information about the authors

Vladimir A. Andreev – Project Manager at Termovolt LLC

Contribution of the authors: the author was solely responsible for collecting, interpreting and analyzing the data obtained, as well as preparing and editing the text.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 61-68
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Modern Science and Innovations. 2026;(2) 61-68
TECHNICAL SCIENCES
INFORMATION, COMPUTING AND MANAGEMENT

Научная статья
УДК 004.056.5
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.5

Разработка программного средства защиты генерации данных для машинного обучения

Алексей Витальевич Вечканов [1*], Александр Сергеевич Гиш [2]

[1,2] Северо-Кавказский федеральный университет, (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Россия)
[1] lexa184z@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0004-0811-7075
[2] alexandrgish@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-5790-8675
*Автор, ответственный за переписку

Аннотация. ***Введение.*** В статье рассматривается задача разработки программного средства защиты генерации данных для машинного обучения. Актуальность темы обусловлена тем, что синтетические данные всё чаще применяются для обучения и тестирования моделей, однако процесс их генерации может сопровождаться рисками раскрытия конфиденциальной информации, запоминания исходных записей генеративной моделью и нарушения требований к управлению данными. ***Материалы и методы***. Для проведения исследования использованы теоретический анализ публикаций по синтетическим данным, дифференциальной приватности, управлению рисками искусственного интеллекта и защите данных, а также проектный подход к построению программного средства на основе модулей классификации признаков, приватизации, генерации, аудита и принятия решения о публикации. ***Результаты и обсуждение***. Описана структура программного средства SynthGuard-ML, предназначенного для безопасной генерации данных для машинного обучения. Представлены уровни контроля защиты данных, общая схема работы средства, требования к защите данных и алгоритмы обработки исходного набора, формирования защищённого представления, генерации синтетических данных и проверки результата. ***Заключение***. Полученные результаты показывают, что предложенное программное средство позволяет организовать защищённый конвейер генерации данных, при котором синтетический набор публикуется только после проверки приватности, полезности и соответствия заданной политике безопасности.
Ключевые слова: синтетические данные, машинное обучение, защита данных, дифференциальная приватность, генерация данных, информационная безопасность, аудит данных, программное средство.

Для цитирования: Вечканов А. В., Гиш А. С. Разработка программного средства защиты генерации данных для машинного обучения // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С.61-68. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.5

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию __.__.2026;
одобрена после рецензирования __.__.2026;
принята к публикации __.__.2026.

© Вечканов А. В., Гиш А. С., 202

Research article

Development of a software tool for protecting data generation for machine learning

Aleksey A. Vechkanov [1*], Alexander S. Gish [2]

[1,2] North Caucasus Federal University (1, Pushkin st., Stavropol, 355017, Russia)
[1] lexa184z@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0004-0811-7075
[2] alexandrgish@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-5790-8675
* Corresponding author

Abstract. ***Introduction.*** The article considers the development of a software tool for protecting data generation for machine learning. The relevance of the topic is determined by the increasing use of synthetic data for training and testing machine learning models, while the generation process may involve risks of confidential information disclosure, memorization of source records by generative models, and violation of data governance requirements. ***Materials and Methods***. The study employed a theoretical analysis of publications on synthetic data, differential privacy, artificial intelligence risk management, and data protection, as well as a design-oriented approach to building a software tool based on modules for feature classification, privacy transformation, generation, auditing, and release control. ***Results and Discussion***. The structure of the SynthGuard-ML software tool for secure data generation is described. The paper presents the levels of data protection control, a general scheme of the tool operation, data protection requirements, and algorithms for processing the source dataset, forming a protected representation, generating synthetic data, and verifying the result. ***Conclusion***. The obtained results demonstrate that the proposed software tool makes it possible to organize a protected data generation pipeline in which a synthetic dataset is released only after privacy, utility, and security policy compliance checks.
Keywords: synthetic data, machine learning, data protection, differential privacy, data generation, information security, data audit, software tool.

For citation: Vechkanov A. V., Gish A. S. Development of a software tool for protecting data *Modern Science and Innovations*. 2026;(2):61-68. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.5

Conflict of Interest: the authors declare no conflicts of interest.

The article was submitted __.__.2026.
approved after review __.__.2026.
accepted for publication __.__.2026.

Introduction

The development of machine learning is largely determined by the availability of high-quality data. The more complex the model, the higher the requirements for the volume, diversity, and representativeness of the training sample. However, real-world data often contains personal, medical, financial, commercial, and other sensitive information, so its free use and transfer between organizations are limited. In such circumstances, synthetic data, which is created algorithmically and mimics the statistical properties of the original datasets, is becoming increasingly important [1].

Synthetic data reduces model developers' dependence on proprietary information sources. They can be used for testing software systems, training classifiers, modeling rare events, and expanding small samples. However, the synthetic nature of the data does not in itself guarantee complete security. A generative model can remember individual records, reproduce rare combinations of features, or preserve dependencies that allow indirect reconstruction of information about the original objects [2, 3].

This problem is particularly significant when using generative models in areas with increased data protection requirements. These areas include healthcare, banking, government information systems, insurance, and industrial analytics. In these areas, it is important not only to create a useful synthetic dataset but also to prove that its publication does not lead to the disclosure of sensitive

information. Modern approaches to AI risk management also require consideration of transparency, traceability, data quality, and model lifecycle management [6, 7].

This paper examines the development of SynthGuard-ML, a software tool designed to protect the process of generating machine learning data. Unlike a conventional generator, this tool not only creates a synthetic dataset but also pre-assesses the source data, applies protective transformations, audits the result, and decides whether it can be published. This approach allows data generation to be viewed as a controlled and monitored information security process.

Basics control protection data generation / Basics of data generation protection control

Data generation security controls are a set of methods aimed at preventing the disclosure of sensitive information during the creation of synthetic datasets. Unlike conventional data preprocessing, security controls must cover the entire generation lifecycle: from loading the source dataset to unloading the synthetic result. This is because leaks can occur not only in the source file, but also at the level of the trained model, generation parameters, API requests, or the final dataset [4].

In the proposed software, the original dataset is not transmitted directly to the user. Instead, it enters a secure processing loop, where feature classification is performed and the sensitivity level of each field is determined. A security policy is then generated, defining acceptable privacy parameters, the quality of the synthetic dataset, and the publication conditions. The data is then transformed into a secure representation, which is used to train a generative model. The resulting synthetic dataset undergoes an audit, including verification of the risk of record ownership, similarity to the original objects, and usefulness for subsequent machine learning tasks [3, 5]. The general flowchart of the data generation security software is shown in Figure 1:

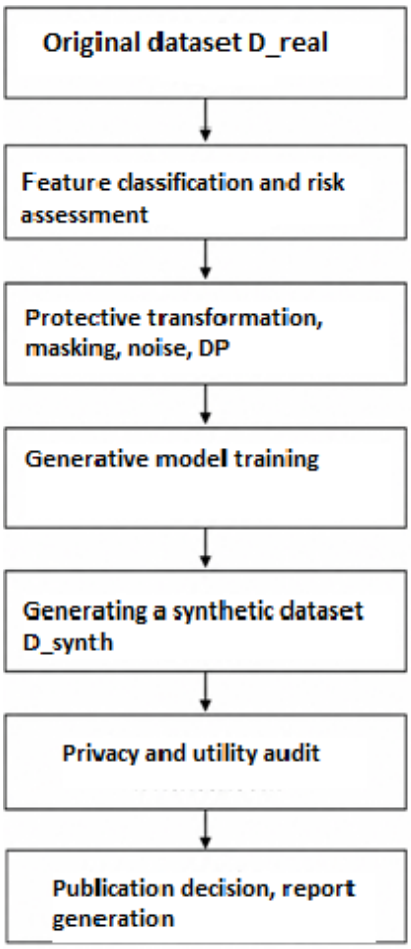


Figure 1. General diagram of the operation of the data generation protection software

SynthGuard-ML is based on a modular model. The central element is not the generative model itself, but the control pipeline, which determines which data can be used, what transformations need

to be applied, and whether the result can be delivered to the user. This approach is consistent with the modern understanding of synthetic data as a technology that requires not only generation but also subsequent risk verification [1, 2]. We consider the main levels of data protection control for generating data in Table 1:

Table 1 – Generation data protection control levels

Level of control	**Object of control**	**Potential risk**	**Method of protection**	**Check result**
Incoming inspection	Original dataset	Availability of direct identifiers	Identification and removal of sensitive fields	A list of protected characteristics has been compiled
Statistical control	Distribution of features	Saving rare combinations	Category aggregation and outlier suppression	Reduced risk of re-identification
Model control	Generative model	Remembering training notes	Regularization and differential privacy	The impact of a single entry is limited
Attacking control	Synthetic set	Attack of Belonging	Checking membership inference	The risk of disclosure of educational objects has been assessed
Utility control	Synthetic data	Loss of educational value	Comparison of statistics and ML metrics	Data suitability confirmed
Publication control	The final result	Unloading an unsafe set	Automatic policy decision	Is publication permitted or prohibited?

As the table shows, protecting data generation isn't limited to removing identifiers. In practice, it's necessary to evaluate not only the original features but also the properties of the synthetic output. If the synthetic dataset is too close to the original, it may be useful for training models but pose a privacy risk. If protection is overly strong, the data becomes more secure but may lose its practical value. Therefore, the software must maintain a balance between privacy and usefulness.

An example of how the tool works is to transform the original D_real dataset into a protected representation D_protected, and then into a synthetic D_synth dataset. A sensitivity level is determined for each feature, after which a protection policy P is generated, including an acceptable risk level, privacy parameters, and a minimum acceptable utility. The resulting dataset is approved for publication only if the privacy risk does not exceed the specified threshold, and the utility remains sufficient for solving machine learning problems.

Data protection requirements

The effectiveness of a data generation security software solution is determined by how fully it addresses the requirements for confidentiality, integrity, manageability, and auditability of the process. First and foremost, the solution must prevent direct user access to the source data. Actual data must be processed only within a secure environment, and all operations with it must be logged. This reduces the risk of unauthorized copying of source files and ensures subsequent auditability of actions.

An important requirement is the automatic detection of sensitive features. In tabular datasets, such features may include last name, first name, address, telephone number, date of birth, diagnosis, account number, geolocation, and other information that can be used to identify a specific subject. However, it's not only direct identifiers that pose a risk. Indirect features, such as age, region, profession, and rare diagnoses, when used together, can also lead to duplicate identification. Therefore, the software must consider both individual fields and their combinations [3].

The next requirement is support for protective transformations. These include masking, pseudonymization, aggregation, rare value suppression, statistical noise addition, and differential privacy. Protective methods must be configured through a security policy, as the same level of protection cannot be applied equally to medical, financial, educational, and technical data. For more sensitive datasets, stricter privacy parameters must be used.

Protecting the generative model is particularly important. If the model is trained on a closed dataset, it can become a source of leakage in its own right. In particular, when overfitting, the generator can reproduce individual records or create synthetic objects that are almost identical to real ones. Therefore, the software must include training constraints, overfitting controls, and verification of the result using attack scenarios. One such scenario is a membership attack, which tests whether it is possible to determine whether a specific record was included in the training set [5].

Equally important is the requirement for access control. System users must have distinct roles. The administrator manages policies and settings, the researcher initiates generation and obtains authorized results, and the auditor analyzes reports and logs. This separation reduces the likelihood of erroneous or unauthorized data publication. Furthermore, the tool must limit the number of API requests, as an excessive number of synthetic samples can increase the risk of statistical analysis and indirect reconstruction of the original data.

Reporting requirements are also mandatory. Each synthetic dataset must be accompanied by a report outlining the generation parameters, protection methods applied, privacy check results, utility assessment, and the final decision on publication. Such a report makes the generation process reproducible and verifiable. This is particularly important in the context of modern approaches to artificial intelligence risk management, which emphasize the need for documentation, transparency, and control throughout the lifecycle of AI systems [6, 7, 9].

Therefore, a software solution for protecting data generation must ensure not only the technical processing of the dataset but also the organization of a controlled process. Its purpose is to combine the generative model, privatization methods, auditing, logging, and access control into a single system suitable for practical use.

Algorithm of the software operation

To implement the discussed principles in practice, the paper proposes the SynthGuard-ML software tool. Its operation is based on the sequential execution of data analysis, protection, generation, and verification operations. The input is the original dataset D_real and the protection policy P. The output is the synthetic dataset D_synth or a rejection of publication if the result does not meet security requirements.

The first stage involves analyzing the source dataset. The system determines the data structure, feature types, the presence of direct and indirect identifiers, and rare combinations of values. This procedure is necessary to avoid passing information to the generator that could lead to the reconstruction of the original objects. The initial analysis procedure is presented in Algorithm 1.

Algorithm 1 Initial analysis of the original dataset

Require : Initial set D _ real

Ensure : Description of meta features , risk score

1: meta ← empty feature description

2: risk _ score ← 0

3: Get the feature list from D_real

4: **for all** feature ∈ D_real **do**

5: Determine the feature type

6: Check for direct identifiers

7: Check the participation of the feature in rare combinations

8: Save feature information in meta

9: Update the risk_score value

10: **end for**

11: Display “Primary data analysis completed”

12: **return** meta , risk_score

This algorithm generates a description of the dataset and identifies which features require mandatory protection. If the risk value is high, the system must apply more stringent transformations. Importantly, this decision is made before training the generative model, meaning potentially

dangerous features are not fed into the generator without prior processing.

After the initial analysis, a secure data representation is generated. At this stage, direct identifiers are removed or replaced, numerical features can be given controlled noise, rare categories are merged, and sensitive fields are generalized. The corresponding procedure is presented in Algorithm 2.

Algorithm 2 Formation of a secure data representation

Require : Source set D_real , feature description meta , security policy P

Ensure : Protected set D_protected

1: D_protected ← copy of D_real

2: **for all** feature ∈ meta **do**

3: If feature is a direct identifier, remove or mask feature

4: If feature is a sensitive feature, apply generalization

5: If a feature contains rare values, combine them into a larger category

6: If the policy requires adding noise, apply a noise transform

7: **end for**

8: Apply differential privacy parameters from P

9: Display “Protected data representation generated”

10: **return** D _ protected

The result of the second algorithm is a D_protected dataset, which preserves the key statistical properties of the original data but reduces the risk of disclosing sensitive information. This representation is used to train a generative model. Depending on the data type, the generator can use a tabular data model, a variational autoencoder, or a diffusion model. This article discusses the software at the general architecture level, so a specific model can be replaced without changing the protection logic.

The next step is generating a synthetic set. The system must respect security policy constraints and prevent the creation of records that are too close to the original objects. The generation procedure is presented in Algorithm 3.

Algorithm 3 Generating a synthetic dataset

Require : Protected set D _ protected , protection policy P , required volume n

Ensure : Synthetic set D _ synth

1: Initialize the generative model G

2: Train G on the set D _ protected

3: D_synth ← empty dataset

4: **while** size D_synth < n **do**

5: Generate a new x_synth entry

6 : Check for absence of direct identifiers in x_synth

7: Check the distance x_synth to the nearest D_protected records

8: If the entry passes the test , add x_synth to D_synth

9: **end while**

10: Print “Synthetic dataset generated”

11: **return** D _ synth

After generation, synthetic data should not be immediately transmitted to the user. An audit is required to determine the security and usefulness of the resulting dataset. Privacy testing may include assessing the similarity of synthetic and real records, a membership attack, checking for rare combinations, and analyzing the possibility of linking to external sources. Utility testing can be performed by comparing statistical distributions and training a test model on the synthetic dataset [2, 5]. The corresponding procedure is presented in Algorithm 4.

Algorithm 4 Audit of a synthetic set and decision making

Require : Source set D_real , synthetic set D_synth , protection policy P
Ensure : Decision decision, report report
1: report ← empty report
2: privacy_risk ← rate risk privacy D_synth
3: utility _ score ← evaluate the utility of D _ synth
4: mia _ score ← perform an affiliation attack check
5: Save privacy_risk, utility_score, and mia_score to report
6: If privacy_risk ≤ P.risk_max and utility_score ≥ P.utility_min, then
7: decision ← "Publication permitted"
8: Otherwise
9: Decision ← "Publication prohibited"
10: **end if**
11: Save report to external file
12: Display "Synthetic data audit completed"
13: **return** decision , report

The presented algorithm completes the software's workflow. If the synthetic dataset meets the policy requirements, it can be transmitted to the user via the API or stored in secure storage. If at least one of the criteria is not met, publication is blocked. In this case, the user receives a report indicating the reason for the rejection, such as excessive privacy risk, insufficient usefulness, or the detection of records too close to the original data.

The practical value of the proposed approach lies in its ability to make the data generation process manageable. The user receives not just a synthetic dataset, but a result verified according to specified criteria. The administrator can modify the security policy, the auditor can control reports, and the researcher can use approved datasets to train machine learning models.

However, the proposed software tool has limitations. The quality of the synthetic data depends on the quality of the source dataset and the chosen generative model. If the source data contains biases, the synthetic dataset may also reproduce them. Furthermore, overly strict privacy parameters can reduce the usefulness of the data for training models. Therefore, when using SynthGuard-ML in practice, it is necessary to configure a security policy based on the subject area, data sensitivity, and acceptable risk level.

Conclusion

This paper examines the development of a software tool for protecting data generation for machine learning. It demonstrates that synthetic data can be used as a tool for reducing dependence on closed source datasets; however, its use requires mandatory controls for privacy, usefulness, and compliance with information security requirements. A generative model can not only create new records but also preserve unwanted dependencies, rare combinations, and fragments of the original data, so the generation process must be considered a protected entity.

The proposed software tool, SynthGuard-ML, is a modular pipeline that includes analysis of the source dataset, formation of a secure representation, training of a generative model, creation of synthetic data, auditing of the result, and making a publication decision. The paper describes the security control levels, requirements for the tool, and its operating algorithms. Particular attention is paid to the fact that publication of the synthetic dataset should only be performed after assessing the privacy risk and confirming its sufficient usefulness for machine learning tasks.

The practical significance of the proposed solution lies in its applicability to organizations that work with sensitive data but require training sets for model development and testing. SynthGuard-ML improves the manageability of data generation, ensures traceability of actions, and reduces the risk of confidential information disclosure. Further development of this solution may include support for federated learning, trusted execution environments, automatic bias estimation, and integration with corporate access management systems.

Список источников

1. Jordon J., Szpruch L., Houssiau F., Bottarelli M., Cherubin G., Maple C., Cohen S. N., Weller A. Synthetic Data – what, why and how? // arXiv preprint. 2022. arXiv:2205.03257.
2. Houssiau F., Cohen S. N., Szpruch L., Daniel O., Lawrence M. G., Mitra R., Wilde H., Mole C. A Framework for Auditable Synthetic Data Generation // arXiv preprint. 2022. arXiv:2211.11540.
3. Giomi M., Boenisch F., Wehmeyer C., Tasnádi B. A Unified Framework for Quantifying Privacy Risk in Synthetic Data // arXiv preprint. 2022. arXiv:2211.10459.
4. Hassan C., Salomone R., Mengersen K. Deep Generative Models, Synthetic Tabular Data, and Differential Privacy: An Overview and Synthesis // arXiv preprint. 2023. arXiv:2307.15424.
5. van Breugel B., Sun H., Qian Z., van der Schaar M. Membership Inference Attacks against Synthetic Data through Overfitting Detection // arXiv preprint. 2023. arXiv:2302.12580.
6. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). 2023.
7. ISO/IEC 42001:2023. Information technology – Artificial intelligence – Management system. 2023.
8. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence. Artificial Intelligence Act. 2024.
9. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile. NIST AI 600-1. 2024.
10. OWASP Foundation. OWASP Top 10 for Large Language Model Applications. Version 2025. 2025.

References

1. Jordon J., Szpruch L., Houssiau F., Bottarelli M., Cherubin G., Maple C., Cohen S. N., Weller A. Synthetic Data – what, why and how? // arXiv preprint. 2022. arXiv:2205.03257.
2. Houssiau F., Cohen S. N., Szpruch L., Daniel O., Lawrence M. G., Mitra R., Wilde H., Mole C. A Framework for Auditable Synthetic Data Generation // arXiv preprint. 2022. arXiv:2211.11540.
3. Giomi M., Boenisch F., Wehmeyer C., Tasnádi B. A Unified Framework for Quantifying Privacy Risk in Synthetic Data // arXiv preprint. 2022. arXiv:2211.10459.
4. Hassan C., Salomone R., Mengersen K. Deep Generative Models, Synthetic Tabular Data, and Differential Privacy: An Overview and Synthesis // arXiv preprint. 2023. arXiv:2307.15424.
5. van Breugel B., Sun H., Qian Z., van der Schaar M. Membership Inference Attacks against Synthetic Data through Overfitting Detection // arXiv preprint. 2023. arXiv:2302.12580.
6. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). 2023.
7. ISO/IEC 42001:2023. Information technology – Artificial intelligence – Management system. 2023.
8. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence. Artificial Intelligence Act. 2024.
9. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile. NIST AI 600-1. 2024.
10. OWASP Foundation. OWASP Top 10 for Large Language Model Applications. Version 2025. 2025.

Информация об авторах

Вечканов Алексей Витальевич – студент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Researcher ID:
Александр Сергеевич Гиш – студент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Researcher ID:

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Vechkanov Aleksey Vitalievich – student, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Researcher ID:
Alexander Sergeevich Gish – student, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Researcher ID:

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 69-87
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Modern Science and Innovations. 2026 ;(2):69-87
TECHNICAL SCIENCE
FOOD TECHNOLOGY PRODUCTS

Научная статья
УДК 664.834
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.6

Современные тенденции использования продуктов глубокого фракционирования молочного сырья в технологии функционального питания

Софья Игоревна Фурсова [1,2], Алексей Дмитриевич Лодыгин [1,3,*], Иван Алексеевич Евдокимов [1,4]

[1]Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия
[2] fursonya@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0006-6104-9555
[3]allodygin@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-8460-2954
[4]ievdokimov@ncfu.ru; https://orcid.org/0000-0002-5396-1548

*Автор, ответственный за переписку: **Алексей Дмитриевич Лодыгин,** allodygin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы использования вторичного сырья, в частности ретентатов, пермеатов, молочной сыворотки и сухого молока, для создания функциональных продуктов, в том числе безлактозных; представлен состав концентратов, динамика производства и потенциал применения в различных областях. Установлено, что ретентат является богатым источником компонентов, включая фосфолипиды, сывороточные белки и другие компоненты, обладающие высокой биологической активностью, в связи с чем являются перспективным сырьём для создания функциональных продуктов. Актуальность темы обусловлена ростом спроса на полезную пищу и продукты с улучшенными свойствами.
Ключевые слова: вторичное молочное сырьё, функциональные продукты, ретентат, сывороточные концентраты, сухое молоко

Для цитирования: Фурсова С.И., Лодыгин А.Д., Евдокимов И.А. Современные тнденции использования продуктов глубокого фракционирования молочного сырья в технологии функционального питания // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 69–87. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.6

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

Modern trends in the use of products of deep fractionation of dairy raw materials in functional nutrition technology

Sofia Igorevna Fursova[1,2], Aleksei Dmitrievich Lodygin[1,3], Ivan Alekseevich Evdokimov[1,4]

© Фурсова С.И., Лодыгин А.Д., Евдокимов И.А., 2026

[1]North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

[2]fursonya@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0006-6104-9555
[3]allodygin@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-8460-2954
[4]ievdokimov@ncfu.ru; https://orcid.org/0000-0002-5396-1548

*Corresponding author: **Aleksei Dmitrievich Lodygin,** allodygin@yandex.ru

Abstract. This article examines the potential for using secondary raw materials, specifically retentates, permeates, whey, and milk powder, to create functional products, including lactose-free ones. It presents the composition of the concentrates, production trends, and potential applications in various fields. It has been established that retentate is a rich source of components, including phospholipids, whey proteins, and other components with important biological activity, making it a promising raw material for creating functional products. The relevance of this topic is driven by the growing demand for healthy foods and products with improved properties.
Keywords: recycled dairy raw materials, functional products, retentate, whey concentrates, powdered milk

For citation: Fursova S. Ig., Lodygin A. D., Evdokimov I. A. Modern methods of drying vegetable raw materials: an analytical review. *Modern Science and Innovations*. 2026;(2): 69-87. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.6

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Введение. Современные направления развития пищевой индустрии и растущее стремление людей к поддержанию здоровья способствовали увеличению спроса на полезные продукты питания. Это, в свою очередь, стимулировало создание новых видов продукции с функциональными добавками, такими как продукты с повышенным содержанием белка, пробиотических и пребиотических микроорганизмов, а также продукты с пониженным содержанием лактозы [32]. Одной из задач стратегии развития рынка натуральных функциональных продуктов питания является создание нового поколения полезных продуктов, предназначенных для восполнения недостатка в питании населения Российской Федерации необходимыми нутриентами [45].

Интерес потребителей обусловлен преимуществами такого питания, которое способствует улучшению общего состояния организма и обеспечивает необходимые для здоровья компоненты. Диеты, включающие ферментированные молочные продукты с пробиотиками и пребиотиками, способствуют формированию здоровой кишечной микрофлоры, укрепляет защитные силы организма, повышает его устойчивость к стрессовым факторам и снижает риск развития некоторых кишечных заболеваний [3].

В то же время, с каждым годом увеличивается популярность безлактозных молочных продуктов, что связано с ростом числа людей, сталкивающихся с проблемами пищеварения из-за непереносимости лактозы. Сывороточные белки известны высокой питательной ценностью и широко используются в различных диетических и спортивных рационах. Продукты с сывороточным белком хорошо известны в качестве заменителя яичных белков в кондитерских и хлебобулочных изделиях, в спортивном питании (коктейли, батончики), в диетическом питании. Также сывороточные белки используются в качестве функциональных ингредиентов и заменителей молока в молочных, кисломолочных продуктах, таких как мороженое, сыры, напитки, йогурты, соусы. Подобное часто происходит из-за активной конкуренции на рынке, где также доступны продукты с функциональными растительными белками [1].

1. Перспективное сырьё для производства функциональных продуктов

Молоко является важным источником макроэлементов, таких как: калий, кальций, витамины, а также жир, белки, лактоза и других важных микроэлементов, включая минералы. Некоторые из этих компонентов являются молочными белковыми ингредиентами – мицеллярный казеин и молочный сывороточный белок, выделенные из обезжиренного молока с использованием методов микрофильтрации. Эти ингредиенты привлекают значительное внимание производителей продуктов питания и напитков из-за уникального аминокислотного профиля белков и их функциональных возможностей [21].

1.1 Сухое молоко

Наиболее распространёнными разновидностями сухого молока считаются цельное и обезжиренное. Цельное сухое молоко — это продукт, полученный путём выпаривания и последующей сушки пастеризованного молока, что позволяет сохранить его основные свойства и обеспечить длительный срок хранения.

Сухое молоко представляет собой не что иное, как выпаренное и высушенное пастеризованное цельное коровье молоко. Согласно современным нормативным требованиям, массовая доля жира в цельном сухом молоке может варьироваться в более широком диапазоне: для продуктов высшего качества этот показатель составляет не менее 26%, а в зависимости от категории продукта может достигать 42% [2]. На рынке также присутствуют молокосодержащие продукты с добавлением растительных жиров, чаще всего пальмового или кокосового масла. Такая замена не только снижает себестоимость, но и позволяет сбалансировать жирнокислотный состав, снижая содержание насыщенных жиров и обогащая продукт полиненасыщенными жирными кислотами, что соответствует современным рекомендациям по здоровому питанию [5].

Самым популярным продуктом в этой группе является сухое обезжиренное молоко. Оно производится путем выпаривания и сушки пастеризованного обезжиренного молока. Согласно ГОСТ 33629-2015, массовая доля жира в таком продукте составляет не более 1,5%, а содержание белка — не менее 34%. Традиционный процесс производства сухого молока начинается с сырого молока, полученного на молочном заводе, дальше оно пастеризуется, разделяется на обезжиренное молоко и сливки с помощью центробежного сепаратора. При производстве цельного молока часть сливок добавляют обратно в обезжиренное молоко для получения молока со стандартным содержанием жира (обычно 26-30% жира в порошке). Излишки сливок используются для приготовления сливочного масла или безводного молочного жира [10].

Следующим этапом процесса является «предварительный нагрев», во время которого нормализованное молоко нагревается до температуры от 75 до 120 °C. Молоко выдерживается в таком состоянии в течение определенного времени – от нескольких секунд до нескольких минут (пастеризация при 72°C в течение 15 секунд). Предварительный нагрев приводит к контролируемой денатурации сывороточных белков в молоке, уничтожает бактерии и инактивирует ферменты. Точный режим выдержки зависит от типа продукта и его предполагаемого конечного использования [44]. Высокий уровень предварительного нагрева увеличивает срок хранения продукта, но снижает растворимость [7].

В современной промышленности для продуктов детского питания строго контролируется концентрация неденатурированного сывороточного белка, которая должна быть не ниже 4,5 мг/г продукта, что гарантирует безопасность и высокое качество конечного сырья [2]. Предварительный нагрев может быть непрямым (с помощью теплообменников) или прямым (путем подачи пара), а также их сочетанием. Нагреватели косвенного нагрева обычно используют отходящее тепло от других частей технологического процесса, чтобы снизить затраты на электроэнергию.

Следующая стадия — выпаривание, в результате которого увеличивается общее содержание сухих веществ (с 9% в обезжиренном молоке до 45–52% в концентрате) [4]. Выпаривание молока осуществляется в вакууме, чтобы свести к минимуму негативное воздействие тепла на термочувствительные компоненты молока, такие как жиры, а также избежать термического разложения важнейших питательных веществ, например, витаминов.

В молочной промышленности используются различные типы выпарных аппаратов, такие как выпарные аппараты с падающей пленкой, пластинчатые и горизонтально-трубчатые выпарные аппараты. Выпарные аппараты с падающей пленкой наиболее широко используются для производства сухого молока и применяются как с термической, так и с механической рекомпрессией пара [44]. Научно обосновано, что использование многостадийной дегидратации (сочетание вакуум-выпаривания и распылительной сушки) позволяет снизить удельное энергопотребление в 4–7 раз по сравнению с одностадийной сушкой [8]. Этот пар, который может быть подвергнут механическому или термическому сжатию, затем используется для подогрева молока в следующем режиме испарителя, который может работать при более низком давлении и температуре, чем предыдущий. Современные установки могут иметь до семи режимов для достижения максимальной энергоэффективности [36].

Более 85% воды, содержащейся в молоке, может быть удалено в процессе работы вакуумно-выпарной установки. Эффективность вакуум-выпарки настолько высока, что удельные затраты энергии на удаление влаги на этом этапе (2500–2900 кДж/кг) значительно ниже, чем во время сушки [8].

Распылительная сушка представляет собой получение сухого молочного концентрата путём распыления в камере с горячим воздухом. Процесс происходит в большой сушильной камере в потоке горячего воздуха (до 200°C) с помощью вращающегося дискового распылителя или ряда форсунок высокого давления. Капли молока охлаждаются за счет испарения и никогда не достигают температуры воздуха, что позволяет сохранить ценные свойства продукта. Для повышения растворимости и улучшения технологических свойств современные линии оснащаются системами агломерации — слипания мелких частиц в более крупные пористые агрегаты непосредственно в процессе сушки [7].

Большая часть оставшейся воды испаряется в сушильной камере, в результате чего получается мелкий порошок. Окончательная или «вторичная» сушка происходит в псевдоожиженном слое (кипящем слое) или в серии таких слоев, в которых горячий воздух продувается через слой псевдоожиженного порошка. Этап досушивания в псевдоожиженном слое позволяет снизить влажность до стабильных 2-4% и придать частицам растворимость, соответствующую высшему сорту (индекс растворимости не более 0,1 см³ сырого осадка для цельного молока) [2, 14]. В зависимости от класса оборудования, процесс может включать встроенный в башню псевдоожиженный слой, внешний вибропсевдоожиженный слой для досушивания и зону охлаждения, что обеспечивает минимальное тепловое воздействие на продукт [3].

Для производства продуктов специального назначения (например, для длительного хранения или космического питания) всё чаще применяется альтернативный метод — сублимационная сушка. Этот метод позволяет избежать высокотемпературного воздействия, характерного для распылительной сушки, и обеспечивает максимальную сохранность биологически активных компонентов и высокую стойкость к окислению при хранении [5, 9]. Сухое молоко легко впитывает влагу из воздуха, что приводит к быстрой потере качества и слеживанию или комкованию, для сохранения его качества и срока годности необходима защита от влаги, кислорода, света и тепла. Жир сухого молока может вступать в реакцию с кислородом воздуха, придавая ему неприятный привкус, особенно при более высоких температурах хранения (> 30 °C).

Сухое молоко упаковывается либо в многослойные пакеты с пластиковой подкладкой (25 кг), либо в контейнеры для сыпучих продуктов (600 кг) [29].

К наиболее известным мировым производителям молочных продуктов, включая сухое молоко, являются швейцарская компания Nestlé, французская Danone, Lactalis, голландская Friesland Campina и новозеландская Fonterra. Польша входит в число ведущих производителей сухого обезжиренного молока в Евросоюзе. В производстве этого продукта участвуют компании: Mlekovita, Mlekpol, Polmlek Group и Zott Polska. Одним из ведущих дистрибьюторов в Польше является компания Foodcom S.A., в каталог продукции которой

входят: сухое и обезжиренное молоко, а также другие высококачественные молочные продукты [2].

1.2 Сывороточные белки

Молочная сыворотка содержит более 50% от общего количества питательных веществ в молоке. Сыворотка имеет высокую органическую нагрузку, и она может стать загрязнителем окружающей среды, если она будет удалена непосредственно в качестве сточных вод [11]. Чтобы уменьшить экологические опасности, связанные с утилизацией сыворотки, а также повысить экономическую ценность молочных продуктов, молочная промышленность превратила сыворотку в ряд ингредиентов с добавленной стоимостью, которые используются в пищевой и других отраслях промышленности для их питательных и функциональных атрибутов [10]. Для этого в технологии кисломолочных продуктов широко используются жидкие и сухие концентраты сывороточных белков [46].

С этой целью пищевая и химическая промышленность перерабатывают почти 50% остаточной сыворотки для производства продуктов с добавленной стоимостью. Например, сухой сывороточный порошок обычно производится из сывороточных потоков, которые затем могут быть использованы в качестве пищевого ингредиента, например, в качестве усилителя вкуса, модификатора текстуры или усилителя питательных веществ [26].

Тем не менее, сывороточный порошок не является единственным продуктом с добавленной стоимостью потока сыворотки. В последние годы молочная промышленность применяла различные технологии для переработки сыворотки и производства большого количества продуктов, таких как подслащенная сгущенная сыворотка, концентрат сывороточного белка, изолят сывороточного белка, сывороточная лактоза, ферментированные или неферментированные напитки на основе сыворотки и биоэтанол [10].

Напитки на основе сыворотки привлекли большое внимание благодаря их подлинному и освежающему вкусу, включают в себя простые, газированные, алкогольные, фруктовые и ферментированные напитки [37]. Кроме того, сывороточный пермеат имеет также некоторые потенциальные применения в различных областях. Из-за высокого содержания лактозы в сывороточном пермеате, он, как правило, дополнительно обрабатывается для получения лактозы в очищенной форме.

Одними из последних применений пермеата является использование в качестве материала для микрокапсуляции пробиотических микроорганизмов [19], использование в качестве источника для производства спортивных напитков на основе сыворотки и добавление в производство жидких удобрений [42]. Кроме того, также сообщалось об использовании сыворотки в качестве сырья для производства биомассы микроводорослей и производства этанола дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* [10].

1.3 Сывороточные фильтраты и концентраты

Мембранная технология играет жизненно важную роль в обработке молочных продуктов, в основном в фракционировании и разделении молочного белка для получения концентратов. При производстве молочного белкового концентрата с 80% белка обезжиренное молоко (МБК 80) подвергается ультрафильтрации и диафильтрации. Образуется жидкий концентрат, который частично делактозирован и имеет в составе много белка. Такой концентрат используют для получения порошка МБК 80. Во время ультрафильтрации вода, лактоза и некоторые растворимые соли проходят через мембрану и собираются в пермеат. Составы с высоким молекулярным весом, такие как казеины, сывороточные белки и некоторые минералы, сосредоточены в потоке удержания. Диафильтрация — это процесс добавления воды в продукт во время ультрафильтрации с последующим удалением лактозы и растворимых солей для увеличения относительной концентрации белка [39].

Сухие вещества молока содержат 80% лактозы, 3% белка, 8,5% золы и некоторое количество жира. В виде порошка микропартикулят может использоваться для замены молочных твердых веществ в пищевых составах, в то время как в жидкой форме он в основном используется для стандартизации содержания белка, как правило, в концентрированном формате при 20-25% общих твердых веществ.

Жидкий концентрат имеет сложный химический состав и содержит значительное количество кальция (Ca) и неорганического фосфата (iPi) [34]. Ретентат микрофильтрации исследуется на предмет его универсальности в пищевой промышленности, выступая в качестве улучшителя выпечки, шоколадной добавки, усилителя для смачивания для мгновенных продуктов и стабилизатора маргарина. Исследования показали его потенциал в качестве замены традиционных молочных продуктов, эмульгаторов и яиц в таких продуктах, как мороженое, суп и кондитерские изделия. Например, ранее было обнаружено, что мороженое, изготовленное из концентрата, обладает сопоставимыми сенсорными характеристиками и лучшими физическими свойствами, чем те, которые сделаны из обезжиренного сушеного молока. Аналогичным образом, концентраты продемонстрировали эффективность как естественного эмульгатора в мороженом, карамели и торте, подчеркивая его функциональную универсальность.

Потенциал пермеатов и ретентатов в разработке продукта является значительным, особенно в функциональных продуктах питания и пищевых добавках. Ретентаты могут быть полезны потребителям, заботящимся о своем здоровье, осознавшим преимущества здорового питания. Высокое содержание белка и биоактивные компоненты делают концентраты отличным ингредиентом для создания пищевых добавок, ориентированных на различные демографические группы, такие как спортсмены, пожилые люди и люди с особыми диетическими потребностями. В молочной промышленности концентраты дают перспективы для инноваций в производстве сыра, йогуртовых продуктов и детских смесей [33].

1.4 Пробиотики

Кисломолочные продукты – это продукты, широко потребляемые во всем мире, показавшие в последнее годы значительное увеличение потребительского спроса благодаря питательным и оздоровительным преимуществам, а также положительному влиянию на бактериальную микробиоту кишечника. Процесс ферментации увеличивает биодоступность питательных веществ продукта, улучшает действие специфических штаммов молочнокислых бактерий, что может привести к удалению токсичных или антипитательных факторов из сквашенного молока для предотвращения непереносимости лактозы и накопления галактозы [2].

В дополнение к производству молочной кислоты, производство других соединений зависит от бактериальных штаммов, условий процесса ферментации и среды ферментации. Наиболее распространенными штаммами молочнокислых микроорганизмов, используемыми для ферментации молока, являются: *Streptococcus thermophilus*, обычно в сочетании с *Bifidobacteria*, такими как *Bifidobacterium breve C50, Bifidobacterium lactis, Bifidobacterium longum* и *Bifidobacterium animalis*, или с *Lactobacillus*, такими как *Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei.* Лактобактерии обладают специфичностью и производят определенные продукты в ходе ферментации.

Среди других преимуществ для здоровья, пробиотики повышают иммунитет, уменьшают воспаление, облегчают желудочно-кишечные боли и предотвращают диарею. Они работают с различными механизмами, производят антимикробные вещества, такие как органические кислоты или бактериоцины, контролируют иммунный ответ, выделяя иммунный глобулин против потенциальных патогенов, снижают риск развития аллергии, усиливают функцию слизистого барьера кишечника, повышают стабильность или способствуют восстановлению комменсальной микрофлоры при ее нарушении, модулируют экспрессию генов хозяина и высвобождают функциональные белки.

Чаще всего молочные продукты, продаваемые в магазинах, сквашены молочнокислыми бактериями, широко использующимися в качестве пробиотиков. Самыми употребляемыми в пищу продуктами этой категории являются йогурты, кефир и кисломолочные напитки [15]. При потреблении в достаточном количестве пробиотиков, содержащиеся там живые бактерии предлагают преимущества, такие как способность улучшить общее здоровье организма.

Каждый из нескольких родов, видов и штаммов, в которые используются в пищевой промышленности, обладает уникальными качествами и преимуществами для здоровья.

Природных источников этих бактерий предостаточно: ферментированные продукты, напитки и коммерчески продаваемые пробиотические добавки. Пробиотическая таксономия, их естественные источники и несколько форм пробиотических добавок тщательно обсуждаются, в частности, их род, виды и штаммы, создавая классификацию пробиотики. Наиболее часто встречающиеся формы пробиотиков, их классификации и связанные с ними преимущества для здоровья описаны в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация пробиотиков/ Table 1 – Classification of Probiotics

Род	Виды	Штамм
Lactobacillus	*L. acidophilus*	LA-5
Lactobacillus	*L. rhamnosus*	GG
Bifidobacterium	*B. bifidum*	BB-12
Bifidobacterium	*B. longum*	BL-05
Saccharomyces	*S. boulardii*	CNCM I-745

Пробиотики изобилуют многими ферментируемыми продуктами и напитками. Эти продукты обеспечивают полезные бактерии и другие питательные вещества, улучшающие общее состояние здоровья. В таблице 2 перечислены природные источники пробиотиков вместе с их микробным составом и связанными с ним преимуществами для здоровья [20].

Таблица 2 – Естественные источники пробиотиков/ Table 2 – Natural Sources of Probiotics

Продукт	Микробное содержание	Польза для здоровья
Yoghurt	*L. acidophilus, B. bifidum*	Улучшает работу кишечника, улучшает усвоение кальция
Kefir	*L. kefiri, S. cerevisiae*	Поддерживает иммунную систему, снижает уровень холестерина
Kimchi	*L. plantarum, L. brevis*	Способствует здоровью кишечника, содержит антиоксиданты
Kombucha	*S. cerevisiae, L.* spp.	Выводит токсины из организма, улучшает микрофлору кишечника

1.5 Пребиотики

Микробиота кишечника состоит из разнообразного сообщества микроорганизмов, обнаруженных в организме человека, и имеет жизненно важное значение для функционирования иммунной системы, пищеварения, метаболизма и общего состояния здоровья. Пребиотики являются диетическим компонентом, который привлекает большое внимание из-за своего потенциала в качестве стимуляции роста полезных бактерий и улучшению общего состояния здоровья кишечника [13].

Пребиотики описываются как отдельный компонент ферментации, который изменяет активность или состав микробиоты кишечника в пользу организма-хозяина. Пребиотики должны быть в состоянии противостоять желудочным кислотам, расщепляясь при этом пищеварительными ферментами, усваиваться верхними желудочно-кишечными трактами, ферментироваться кишечной микробиотой, и поощрять рост или активацию полезных видов кишечной микробиоты.

Пребиотики оказывают влияние на те типы бактерий, которые уже присутствуют в толстой кишке и в первую очередь нацелены на виды лактобацилл и бифидобактерий. Их действие выражается в увеличении производства короткоцепочечных жирных кислот и снижение pH среды. Потребление пищевых волокон имеет решающее значение для сохранения функциональности слизистого барьера в кишечнике.

Слово «пребиотик» относится к широкому спектру веществ, каждое из которых имеет различные структуры и способы действия. Пребиотики бывают разных форм, от резистентных крахмалов до олигосахаридов, и недавно исследования смогли их идентифицировать и охарактеризовать. Каждый вид пребиотика обладает уникальными качествами и преимуществами для здоровья [36]. Эти пребиотические вещества способны противостоять

пищеварению в верхнем желудочно-кишечном тракте и добираться до толстой кишки, где действуют как субстраты для ферментации полезными кишечными бактериями, например, инулин, олигофруктоза, галактофруктоза, галакто-олигосахариды и ксило-олигосахариды, не являющиеся усваиваемыми углеводами, как показано на рисунке 1 [28].

Рисунок 1 – Типы пребиотиков/ Figure 1 – Types of Prebiotics

2. Молочный ретентат как основа функциональных продуктов

Традиционно сыворотка определялась как побочный продукт сыроварения и исторически рассматривалась производителями сыра как отходы, имеющие небольшую или нулевую коммерческую ценность. Ее накопление представляло собой серьезную экологическую проблему из-за высокого содержания органических веществ и высокой биохимической потребности в кислороде.

Следовательно, сектору переработки молочной продукции не разрешалось утилизировать сыворотку традиционными способами, что требовало дополнительных этапов обработки для снижения уровня загрязнения, что, в свою очередь, увеличивало производственные затраты.

Однако достижения в научных исследованиях и технологиях, в сочетании с экологическими соображениями и растущим спросом на натуральные, экологически чистые продукты, побудили исследователей и молочный сектор пересмотреть оценку сыворотки как ценного ресурса. Сегодня сыворотка все чаще рассматривается как источник ценных ингредиентов с многофункциональными преимуществами [33].

В классическом процессе производства концентрата молочного белка (КМБ) обезжиренное молоко подвергается ультрафильтрации с использованием спирально-навитой мембраны для получения КМБ80 с содержанием сухих веществ около 20% и белка 80% в пересчете на сухое вещество. Однако повышение эффективности производства за счет увеличения содержания сухих веществ в ретентате.

Некоторые предприятия молочной и пищевой промышленности используют ультрафильтрацию (УФ) в системах мембранной фильтрации (МФ) для обработки высоковязких продуктов. Однако эта система нашла ограниченное применение в концентрировании молочного белка (КМБ). При увеличении содержания твердых веществ вязкость КМБ 80 также возрастает, что является серьезным препятствием в процессе мембранной фильтрации [23].

Микрофильтрационный ретентат перспективен для улучшения питания младенцев путем дополнения детских смесей. Исследования показали, что у младенцев, получающих

детские смеси в качестве еды, наблюдается снижение нейро- и когнитивного развития, а также повышенный риск атопических заболеваний, респираторных инфекций, некротизирующего энтероколита и желудочно-кишечных осложнений по сравнению с младенцами, находящимися на грудном вскармливании. Это различие в значительной степени объясняется недостаточным содержанием в детских смесях важных питательных веществ, таких как фосфолипиды и белки.

Также замечен потенциал концентратов в питании пожилых людей, поскольку исследования показывают, что мембрана жировых шариков молока может поддерживать когнитивное здоровье и физическую работоспособность, особенно в сочетании с регулярными физическими упражнениями. Пожилые люди часто стремятся оставаться активными, поддерживать уровень энергии и сохранять умственную активность.

Мембраны жировых шариков молока благотворно влияют на здоровье кишечника, улучшают состояние кожи и помогают контролировать такие состояния, как гиперхолестеринемия, ожирение и воспаление. В недавнем исследовании на мышах сочетание добавок микрофильтратов и регулярных физических упражнений эффективно предотвратило возрастное снижение мышечной массы и силы [27]. Более того, люди с хроническими воспалительными заболеваниями желудочно-кишечного тракта могут получить пользу от данных пищевых продуктов, так как они снижают аутоиммунные реакции, тем самым облегчая локальное воспаление.

Перспективным направлением использования компонентов микрофильтрационного ретентата является разработка функциональных продуктов питания, предназначенных для обеспечения целенаправленной пользы для здоровья, такой как улучшение работы кишечника, повышение иммунных и когнитивных функций. Продукты питания с функциональными свойствами могут устранять конкретные дефициты питательных веществ и проблемы со здоровьем, используя биоактивные компоненты микрофильтрационного ретентата для достижения максимальной пользы.

Кроме того, значительный потенциал представляет выделение специфических биоактивных соединений из микрофильтрационного ретентата для использования в нутрицевтических продуктах. Нутрицевтики, сочетающие в себе свойства питания и фармацевтики, могут способствовать общему здоровью и благополучию. Соединения, полученные из микрофильтрационного ретентата, показали потенциал в снижении воспаления, усилении иммунного ответа и поддержании метаболического здоровья, что открывает значительные возможности для инноваций в этой [5].

Эти биологически активные вещества, присутствующие в обычных продуктах питания, помимо своей питательной ценности, могут приносить значительную пользу для здоровья, представляя собой перспективное направление для дальнейших исследований и разработок в области применения нутрицевтиков [33].

2.1 Безлактозные продукты на основе ретентатов

Одной из основных причин ограничения потребления молочных продуктов является непереносимость лактозы. Непереносимость лактозы возникает, когда у человека наблюдается дефицит β-галактозидазы в тонком кишечнике, что может привести к таким негативным симптомам, как тошнота, вздутие живота и боли. Порция жидкого молока объемом 240 мл содержит приблизительно 12 г лактозы, что является проблемой для людей с непереносимостью лактозы. Основным методом лечения людей, страдающих непереносимостью лактозы, является безлактозная диета и употребление продуктов с пониженным содержанием лактозы [5].

Исходное содержание лактозы в коровьем молоке составляет 4,8 г/100 г, но в процессе трехкратной ультрафильтрации оно снижается до 1,6 г/100 г. После завершения диафильтрации содержание лактозы в молоке составляет всего 1,6%. Оставшуюся лактозу можно гидролизовать, получив 100% безлактозное молоко, которое не будет иметь приторно-сладкого вкуса, как это происходит при гидролизе лактозы. Если для удаления практически всей лактозы, растворимых минералов и других низкомолекулярных компонентов провести

диафильтрацию с водой, то полученный продукт будет представлять собой основу для молочного напитка (не молоко или ультрафильтрованное молоко) [16].

Дефицит β-галактозидазы можно разделить на два основных типа: первичный, генетически обусловленный, и вторичный, возникающий вследствие заболеваний, поражающих тонкий кишечник. Первичный дефицит β-галактозидазы включает врожденные случаи, присутствующие с рождения и относительно редкие, а также непереносимость β-галактозидазы, характеризующуюся естественным снижением активности фермента после отлучения от груди.

Напротив, вторичный дефицит β-галактозидазы вызван основными заболеваниями, поражающими тонкий кишечник. Распространенность непереносимости β-галактозидазы во всем мире стимулировала развитие промышленных процессов, направленных на производство безлактозных продуктов. Эти продукты предназначены для потребления людьми с непереносимостью лактозы, обеспечивая их необходимыми питательными веществами, содержащимися в молочных продуктах, без причинения дискомфорта.

Чтобы продукт считался «безлактозным», он должен содержать концентрацию дисахарида глюкозы-галактозы ниже определенного порогового значения. Этот порог установлен для молока на уровне 0,1 г/100 мл, как установлено Европейским управлением по безопасности пищевых продуктов (EFSA) [12]. Удаление лактозы из молочных продуктов может быть осуществлено с помощью методов разделения или гидролиза [9].

2.2 Методы разделения лактозы

Удаление лактозы из продукта может быть достигнуто с помощью методов разделения, при которых не происходит ферментативных или химических реакций, расщепляющих этот дисахарид; вместо этого он просто изолируется и удаляется. Удаление лактозы может проводиться с помощью таких методов, как кристаллизация, хроматография и мембранное разделение. Полученная таким образом чистая лактоза находит применение в пищевой промышленности в качестве ингредиента для производства различных пищевых продуктов.

Включение лактозы в пищевые продукты обеспечивает ряд уникальных функциональных свойств, такие как низкая сладость, редуцирующие свойства сахара, свойства переноса цвета/ароматизатора, стабилизацию белка, селективную ферментацию или контроль кристаллизации, а также физиологические преимущества, такие как пребиотические функции. Лактоза широко используется в различных пищевых продуктах, таких как сухое молоко, детские смеси, кондитерские изделия, выпечка и в качестве основы для сухих пищевых смесей [41].

Было показано, что гидролиз лактозы на начальном этапе с помощью β-галактозидаз повышает эффективность и селективность мембранных методов разделения при выделении биологически активных олигосахаридов. Почти 100% гидролиз лактозы был достигнут при инкубации β-галактозидазы из *Aspergillus oryzae* в грудном молоке человека при pH 5,2 в течение 4–5 часов. Сочетание селективного осаждения белков, гидролиза лактозы и нанофильтрации (с последующей диафильтрацией) позволило извлечь более 50% олигосахаридов грудного молока человека [24].

2.2.1 Метод кристаллизации

Кристаллизация — это физический процесс, характеризующийся образованием кристаллического твердого вещества в результате охлаждения насыщенного раствора. Лактоза существует в двух аномерных формах, α-лактоза и β-лактоза, благодаря наличию хирального атома углерода. Наиболее распространенной формой является гидратированный кристалл моногидрата α-лактозы, который кристаллизуется при температурах ниже 93,5 °C [17].

В промышленных масштабах кристаллизация лактозы осуществляется в несколько последовательных этапов, включая концентрирование, кристаллизацию и очистку. Первоначально молочные продукты подвергаются процессу выпаривания для удаления воды и концентрирования лактозы. Затем концентрированный раствор переносится в

кристаллизационный реактор, где кристаллы лактозы постепенно образуются путем контролируемого охлаждения.

После кристаллизации кристаллы отделяются от раствора с помощью центрифугирования. На заключительном этапе очистки кристаллы снова промываются и центрифугируются для удаления примесей, в результате чего получается желаемый конечный продукт.

Для оптимизации эффективности работы крайне важно поддерживать температуру в определенных диапазонах: от 65°C до 70°C после стадии испарения и от 25°C до 20°C во время процесса кристаллизации [17, 30]. Важно понимать, что белки могут выступать в качестве модификаторов кристаллизации, поскольку оказывают значительное влияние на образование и рост кристаллов, воздействуя на такие факторы, как нуклеация, рост кристаллов и их форма [43]. Хотя точный механизм влияния белков на кристаллизацию лактозы остается неясным, существует теория, что их способность связывать воду создает локализованные области пересыщения лактозой. В качестве альтернативы некоторые исследователи предполагают, что белки могут служить центрами нуклеации, способствуя гетерогенной нуклеации лактозы [18].

В промышленных процессах кристаллизации обычно получают мелкие кристаллы лактозы, тогда как в идеале для облегчения последующего разделения и обработки необходимо получать крупные и однородные кристаллы. Предпочтительно, кристаллы лактозы должны иметь размер от 200 до 300 мкм и форму томагавка [18]. Размер, распределение и форма кристаллов зависят от типа раствора и условий работы. Кроме того, размер и распределение зародышей лактозы существенно влияют на скорость зарождения и роста кристаллов [30].

Поэтому, помимо традиционных методов, на стадии кристаллизации для повышения образования кристаллов можно также использовать процедуры с отрицательной температурой для стимулирования роста кристаллов, ультразвук для сокращения времени индукции зарождения и увеличения скорости кристаллизации или поток газов CO^2 и N_2 для увеличения скорости зарождения и выхода.

Хотя основной целью этой технологии не обязательно является производство безлактозных продуктов, ее применение для удаления лактозы из молочного сырья может значительно способствовать производству безлактозных молочных продуктов. Понимание того, как различные проценты удаления лактозы влияют на производственный процесс, может пролить свет на масштабы и проблемы, связанные с получением безлактозных продуктов с использованием методов кристаллизации. Например, изучение того, как разные уровни удаления лактозы влияют на конечный вкус, текстуру и общее качество продукта, дает ценные сведения о целесообразности и оптимизации производства безлактозных продуктов [9].

2.2.2 Хроматографические методы

Хроматография — это универсальный метод, используемый для разделения различных компонентов смеси на основе их дифференциального удерживания при прохождении через поддерживающую среду. Этот метод включает в себя различные варианты в зависимости от характеристик стационарной и подвижной фаз, а также взаимодействия между компонентами смеси и этими фазами. Примерами типов хроматографии являются ионообменная хроматография, хроматография с гидрофобным взаимодействием и аффинная хроматография, каждая из которых использует различное взаимодействие между стационарной фазой и соединениями смеси для разделения. Кроме того, эксклюзионная хроматография (или гель-фильтрация) представляет собой еще один вариант, в котором разделение определяется размером соединений [6].

Хроматографические методы не получили широкого распространения для разделения лактозы с целью производства безлактозных продуктов в промышленных масштабах, главным образом, из-за экономических соображений. Однако они находят применение для определения содержания лактозы и других соединений в молочных продуктах. Заметным исключением является применение хроматографии для получения безлактозного молока с использованием хроматографической колонки, состоящей из полианилина, функционализированного

глутаровым альдегидом, и лектина. Этот метод позволил удалить 47% лактозы из молока, используя высокую аффинность лектина к этому дисахариду [31].

2.2.3 Методы мембранного разделения

Мембранные технологии основаны на применении давления или электростатических градиентов для обеспечения прохождения компонентов раствора через полупроницаемую пористую мембрану. Компоненты, размер которых соответствует размеру пор мембраны и которые проходят через нее, называются пермеатом, а те, которые не могут проникнуть через мембрану и задерживаются, называются ретентатом.

В молочной промышленности методы мембранной фильтрации, такие как ультрафильтрация (УФ) и нанофильтрация (НФ), играют ключевую роль в извлечении различных соединений из молочных продуктов, включая белки, аминокислоты и лактозу. Эти методы работают по принципу разделения частиц по их размеру с использованием специализированных мембран. УФ-мембраны с размером пор от 1 до 100 нм облегчают прохождение мелких молекул, таких как лактоза, вода и минералы, задерживая при этом более крупные молекулы, такие как белки и жиры. В отличие от них, НФ-мембраны имеют меньшие поры (1–10 нм), что позволяет задерживать лактозу и молекулы аналогичного размера, пропуская при этом более мелкие молекулы, такие как вода и минералы.

Кроме того, методы электродиализа используют электрически заряженные мембраны для достижения разделения посредством электростатического градиента, предоставляя альтернативный подход [9]. Следовательно, эти методы потенциально позволяют получать продукты с низким содержанием лактозы или безлактозные в качестве побочных продуктов процесса фильтрации.

Правильный выбор мембранных материалов (керамических или полимерных) имеет решающее значение для обеспечения оптимальной эффективности разделения. Полимерные мембраны более широко используются благодаря своей доступности и меньшему энергопотреблению по сравнению с керамическими аналогами. Полимерные мембранные материалы, используемые в производстве, можно разделить на модифицированные природные полимеры, такие как ацетат целлюлозы, синтетические полимеры, включая полисульфоны, политетрафторэтилен, полиамиды, полисульфиды и полипропилены. Мембраны из ацетата целлюлозы, как правило, обладают меньшей термической, химической и биологической стойкостью по сравнению с синтетическими полимерами, которые обеспечивают большую устойчивость к изменяющимся условиям эксплуатации, таким как температура и pH. Напротив, керамические мембраны обладают большей устойчивостью благодаря своим физическим, гидротермическим и химическим свойствам стабильности.

В зависимости от конкретных производственных потребностей или областей применения используются различные материалы, такие как кремний (Si), цирконий (Zr), титан (Ti), оксиды алюминия (Al_2O_3) и карбид кремния (SiC), благодаря их различным характеристикам поверхностного заряда в растворе. Керамические мембраны широко используются в микрофильтрации, ультрафильтрации и нанофильтрации [25].

2.2.4 Методы гидролиза лактозы

Гидролиз лактозы включает химический путь, использующий кислотный гидролиз, и биологический путь, использующий ферментативный гидролиз. Кислотный гидролиз облегчается присутствием неорганических и органических кислот, в то время как ферментативный гидролиз использует биологические катализаторы, такие как ферменты. В дополнение к этим двум подходам появился третий метод, известный как метод мембранного реактора, объединяющий ферментативный гидролиз со стадиями разделения [34].

Кислотный гидролиз лактозы включает расщепление β-(1 → 4)-глюкозидной связи под действием кислых соединений, таких как HCl, H_2SO_4, лимонная кислота и H_3PO_4. В этом процессе pH среды обычно снижается до 1–2, и поддерживается высокая температура (100–150 °C). Хотя этот метод обычно используется для сыворотки или продуктов, полученных после ультрафильтрации молока, его агрессивные условия могут привести к деградации белка и образованию нежелательных побочных продуктов [38].

Методы ферментативного гидролиза в основном включают фермент β-галактозидазу, которая, как уже упоминалось, катализирует гидролиз β-(1→4)–глюкозидной связи, присутствующей в галактозидах. Этот тетрамерный белок имеет приблизительную молекулярную массу 464 кДа, которая может варьироваться в зависимости от источника. β-галактозидазу можно извлекать из различных биологических источников, включая бактерии, грибы, дрожжи и растения. Использование метода для производства безлактозных продуктов может быть осуществлено путем применения фермента в его свободной форме или путем иммобилизации на носителе. Методы ферментативного гидролиза лактозы включают введение фермента в реактор, содержащий молочный продукт, что облегчает производство безлактозного продукта благодаря его каталитическому действию [35].

В промышленных масштабах гидролиз лактозы с использованием β-галактозидазы широко применяется для производства безлактозного молока, йогуртов, сыров и мороженого, в двух различных процессах: периодическом и асептическом. В периодическом процессе фермент вводят в сосуд, содержащий сырое или термически обработанное (15 секунд при 65°C) молоко, и выдерживают в течение 24 часов при температуре от 4°C до 8°C для подавления роста микроорганизмов. Затем молоко пастеризуют (этот процесс также инактивирует фермент), гомогенизируют и упаковывают.

В асептическом процессе первым этапом стерилизации молока является ультравысокотемпературная обработка (2 секунды при 142°C), после чего стерильный фермент вводят непосредственно перед упаковкой. Поскольку молоко, обработанное при помощи ультравысокой температуры, часто хранится в карантине около 3 дней при комнатной температуре, этого времени достаточно для полного гидролиза до отправки молока розничному продавцу. Поскольку пастеризованное молоко не проходит карантинный период, асептический процесс не используется для этого типа безлактозного молока [22].

В большинстве методов ферментативного гидролиза лактозы обычно выбирают β-галактозидазу. Однако в качестве альтернативы можно использовать β-глюкозидазу, полученную из *Sulfolobus solfataricus* – одноклеточного термофила, принадлежащего группе Архей. Этот фермент продемонстрировал широкую субстратную специфичность по отношению к различным олигосахаридам, включая олигомеры лактозы и глюкозы, а также высокую термостабильность и термофильность, выдерживая температуры до 80 °C. Кроме того, была замечена устойчивость к протеазам, органическим растворителям и детергентам. Таким образом, эта другая группа ферментов представляет значительный потенциал для промышленного использования благодаря своей замечательной универсальности [40].

Заключение

С течением времени растёт количество научных исследований и осведомленность о ценных компонентах микрофильтрационных фракций, что побуждает молочную промышленность диверсифицировать методы производства концентратов. Этот сдвиг обусловлен повышенным вниманием к здоровому питанию, активному образу жизни и устойчивым экологическим практикам.

В данной статье освещен состав концентратов, рост его производства и значительный потенциал применения в различных областях. Микрофильтрационный ретентат является богатым источником компонентов, включая фосфолипиды, сывороточные белки и другие компоненты, обладающие важной биологической активностью.

Помимо этого, мы видим растущий интерес к производству безлактозных продуктов различными методами, в том числе гидролиза при помощи ферментов. Этот подход позволяет людям с непереносимостью лактозы включать эти необходимые продукты в свой рацион без ущерба для здоровья. Ферментативная иммобилизация выделяется среди других вариантов разделения или гидролиза лактозы благодаря возможности повторного использования фермента в нескольких рабочих циклах, что приводит к снижению затрат в промышленном производстве, обеспечивает стабильность фермента в рабочих условиях и сохраняет каталитическую активность.

Возможности исследования ретентатов и концентратов заключаются в разработке функциональных продуктов питания и нутрицевтиков на их основе, в то же время остаются значительные проблемы в оптимизации методов экстракции и обеспечении безопасности и качества продукции. Понимание микробиологического качества, а также минерального и витаминного профиля концентратов является критически важной областью исследований, требующей внимания.

Список источников

1. Achyut, Mishra. Manufacture of high-solids milk protein concentrate retentate using plate-and-frame membrane filtration system at low and high temperatures / Mishra Achyut. – Текст: электронный // Journal of Dairy Science: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030225001444 (дата обращения: 15.03.2026).
2. Alicja, Kapiszka. Powdered milk – how is it made and where is it used / Kapiszka Alicja. – Текст: электронный // Foodcom: [сайт]. – URL: https://foodcom.pl/en/powdered-milk-how-is-it-made-and-where-is-it-usedpowdered-milk-how-is-it-made-and-where-is-it-used/ (дата обращения: 21.03.2026).
3. Anil, Panghal Whey valorization: current options and future scenario – a critical review / Panghal Anil. – Текст: электронный // Nutrition & Food Science: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S0034665918000514 (дата обращения: 09.03.2026).
4. Asfaw, T. M. Microfiltration retentate co-product from whey protein isolate production - Composition, processing, applications and potential for value addition / T. M. Asfaw. – Текст: электронный // Trends in Food Science & Technology: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224424004151 (дата обращения: 21.03.2026).
5. B. Vardhanabhuti. Low lactose milk products // Encyclopedia of Dairy Sciences URL: https://www.sciencedirect.com/science/chapter/referencework/abs/pii/B9780128187661003457?via%3Dihub (дата обращения: 21.03.2026).
6. Batista KA, Silva CNS, Fernandes PM, Campos ITN, Fernandes KF. Development of a new bioaffinity stationary phase for lactose removal using a lactose-binding lectin immobilized onto polyaniline. Separation and Purification Technology. 2017; 185:54-60.
7. Bon, J. Simulation and optimization of milk pasteurization processes using a general process simulator (ProSimPlus) / J. Bon. – Текст: электронный // Computers & Chemical Engineering: [сайт]. – URL: https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.11.013 (дата обращения: 11.03.2026).
8. Camila, Eckert Microencapsulation of Lactobacillus plantarum ATCC 8014 through spray drying and using dairy whey as wall materials / Eckert Camila. – Текст: электронный // LWT - Food Science and Technology: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817302712 (дата обращения: 19.03.2026).
9. Carlo, Agostoni Scientific Opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia / Agostoni Carlo. – Текст: электронный // EFSA Panel on Dietetic Products: [сайт]. – URL: https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1777 (дата обращения: 21.03.2026).
10. Challenges in dried whey powder production: Quality problems / Ozel a b Baris. – Текст: электронный // Food Research International: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996922007402 (дата обращения: 07.03.2026).
11. Development and quality evaluation of a fermented dessert made from donkey milk fortified with oat flour, wheat germ oil, and pomegranate extract / Antonino Claudia. – Текст: электронный // Applied Food Research: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502224001173 (дата обращения: 09.03.2026).
12. Durham RJ. Modern approaches to lactose production. In: Dairy-Derived Ingredients. Cambridge: Woodhead Publishing; 2009. pp. 103-144.
13. E.S.V. Rezende. Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories // Nutrition URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0899900721000794 (дата обращения: 10.03.2026).

14. Elizabeta, Zandona. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach / Zandona Elizabeta. – Текст: электронный // Food Technol Biotechnol: [сайт]. – URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34316276/ (дата обращения: 21.03.2026).

15. Fruit based probiotic functional beverages: A review / Mohit Manoj a Pawade. – Текст: электронный // Journal of Agriculture and Food Research: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154323002363 (дата обращения: 21.03.2026).

16. Gajendragadkar CN, Gogate PR. Ultrasound assisted acid catalyzed lactose hydrolysis: Understanding into effect of operating parameters and scale up studies. Ultrasonics Sonochemistry. 2017; 37:9-15.

17. Halfwerk R, Yntema D, Van Spronsen J, Van der Padt A. A sub-zero crystallization process for the recovery of lactose. Journal of Food Engineering. 2021; 308:110677.

18. Harju M, Kallioinen H, Tossavainen O. Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products: Technological aspects. International Dairy Journal. 2012; 22(2):104-109.

19. Henny, Setiawati Fermentation of Whey Waste as Organic Liquid Fertilizer "PUCAFU" / Setiawati Henny. – Текст: электронный // Agrotech: [сайт]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/331629753 (дата обращения: 21.03.2026).

20. Hernandez, A. J. Milk beverage base with lactose removed with ultrafiltration: Effect of fat and protein concentration on sensory and physical properties / A. J. Hernandez. – Текст: электронный // Journal of Dairy Science: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203022300632X (дата обращения: 07.03.2026).

21. Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk / G Carter B. – Текст: электронный // Journal of Dairy Science: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221000126 (дата обращения: 11.03.2026).

22. Ionata E, Marcolongo L, La Cara F, Cetrangolo GP, Febbraio F. Improvement of functional properties of a thermostable β-glycosidase for milk lactose hydrolysis. Biopolymers. 2018; 109(10):e23118.

23. J, N de WIT. Nutritional and Functional Characteristics of Whey Proteins in Food Products / N de WIT J. – Текст: электронный // The Journal of Dairy Science: [сайт]. – URL: https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302%2898%2975613-9 (дата обращения: 11.03.2026).

24. Jorge, L. V. Hydrolysis of Lactose: Conventional Techniques and Enzyme Immobilization Strategies on Polymeric Supports / L. V. Jorge. – Текст: электронный // Milk Proteins - Technological Innovations, Nutrition, Sustainability and Novel Applications: [сайт]. – URL: https://www.intechopen.com/chapters/1188731 (дата обращения: 21.03.2026).

25. Juliana, M L N de Moura Bell. Modeling lactose hydrolysis for efficiency and selectivity: Toward the preservation of sialyloligosaccharides in bovine colostrum whey permeate / M L N de Moura Bell Juliana. – Текст: электронный // Journal of Dairy Science: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030216302909 (дата обращения: 09.03.2026).

26. Lamia, Ayed Sustainable whey processing techniques: Innovations in derivative and beverage production / Ayed Lamia. – Текст: электронный // Food Bioscience: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429223002936 (дата обращения: 11.03.2026).

27. M. Alali. Nutraceuticals: Transformation of conventional foods into health promoters/disease preventers and safety considerations // Molecules URL: https://www.mdpi.com/1420-3049/26/9/2540 (дата обращения: 10.03.2026).

28. Md, R. A. Probiotics and their applications in functional foods: a health perspective / R. A. Md. – Текст: электронный // Applied Food Research: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502225004986 (дата обращения: 21.03.2026).

29. Milk Powder Production. – Текст: электронный // Rotronic Measurement Solutions: [сайт]. – URL: https://www.rotronic.com/media/news/files/1466670855_FF-Milk-Powder.pdf (дата обращения: 10.03.2026).

30. Mimouni, A. Kinetics of lactose crystallization and crystal size as monitored by refractometry and laser light scattering: Effect of proteins / A. Mimouni. – Текст: электронный // Le Lait: [сайт]. – URL: http://www.edpsciences.org/10.1051/lait:2005015 (дата обращения: 11.03.2026).

31. Mònica, Reig Use of Membrane Technologies in Dairy Industry: An Overview / Reig Mònica. – Текст: электронный // Foods: [сайт]. – URL: https://www.mdpi.com/2304-8158/10/11/2768 (дата обращения: 12.03.2026).

32. New perspectives in fermented dairy products and their health relevance / García-Burgos María. – Текст: электронный // Journal of Functional Foods: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620302838 (дата обращения: 21.03.2026).

33. Oluwatobi, V. O. Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review / V. O. Oluwatobi. – Текст: электронный // Journal of Functional Foods: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464624003396 (дата обращения: 11.03.2026).

34. Paraskevi, Tsermoula. Physicochemical properties and stability of milk permeate as influenced by ultrafiltration processing parameters / Tsermoula Paraskevi. – Текст: электронный // International Dairy Journal: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694624001250 (дата обращения: 21.03.2026).

35. Peter, J T Dekker. Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits / J T Dekker Peter. – Текст: электронный // Nutrients: [сайт]. – URL: https://www.mdpi.com/2072-6643/11/3/551 (дата обращения: 10.03.2026).

36. Ramírez, C. A. From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry / C. A. Ramírez. – Текст: электронный // Energy: [сайт]. – URL: https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.10.014 (дата обращения: 07.03.2026).

37. S. Sugita. The impact of milk fat globule membrane with exercise on age-related degeneration of neuromuscular junctions // Nutrients URL: https://www.mdpi.com/2072-6643/13/7/2310 (дата обращения: 10.03.2026).

38. Saqib S, Akram A, Halim SA, Tassaduq R. Sources of β-galactosidase and its applications in food industry. 3 Biotech. 2017; 7(1):79.

39. Thomas, C. F. Physicochemical properties of micellar casein retentates generated at different microfiltration temperatures / C. F. Thomas. – Текст: электронный // Journal of Dairy Science: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030223012079 (дата обращения: 10.03.2026).

40. Tim, Coolbear. Heat-induced changes in the sensory properties of milk / Coolbear Tim. — Текст: электронный // International Dairy Journal: [сайт]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694621002272 (дата обращения: 21.03.2026).

41. Wong SY, Hartel RW. Crystallization in lactose refining—A review. Journal of Food Science. 2014;79(3):R257-R272

42. X. Han. Regulation of dietary fiber on intestinal microorganisms and its effects on animal health // Animal Nutrition URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405654523000756 (дата обращения: 10.03.2026).

43. Yanira, I. S. Individual and combined effect of pH and whey proteins on lactose crystallization / I. S. Yanira. – Текст: электронный // Food Research International: [сайт]. – URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918306604 (дата обращения: 21.03.2026).

44. Yechun, Zhang. Modelling of a milk powder falling film evaporator for predicting process trends and comparison of energy consumption / Zhang Yechun. – Текст: электронный // Journal of Food Engineering: [сайт]. – URL: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.016 (дата обращения: 21.03.2026).

45. Н.Г. Автандилян. Формирование требований к составу и физико-химическим показателям лактозосодержащего сырья для производства концентратов лактулозы / Н.Г. Автандилян, Р.Р. Халкечев, А. Д. Лодыгин // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий. - Кемерово: 2022. - С. 14-17.

46. Баранов С.А. Влияние микропартикулята сывороточных белков на показатели кисломолочных напитков/ Баранов С.А., Евдокимов И.А., Гордиенко Л.А., Шрамко М.И. // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий. – Кемерово: 2022. - С. 14-17.

References

1. Achyut, Mishra. Manufacture of high-solids milk protein concentrate retentate using plate-and-frame membrane filtration system at low and high temperatures / Mishra Achyut. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Dairy Science: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030225001444 (data obrashcheniya: 15.03.2026).

2. Alicja, Kapiszka. Powdered milk – how is it made and where is it used / Kapiszka Alicja. – Tekst: ehlektronnyi // Foodcom: [sait]. — URL: https://foodcom.pl/en/powdered-milk-how-is-it-made-and-where-is-it-usedpowdered-milk-how-is-it-made-and-where-is-it-used/ (data obrashcheniya: 21.03.2026).

3. Anil, Panghal Whey valorization: current options and future scenario – a critical review / Panghal Anil. – Tekst: ehlektronnyi // Nutrition & Food Science: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S0034665918000514 (data obrashcheniya: 09.03.2026).

4. Asfaw, T. M. Microfiltration retentate co-product from whey protein isolate production - Composition, processing, applications and potential for value addition / T. M. Asfaw. – Tekst: ehlektronnyi // Trends in Food Science & Technology: [sait]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224424004151 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

5. B. Vardhanabhuti. Low lactose milk products // Encyclopedia of Dairy Sciences URL: https://www.sciencedirect.com/science/chapter/referencework/abs/pii/B9780128187661003457?via%3Dihub (data obrashcheniya: 21.03.2026).

6. Batista KA, Silva CNS, Fernandes PM, Campos ITN, Fernandes KF. Development of a new bioaffinity stationary phase for lactose removal using a lactose-binding lectin immobilized onto polyaniline. Separation and Purification Technology. 2017; 185:54-60.

7. Bon, J. Simulation and optimization of milk pasteurization processes using a general process simulator (ProSimPlus) / J. Bon. – Tekst: ehlektronnyi // Computers & Chemical Engineering: [sait]. — URL: https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.11.013 (data obrashcheniya: 11.03.2026).

8. Camila, Eckert Microencapsulation of Lactobacillus plantarum ATCC 8014 through spray drying and using dairy whey as wall materials / Eckert Camila. – Tekst: ehlektronnyi // LWT - Food Science and Technology: [sait]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817302712 (data obrashcheniya: 19.03.2026).

9. Carlo, Agostoni Scientific Opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia / Agostoni Carlo. – Tekst: ehlektronnyi // EFSA Panel on Dietetic Products: [sait]. – URL: https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1777 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

10. Challenges in dried whey powder production: Quality problems / Ozel a b Baris. – Tekst: ehlektronnyi // Food Research International: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996922007402 (data obrashcheniya: 07.03.2026).

11. Development and quality evaluation of a fermented dessert made from donkey milk fortified with oat flour, wheat germ oil, and pomegranate extract / Antonino Claudia. – Tekst: ehlektronnyi // Applied Food Research: [sait]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502224001173 (data obrashcheniya: 09.03.2026).

12. Durham RJ. Modern approaches to lactose production. In: Dairy-Derived Ingredients. Cambridge: Woodhead Publishing; 2009. pp. 103-144.

13. E.S.V. Rezende. Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories // Nutrition URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0899900721000794 (data obrashcheniya: 10.03.2026).

14. Elizabeta, Zandona. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach / Zandona Elizabeta. – Tekst: ehlektronnyi //Food Technol Biotechnol: [sait]. – URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34316276/ (data obrashcheniya: 21.03.2026).

15. Fruit based probiotic functional beverages: A review / Mohit Manoj a Pawade. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Agriculture and Food Research: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154323002363 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

16. Gajendragadkar CN, Gogate PR. Ultrasound assisted acid catalyzed lactose hydrolysis: Understanding into effect of operating parameters and scale up studies. Ultrasonics Sonochemistry. 2017; 37:9-15.

17. Halfwerk R, Yntema D, Van Spronsen J, Van der Padt A. A sub-zero crystallization process for the recovery of lactose. Journal of Food Engineering. 2021; 308:110677.

18. Harju M, Kallioinen H, Tossavainen O. Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products: Technological aspects. International Dairy Journal. 2012; 22(2):104-109.

19. Henny, Setiawati Fermentation of Whey Waste as Organic Liquid Fertilizer "PUCAFU" / Setiawati Henny. – Tekst: ehlektronnyi // Agrotech: [sait]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/331629753 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

20. Hernandez, A. J. Milk beverage base with lactose removed with ultrafiltration: Effect of fat and protein concentration on sensory and physical properties / A. J. Hernandez. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Dairy Science: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203022300632X (data obrashcheniya: 07.03.2026).

21. Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk / G Carter B. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Dairy Science: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221000126 (data obrashcheniya: 11.03.2026).

22. Ionata E, Marcolongo L, La Cara F, Cetrangolo GP, Febbraio F. Improvement of functional properties of a thermostable β-glycosidase for milk lactose hydrolysis. Biopolymers. 2018; 109(10):e23118.

23. J, N de WIT. Nutritional and Functional Characteristics of Whey Proteins in Food Products / N de WIT J. – Tekst: ehlektronnyi // The Journal of Dairy Science: [sait]. – URL: https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302%2898%2975613-9 (data obrashcheniya: 11.03.2026).

24. Jorge, L. V. Hydrolysis of Lactose: Conventional Techniques and Enzyme Immobilization Strategies on Polymeric Supports / L. V. Jorge. – Tekst: ehlektronnyi // Milk Proteins - Technological Innovations, Nutrition, Sustainability and Novel Applications: [sait]. – URL: https://www.intechopen.com/chapters/1188731 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

25. Juliana, M L N de Moura Bell. Modeling lactose hydrolysis for efficiency and selectivity: Toward the preservation of sialyloligosaccharides in bovine colostrum whey permeate / M L N de Moura Bell Juliana. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Dairy Science: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030216302909 (data obrashcheniya: 09.03.2026).

26. Lamia, Ayed Sustainable whey processing techniques: Innovations in derivative and beverage production / Ayed Lamia. – Tekst: ehlektronnyi // Food Bioscience: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429223002936 (data obrashcheniya: 11.03.2026).

27. M. Alali. Nutraceuticals: Transformation of conventional foods into health promoters/disease preventers and safety considerations // Molecules URL: https://www.mdpi.com/1420-3049/26/9/2540 (data obrashcheniya: 10.03.2026).

28. Md, R. A. Probiotics and their applications in functional foods: a health perspective / R. A. Md. — Tekst: ehlektronnyi // Applied Food Research: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502225004986 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

29. Milk Powder Production. – Tekst: ehlektronnyi // Rotronic Measurement Solutions: [sait]. – URL: https://www.rotronic.com/media/news/files/1466670855_FF-Milk-Powder.pdf (data obrashcheniya: 10.03.2026).

30. Mimouni, A. Kinetics of lactose crystallization and crystal size as monitored by refractometry and laser light scattering: Effect of proteins / A. Mimouni. – Tekst: ehlektronnyi // Le Lait: [sait]. – URL: http://www.edpsciences.org/10.1051/lait:2005015 (data obrashcheniya: 11.03.2026).

31. Mònica, Reig Use of Membrane Technologies in Dairy Industry: An Overview / Reig Mònica. — Tekst: ehlektronnyi // Foods: [sait]. – URL: https://www.mdpi.com/2304-8158/10/11/2768 (data obrashcheniya: 12.03.2026).

32. New perspectives in fermented dairy products and their health relevance / García-Burgos María. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Functional Foods: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620302838 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

33. Oluwatobi, V. O. Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review / V. O. Oluwatobi. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Functional Foods: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464624003396 (data obrashcheniya: 11.03.2026).

34. Paraskevi, Tsermoula. Physicochemical properties and stability of milk permeate as influenced by ultrafiltration processing parameters / Tsermoula Paraskevi. – Tekst: ehlektronnyi // International Dairy Journal: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694624001250 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

35. Peter, J T Dekker. Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits / J T Dekker Peter. – Tekst: ehlektronnyi // Nutrients: [sait]. – URL: https://www.mdpi.com/2072-6643/11/3/551 (data obrashcheniya: 10.03.2026).

36. Ramírez, C. A. From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry / C. A. Ramírez. – Tekst: ehlektronnyi // Energy: [sait]. – URL: https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.10.014 (data obrashcheniya: 07.03.2026).

37. S. Sugita. The impact of milk fat globule membrane with exercise on age-related degeneration of neuromuscular junctions // Nutrients URL: https://www.mdpi.com/2072-6643/13/7/2310 (data obrashcheniya: 10.03.2026).

38. Saqib S, Akram A, Halim SA, Tassaduq R. Sources of β-galactosidase and its applications in food industry. 3 Biotech. 2017; 7(1):79.

39. Thomas, C. F. Physicochemical properties of micellar casein retentates generated at different microfiltration temperatures / C. F. Thomas. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Dairy Science: [sait]. –URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030223012079 (data obrashcheniya: 10.03.2026).

40. Tim, Coolbear. Heat-induced changes in the sensory properties of milk / Coolbear Tim. – Tekst: ehlektronnyi // International Dairy Journal: [sait]. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694621002272 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

41. Wong SY, Hartel RW. Crystallization in lactose refining–A review. Journal of Food Science. 2014; 79(3):R257-R272

42. X. Han. Regulation of dietary fiber on intestinal microorganisms and its effects on animal health // Animal Nutrition URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405654523000756 (data obrashcheniya: 10.03.2026).

43. Yanira, I. S. Individual and combined effect of pH and whey proteins on lactose crystallization / I. S. Yanira. – Tekst: ehlektronnyi // Food Research International: [sait]. – URL: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918306604 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

44. Yechun, Zhang. Modelling of a milk powder falling film evaporator for predicting process trends and comparison of energy consumption / Zhang Yechun. – Tekst: ehlektronnyi // Journal of Food Engineering : [sait]. — URL: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.016 (data obrashcheniya: 21.03.2026).

45. N.G. Avtandilyan. Formirovanie trebovanii k sostavu i fiziko-khimicheskim pokazatelyam laktozosoderzhashchego syr'ya dlya proizvodstva kontsentratov laktulozy / N.G. Avtandilyan, R.R. Khalkechev, A. D. Lodygin // Noveishie dostizheniya v oblasti meditsiny, zdravookhraneniya i zdorov'esberegayushchikh tekhnologii. – Kemerovo: 2022. – S. 14-17.

46. Baranov S.A. Vliyanie mikropartikulyata syvorotochnykh belkov na pokazateli kislomolochnykh napitkov/ Baranov S.A., Evdokimov I.A., Gordienko L.A., Shramko M.I. // Noveishie dostizheniya v oblasti meditsiny, zdravookhraneniya i zdorov'esberegayushchikh tekhnologii. - Kemerovo: 2022. – S. 14-17.

Информация об авторах

Фурсова Софья Игоревна – аспирант, ассистент кафедры прикладной биотехнологии факультета пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмцова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79624278976, fursonya@yandex.ru

Алексей Дмитриевич Лодыгин – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной биотехнологии, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, факультет пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмцова, Северо-Кавказский федеральный университет, +79288263918, allodygin@yandex.ru

Евдокимов Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов, Северо-Кавказский федеральный университет, +78652956800, ievdokimov@ncfu.ru.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Sofya I. Fursova – Postgraduate student, Assistant of the Department of Applied Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov, North-Caucasus Federal University, +79624278976, fursonya@yandex.ru

Aleksei D. Lodygin – Dr. Sci. (Techn.), Associate Professor, Head of the Department of Applied Biotechnology, Chief Researcher of the Research Laboratory of Food and Industrial Biotechnology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov North-Caucasus Federal University, +79288263918, allodygin@yandex.ru

Ivan A. Evdokimov – Dr. Sci. (Techn.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Basic Department of Milk and Dairy Products Technology, North-Caucasus Federal University, +78652956800, ievdokimov@ncfu.ru .

Author contributions: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 88-99
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):88-99
TECHNICAL SCIENCE
TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS

Научная статья
УДК 547.458.88: 579.674
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.7

Влияние различных видов пектина на интенсивность роста штаммов *Lactococcus lactis* и *Lactiplantibacillus plantar*um и сохранение жизнеспособности микроорганизмов при инкапсулировании

Олеся Сергеевна Бутримова [1*], Роман Олегович Будкевич[2]

[1, 2] Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Россия)
[1] olesia89624601442@gmail.com; https://orcid.org/0009-0006-4243-559X
[2] rbudkevich@ncfu.ru; https://orcid.org/0000-0001-8777-8592

*Автор, ответственный за переписку **Олеся Сергеевна Бутримова,** olesia89624601442@gmail.com

Аннотация.
Введение. В статье представлено описание влияния различных видов пектина на интенсивность роста пробиотических микроорганизмов и эффективность их защиты при инкапсулировании. Использование полисахаридных матриц для микрокапсулирования рассматривается как перспективный способ повышения стабильности пробиотиков в процессе хранения и применения в составе функциональных продуктов питания**. Целью исследования** являлась оценка влияния различных типов пектина на рост штаммов *Lactococcus lactis* и *Lactiplantibacillus plantarum*, а также определение эффективности пектиновых матриц для сохранения жизнеспособности микроорганизмов при микрокапсулировании. **Материалы и методы.** Исследование построено на анализе интенсивности роста пробиотических культур в питательных средах с добавлением различных видов пектина, а также на оценке выживаемости микроорганизмов после инкапсулирования и в процессе хранения. Жизнеспособность клеток определяли микробиологическими методами с подсчётом колониеобразующих единиц и сравнением показателей сохранности пробиотических культур в различных пектиновых матрицах**. Результаты и обсуждение.** В ходе работы установлено, что использование пектинов в качестве матриц для микрокапсулирования способствует повышению стабильности пробиотических культур. Наиболее выраженные защитные свойства продемонстрировал цитрусовый пектин, обеспечивший наибольшую сохранность клеток исследуемых микроорганизмов в процессе хранения. Показано, что структурные особенности и степень метоксилирования пектина оказывают значительное влияние на эффективность инкапсуляции и устойчивость пробиотических клеток. **Заключение.** По итогам проведённого исследования установлено, что микрокапсулирование пробиотических микроорганизмов в матрицы на основе пектинов позволяет существенно повысить их стабильность и выживаемость в процессе хранения. Наиболее эффективными защитными свойствами обладали микрокапсулы на основе цитрусового пектина, обеспечившие сохранность *Lactococcus lactis* и *Lactiplantibacillus plantarum* на уровне 87,41% и 88,81% соответственно после 8 недель хранения. Полученные результаты подтверждают перспективность использования пектиновых полисахаридов для разработки биологически активных добавок и функциональных продуктов питания с пролонгированным сроком хранения и высокой биологической ценностью.

Ключевые слова: пектин, пробиотические микроорганизмы, жизнеспособность, хранение, полисахариды, стабилизация, *Lactiplantibacillus plantarum, Lactococcus lactis.*

Для цитирования: Бутримова О. С., Будкевич Р. О. Влияние различных видов пектина на интенсивность роста штаммов *Lactococcus lactis* и *Lactiplantibacillus plantarum* и сохранение жизнеспособности микроорганизмов при инкапсулировании // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 88-99. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.7

© ,Бутримова О. С., Буткевич Р.О., 2026

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-26-00766
Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.01.2026;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

Effect of different types of pectin on the growth rate of Lactococcus lactis and Lactiplantibacillus plantarum strains and the preservation of microbial viability during encapsulation

Olesya Sergeevna Butrimova [1*], Roman Olegovich Budkevich [1,2]

[1, 2] North Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russia)
[1]olesia89624601442@gmail.com; https://orcid.org/0009-0006-4243-559X
[2] rbudkevich@ncfu.ru; https://orcid.org/0000-0001-8777-8592

*Corresponding author **Olesya Sergeevna Butrimova,** olesia89624601442@gmail.com

Abstract. Introduction. The article describes the effect of various types of pectin on the growth rate of probiotic microorganisms and the effectiveness of their protection during encapsulation. The use of polysaccharide matrices for microcapsulation is considered as a promising way to increase the stability of probiotics during storage and use in functional foods. The aim of the study was to evaluate the effect of various types of pectin on the growth of Lactococcus lactis and Lactiplantibacillus plantarum strains, as well as to determine the effectiveness of pectin matrices for maintaining the viability of microorganisms during microcapsulation. **Materials and methods.** The study is based on the analysis of the growth rate of probiotic cultures in nutrient media with the addition of various types of pectin, as well as on the assessment of the survival of microorganisms after encapsulation and during storage. Cell viability was determined by microbiological methods with the calculation of colony-forming units and the comparison of the preservation parameters of probiotic cultures in various pectin matrices. **Results and discussion**. In the course of the work, it was found that the use of pectins as matrices for microcapsulation helps to increase the stability of probiotic cultures. Citrus pectin demonstrated the most pronounced protective properties, which ensured the greatest preservation of the cells of the studied microorganisms during storage. It has been shown that the structural features and the degree of pectin methoxylation have a significant effect on the encapsulation efficiency and stability of probiotic cells. **Conclusion.** Based on the results of the study, it was found that the microcapsulation of probiotic microorganisms into pectin-based matrices can significantly increase their stability and survival during storage. Microcapsules based on citrus pectin had the most effective protective properties, which ensured the preservation of Lactococcus lactis and Lactiplantibacillus plantarum at the level of 87.41% and 88.81%, respectively, after 8 weeks of storage. The results obtained confirm the promising use of pectin polysaccharides for the development of biologically active additives and functional food products with a prolonged shelf life and high biological value.

Keywords: pectin, probiotic microorganisms, viability, storage, polysaccharides, stabilization, Lactiplantibacillus plantarum, Lactococcus lactis.

For citation: Butrimova O. S., Budkevich R. O. The effect of various types of pectin on the growth rate of Lactococcus lactis and Lactiplantibacillus plantarum strains and the preservation of the viability of

microorganisms during encapsulation // Modern Science and Innovation. 2026. No. 2. pp. 88-99. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.7

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 14.01.2026;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Introduction

Modern developments in the food industry are aimed at creating functional products with pronounced physiological effects and the ability to support human health. One of the most promising areas in this field is the use of probiotic microorganisms, the effectiveness of which is directly related to their viability and activity during storage and after consumption [1,2] . However, during the production of probiotic products, a significant decrease in the number of viable cells is observed due to adverse environmental factors, including fluctuations in temperature, humidity, pH, and the presence of oxygen [3, 4].

To enhance the resistance of probiotic microorganisms to stressful conditions, the use of natural polysaccharides, particularly pectins, is being actively studied. These polysaccharides possess high biocompatibility, safety, and the ability to form gel-like matrices that protect cells from destruction [5, 6]. Pectins differ in chemical structure, degree of methoxylation, and source, which determines their functional properties, including interaction with the cell surface and the formation of stable microcapsules [7, 8].

A number of studies have shown that the use of pectin as a matrix for encapsulating probiotics not only increases their resistance to the acidic environment of the stomach and storage conditions, but can also enhance cell growth activity due to a prebiotic effect [9–11]. In this regard, the study of the effect of different types of pectin on the growth rate of probiotic strains *Lactococcus lactis* and *Lactiplantibacillus plantarum*, as well as on the preservation of their viability during encapsulation, is of scientific and practical interest.

In Russia, research into the use of pectin for the encapsulation and stabilization of probiotics is actively developing [12]. Of particular interest are domestically produced pectins from beet and apple raw materials, which are characterized by low cost and high efficiency in the formation of gel structures [14, 15]. Thus, a relevant area is studying the effect of various types of pectin on the preservation of the viability of probiotic microorganisms during storage, which has practical significance for the development of new functional foods and probiotic supplements [16].

Materials and methods

Research objects

The following probiotic cultures were used as objects of study:

- Mixture of Lactococcus lactis subsp. lactis, Lactococcus lactis subsp. cremoris, Lactococcus lactis subsp. diacetylactis (sourdough for cheese). Manufacturer: Federal State Budgetary Scientific Institution "Experimental Biofactory", Russia.
- Lactobacillus plantarum (protective starter BK-Uglich-P). Manufacturer: Experimental Biofactory, Russia.

MRS broth and MRS agar were used as nutrient media. Manufacturer: Federal State Budgetary Scientific Institution “State Scientific Center for Applied Microbiology and Biotechnology”, Russia.

Encapsulation materials

Various types of pectin were used as a polymer carrier for encapsulation:

- apple pectin (highly methoxylated, HM); Manufacturer: Stoing Trading House LLC, Russia;
- citrus pectin (low methoxylated, LM); Manufacturer: Stoing Trading House LLC, Russia;
- beet pectin (low methoxylated, LM); Manufacturer: PharmMix LLC, Russia;
- tomato pectin (low methoxylated, LM); Manufacturer: PharmMix LLC, Russia;

- amidated low-esterified pectin; Manufacturer: Part of the Strength LLC, Russia.

$CaCl_2$ manufactured by Stoing, Russia, was used as a hardener . Sodium citrate manufactured by Stoing, Russia, was used to release microorganisms from the microcapsules.

Conditions for culturing probiotic microorganisms

Probiotic microorganisms were cultured in pectin solutions of varying concentrations (0.5–2.5%) at 37°C for 48 hours. Unencapsulated probiotic cultures, cultured in MRS broth under similar conditions, served as controls.

After cultivation, 5 ml of pectin solution samples were treated with a 2% sodium citrate solution and then centrifuged at 12°C for 5 minutes. The centrifugation procedure was repeated three times until a pure probiotic sediment was obtained. The method for isolating microorganisms from the pectin matrix was consistent with published data [13].

Encapsulation of probiotic microorganisms

Probiotic encapsulation was achieved using ionic gelation. Pectin solutions containing probiotic cultures were injected with an insulin syringe into a curing agent solution—a 2% $CaCl_2$ solution. The resulting microcapsules were soaked in saline and stored at 5°C.

The viability of probiotics in microcapsules was analyzed after 12 hours, 24 hours, 1 week, 4 weeks and 8 weeks of storage.

Release of microorganisms from microcapsules

The release of probiotic microorganisms from pectin microcapsules was carried out by treating the capsules with a 2% sodium citrate solution, after which a quantitative analysis of viable cells was carried out.

Determination of the concentration of probiotic microorganisms

The concentration of probiotics was determined using a densitometer, as well as by counting colony-forming units (CFU/g) on MRS-agar nutrient medium.

For this purpose, serial tenfold dilutions of the test samples were performed, after which 1 ml of the suspension was added to sterile Petri dishes containing melted and cooled MRS agar to 37°C. Incubation was carried out at 37°C for 48 hours, after which the number of colonies grown was counted, taking into account the dilution, and the viable cell concentration (CFU/g) was calculated.

The results are presented as M ± m, where *M* is the mean value and *m* is the standard error of the mean.

Evaluation of probiotic growth efficiency

To assess the growth efficiency of probiotic microorganisms, the generally accepted relative growth index was used [14] , calculated using the formula:

$$E = \frac{N1}{N0} * 100\%, \quad (1)$$

where N_0 is the concentration of probiotic microorganisms in 1 g before the start of cultivation;

N_1 is the concentration of probiotic microorganisms in 1 g after the end of cultivation.

Calculation of losses and encapsulation efficiency

Losses of probiotic microorganisms during storage were calculated using the formula:

$$P = 100*(1 - \frac{A1}{A}) \% \quad (2)$$

where P is the loss (%), A is the initial value of CFU/ g, A_1 – Final CFU/g value after completion of the storage process

The following formula was used to calculate the encapsulation efficiency:

$$EE = 100\% - P \quad (3)$$

in accordance with the methodological approaches used in studies on microencapsulation of probiotics [15] .

Statistical data processing

All experimental studies were performed in triplicate. Results are presented as the arithmetic mean with the standard error of the mean. Statistical processing of the experimental data was performed using *Statistica 10* and *Microsoft Excel software packages* , employing

analysis of variance methods. The statistical significance of differences in the "efficacy" indicator, expressed as a percentage, was assessed using the χ^2 (chi-square) test. Differences between the compared groups were considered significant at a significance level of $p < 0.05$.

Results and discussions

Probiotic microorganisms were cultured simultaneously on MRS nutrient medium and in pectin solutions; the initial concentration of probiotic microorganisms was $1*10^8$ CFU/g. Table 1 presents the results of a study of the growth rate of probiotic microorganisms during cultivation on various types of pectin. The assessment was carried out using densitometry data, which allowed us to determine the dynamics of biomass accumulation during fermentation. Upon completion of fermentation, tenfold dilutions of each replicate were cultured to determine the viability and activity of the probiotic cultures. The samples were incubated in a thermostat at 37 °C for 48 h, after which the number of colony-forming units (CFU) per 1 g of sample was counted. For each variant, the arithmetic mean CFU value was calculated, reflecting the growth rate and activity of the probiotic microorganisms. Based on the obtained data, an integrated assessment of the growth intensity of cultures on various types of pectins was made and the growth efficiency of microorganisms was calculated relative to the initial indicators; the results are presented in Table 1.

Table 1 – Evaluation of the growth rate of probiotic microorganisms

Nutrient medium	Strain	Pectin concentration, %	Average CFU/g value according to densitometry indicators	Average CFU/g value based on 10th dilution	E, %
MRS – broth	*L. lactis*	0	$(4.51\pm14)*10^8$	$(4.8\pm15)*10^8$	451
	L. planturum		$(8.13\pm0.24)*10^8$	$(8.1\pm0.24)*10^8$	813
Apple pectin (HM)	*L. lactis*	0.5	$(2.3\pm0.07)*10^8$	$(2.2\pm0.06)*10^8$	230
		1	$(3.83\pm0.11)*10^8$	$(3.9\pm0.13)*10^8$	383
		1.5	$(4.44\pm0.13)*10^8$	$(4.25\pm0.12)*10^8$	444
		2.0	$(5.38\pm0.16)*10^8$	$(5.25\pm0.15)*10^8$	538
		2.5	$(5.23\pm0.16)*10^8$	$(5.15\pm0.14)*10^8$	523
	L. planturum	0.5	$(3.6\pm0.11)*10^8$	$(3.9\pm0.12)*10^8$	360
		1	$(5.17\pm0.16)*10^8$	$(5.1\pm0.15)*10^8$	517
		1.5	$(6.22\pm0.19)*10^8$	$(6.15\pm0.18)*10^8$	622
		2.0	$(7.73\pm0.23)*10^8$	$(7.7\pm0.22)*10^8$	773
		2.5	$(7.68\pm0.23)*10^8$	$(7.7\pm0.21)*10^8$	768
Citrus pectin (HM)	*L. lactis*	0.5	$(2.62\pm0.08)*10^8$	$(2.7\pm0.09)*10^8$	262
		1	$(4.08\pm0.12)*10^8$	$(4.0\pm0.11)*10^8$	408
		1.5	$(5.48\pm0.16)*10^8$	$(5.25\pm0.15)*10^8$	548
		2.0	$(6.02\pm0.18)*10^8$	$(6.0\pm0.17)*10^8$	602
		2.5	$(5.98\pm0.18)*10^8$	$(6.0\pm0.17)*10^8$	598
	L. planturum	0.5	$(3.31\pm0.1)*10^8$	$(3.35\pm0.11)*10^8$	331
		1	$(6.24\pm0.19)*10^8$	$(6.15\pm0.17)*10^8$	624

		1.5	(7.68±0.23)*10 8	(7.75±0.24)*10 8	768
		2.0	(9.11±0.27)*10 8	(9.1±0.25)*10 8	911
		2.5	(9.0±0.27)*10 8	(9.0±0.26)*10 8	900
Beet pectin (LM)	*L. lactis*	0.5	(2.83±0.08)*10 8	(2.9 ± 0.09)*10 8	283
		1	(3.41±0.1)*10 8	(3.3±0.11)*10 8	341
		1.5	(3.95±0.12)*10 8	(4.0±0.12)*10 8	395
		2.0	(4.38±0.13)*10 8	(4.25±0.13)*10 8	438
		2.5	(4.35±0.13)*10 8	(4.3±0.13)*10 8	435
	L. planturum	0.5	(3±0.09)*10 8	(3.0±0.09)*10 8	300
		1	(4.21±0.12*10 8	(4.15±0.12*10 8	421
		1.5	(4.82±0.14)*10 8	(4.9±0.15)*10 8	482
		2.0	(5.33±0.16)*10 8	(5.2±0.14)*10 8	533
		2.5	(5.28±0.16)*10 8	(5.25±0.15)*10 8	528
Tomato pectin (LM)	*L. lactis*	0.5	(1.6±0.05)*10 8	(1.75±0.06)*10 8	160
		1	(2.31±0.07)*10 8	(2.2±0.07)*10 8	231
		1.5	(2.78±0.08)*10 8	(2.8±0.09)*10 8	278
		2.0	(3.13±0.09)*10 8	(3.05±0.09)*10 8	313
		2.5	(3.07±0.09)*10 8	(3.1±0.09)*10 8	307
	L. planturum	0.5	(2.1±0.06)*10 8	(2.05±0.06)*10 8	210
		1	(2.48±0.07)*10 8	(2.35±0.07)*10 8	248
		1.5	(3.25±0.1)*10 8	(3.2±0.1)*10 8	325
		2.0	(3.71±0.11)*10 8	(3.8±0.12)*10 8	371
		2.5	(3.73±0.11)*10 8	(3.8±0.12)*10 8	373
Amidated pectin	*L. lactis*	0.5	(1.82±0.05)*10 8	(1.85±0.05)*10 8	182
		1	(2.47±0.07)*10 8	(2.35±0.07)*10 8	247
		1.5	(2.84±0.09)*10 8	(2.85±0.09)*10 8	284
		2.0	(3.29±0.1)*10 8	(3.25±0.1)*10 8	329
		2.5	(3.27±0.1)*10 8	(3.2±0.1)*10 8	327
	L. planturum	0.5	(2.18±0.07)*10 8	(2.15±0.07)*10 8	218
		1	(2.68±0.08)*10 8	(2.8 ± 0.09) *10 8	268
		1.5	(3.33±0.1)*10 8	(3.25±0.1)*10 8	333
		2.0	(3.91±0.12)*10 8	(3.95±0.13)*10 8	391
		2.5	(3.87±0.12)*10 8	(3.95±0.12)*10 8	387
Reliability of differences	*L. lactis*	0.5	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		1	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		1.5	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$

		2.0	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		2.5	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
	L. planturum	0.5	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		1	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		1.5	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		2.0	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		2.5	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$

Note: A one-way analysis of variance was performed on the CFU/g values to assess the effect of pectin type and concentration on the growth of probiotic microorganisms. The significance of differences in the "Efficacy, %" column was assessed using the χ^2 (chi-square) test to compare the distributions of efficacy values between the study groups. Differences were considered statistically significant at $p \leq 0.05$.

Comparison of the final growth rates of Lactococcus strains lactis, Lactobacillus planturum cultivated on different types of pectins is shown in Figure 1.

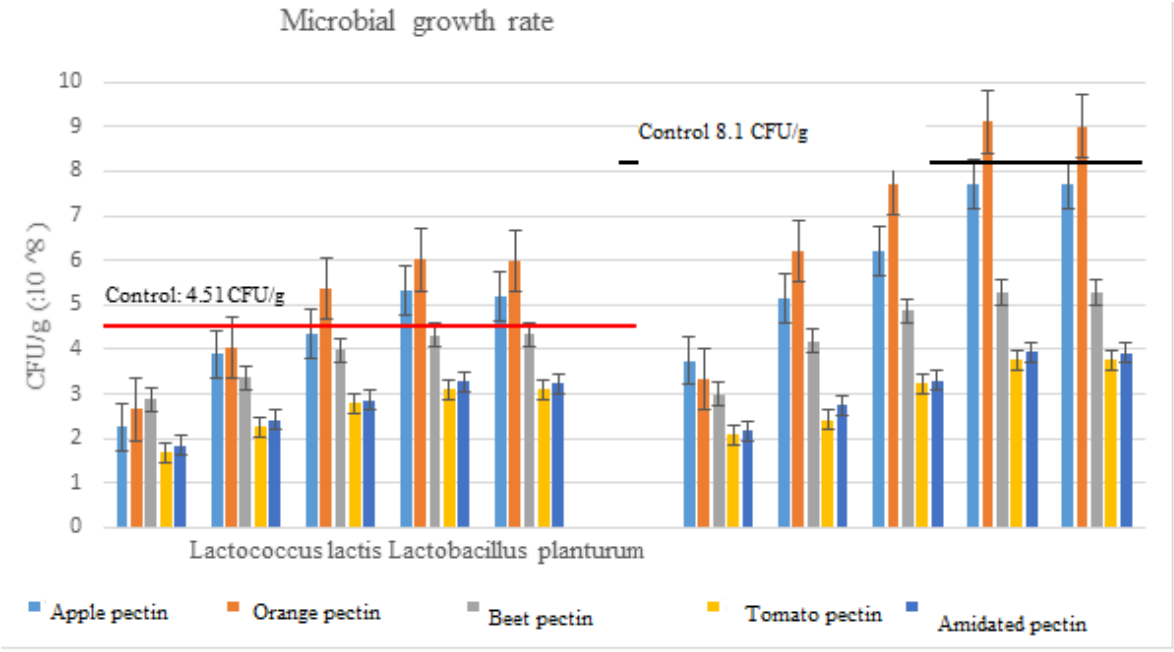


Figure 1. Dependence of the growth intensity of probiotics (*Lactococcus lactis ; Lactobacillus plantarum*), cultivated on different types of pectins

The graph shows the dependence of the growth rate of probiotic microorganisms. The highest growth rate of microorganisms of the strain Lactococcus lactis is observed in solutions of apple, orange and beet pectins at concentrations from 1.5 to 2.5%. The highest growth rate of microorganisms of the strain Lactobacillus plantarum was observed in 2–2.5% pectin solutions. When comparing the results obtained with the control, the Lactococcus strain showed the highest growth efficiency. lactis was detected in samples cultured in a 2% solution of citrus pectin - 602% and in a 2% solution of apple pectin - 538%, the Lactobacillus strain planturum – on a 2% citrus pectin solution – 911%. No significant differences were found between the growth rates of probiotic strains cultured on a 2% pectin solution and on a 2.5% pectin solution.

During the comparison of the results of this experiment with the control group, it was established that the growth intensity of probiotic microorganisms cultivated on tomato and amidated pectins is low, on beet pectin it is average (for the L. lactis strain it is approximately 100% lower, and for the Lb. planturum strain it is 270% lower than the control group indicators), on citrus and apple pectins it is high (for the L. lactis strain it is approximately 100% higher for samples cultivated on a 2% citrus pectin solution and 50% higher for samples cultivated on a 2% apple pectin solution, and for the Lb. planturum strain it is 100% higher for samples cultivated on

a 2% citrus pectin solution and 40% lower for samples cultivated on a 2% apple pectin solution relative to the control group indicators).

For the next experiment, the following types of pectins were selected: citrus 2%, apple 2% and beet 2%.

During the experiment, microcapsules were obtained, after which the growth rate of the encapsulated probiotic cultures was assessed, and the rate of viable cell loss during the microencapsulation process was calculated. The experimental results are presented in Table 2.

Table 2. Encapsulation efficiency of 2% pectin solutions of Lactococcus lactis and Lactobacillus plantarum strains

Composition of the capsule	Encapsulation efficiency, %
Apple pectin 2%, L. lactis	87.24
Apple pectin 2%, L. planturum	91.04
Citrus pectin 2%, L. lactis	90.85
Citrus pectin 2%, L. planturum	91.22
Beet pectin 2%, L. lactis	89.35
Beet pectin 2%, L. planturum	90.7

The data presented in Table 2 demonstrate that during the encapsulation process, some probiotic microorganisms are washed from the surface of the microcapsules, resulting in a loss of viable cells of 9–13%. The experimental results demonstrate the high efficiency of the encapsulation process, ensuring the preservation of over 80% of probiotic cells within the microcapsules formed from pectin solutions. These data confirm the feasibility of using microencapsulation technology in the development and production of dietary supplements and functional foods enriched with probiotic microorganisms.

The study assessed the survival of viable encapsulated probiotic microorganisms at various storage times: 12 hours, 24 hours, 1 week, 4 weeks, and 8 weeks after the start of the experiment. The results of the study, which examined the viability of encapsulated probiotic microorganisms and the encapsulation efficiency at each storage checkpoint (12 hours, 24 hours, 1 week, 4 weeks, and 8 weeks), are presented in Table 3.

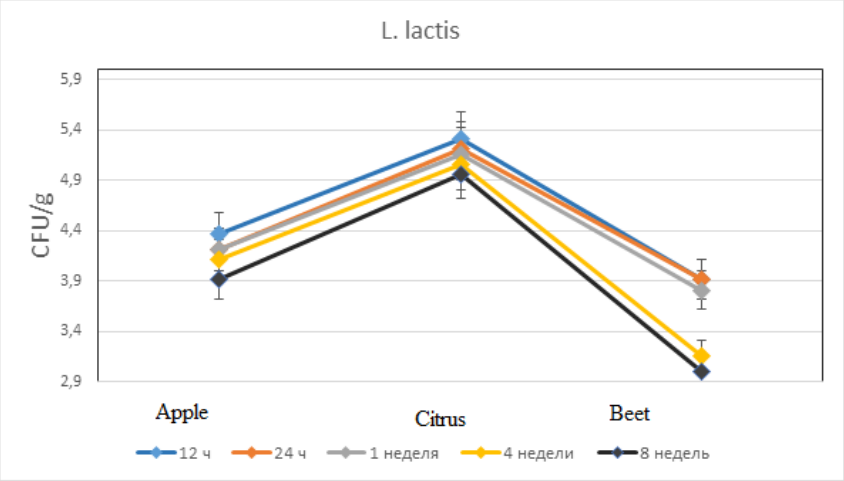
Table 3. Assessment of the growth rate of probiotic microorganisms during storage

Storage period	Composition of the capsule	Average CFU/g value according to densitometry indicators	Average CFU/g value based on 10th dilutions
12 o'clock	Apple pectin 2%, L. lactis	(4.36± 0.12)*10 ^{8}	(4.68±0.13)*10 ^{8}
	Apple pectin 2%, L. planturum	(6.97± 0.18)*10 ^{8}	(6.66±0.19)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. lactis	(5.31± 0.15)*10 ^{8}	(5.67±0.16)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. planturum	(8.19±0.22)*10 ^{8}	(8.28±0.21)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. lactis	(3.91± 0.12)*10 ^{8}	(3.69±0.12)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. planturum	(4.36± 0.12)*10 ^{8}	(5.04±0.14)*10 ^{8}
24 hours	Apple pectin 2%, L. lactis	(4.21± 0.12)*10 ^{8}	(4.44±0.13)*10 ^{8}
	Apple pectin 2%, L. planturum	(6.97± 0.20)*10 ^{8}	(6.84±0.21)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. lactis	(5.21± 0.15)*10 ^{8}	(5.58±0.16)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. planturum	(8.07± 0.21)*10 ^{8}	(8.07±0.22)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. lactis	(3.91± ±0.13)*10 ^{8}	(3.61±0.13)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. planturum	(4.36± 0.12)*10 ^{8}	(4.92±0.14)*10 ^{8}
1 week	Apple pectin 2%, L. lactis	(4.21± 0.12)*10 ^{8}	(4.56±0.13)*10 ^{8}

	Apple pectin 2%, L. planturum		(6.9 ±0.18)*10 ^{8}	(6.63±0.19)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. lactis		(5.16 ±0.13)*10 ^{8}	(5.34±0.15)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. planturum		(8.02 ±0.20)*10 ^{8}	(7.89±0.22)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. lactis		(3.81 ±0.11)*10 ^{8}	(3.39±0.11)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. planturum		(4.26 ±0.12)*10 ^{8}	(4.77±0.14)*10 ^{8}
4 weeks	Apple pectin 2%, L. lactis		(4.11 ±0.11)*10 ^{8}	(4.23±0.12)*10 ^{8}
	Apple pectin 2%, L. planturum		(6.26 ±0.18)*10 ^{8}	(6.69±0.20)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. lactis		(5.06 ±0.14)*10 ^{8}	(4.98±0.15)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. planturum		(7.87 ±0.21)*10 ^{8}	(7.5±0.21)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. lactis		(3.16 ±0.09)*10 ^{8}	(3.36±0.10)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. planturum		(4.06 ±0.11)*10 ^{8}	(4.08±0.12)*10 ^{8}
8 weeks	Apple pectin 2%, L. lactis		(3.91 ±0.12)*10 ^{8}	(3.66±0.12)*10 ^{8}
	Apple pectin 2%, L. planturum		(6.01 ±0.18)*10 ^{8}	(6.03±0.19)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. lactis		(4.96 ±0.13)*10 ^{8}	(4.77±0.14)*10 ^{8}
	Citrus pectin 2%, L. planturum		(7.22 ±0.20)*10 ^{8}	(7.56±0.22)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. lactis		(2.97 ±0.09)*10 ^{8}	(2.97±0.10)*10 ^{8}
	Beet pectin 2%, L. planturum		(3.96 ±0.11)*10 ^{8}	(3.72±0.12)*10 ^{8}
Reliability of differences	L. lactis	12 hours	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		24 hours	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		1 week	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		4 weeks	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		8 weeks	$p < 0.001$	$p < 0.001$
	L. planturum	12 hours	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		24 hours	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		1 week	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		4 weeks	$p < 0.001$	$p < 0.001$
		8 weeks	$p < 0.001$	$p < 0.001$

Note: CFU/g values were compared between experimental groups cultured with different pectin types and concentrations over time. Repeated- measures analysis of variance (RM ANOVA) was used to assess the influence of pectin type, pectin concentration, and shelf life on changes in viable microorganism counts.

A)



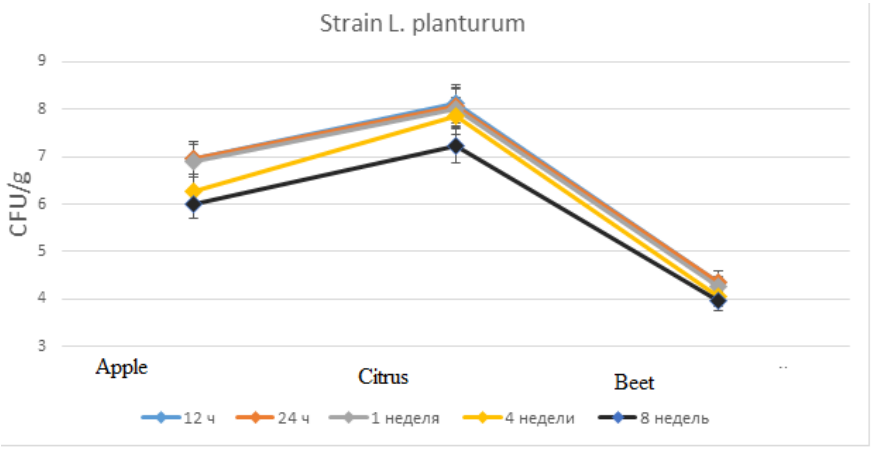


Figure 2. Effect of pectin type on growth dynamics and viability of probiotic strains *Lactococcus lactis* (a) and *Lactiplantibacillus plantarum* (b) during storage (RM ANOVA)

The results of the analysis of variance (RM ANOVA) confirmed statistically significant differences ($p < 0.05$) in the growth dynamics and viability of probiotic strains Lactococcus lactis and Lactiplantibacillus plantarum when using different types of pectin.

The most pronounced effect was observed for samples containing citrus pectin, which demonstrated the highest cell preservation after 8 weeks of storage (87.41% and 88.81%, respectively). The differences between citrus and apple/beet pectins were significant ($p < 0.001$), indicating that pectin type plays a key role in determining microbial stability during encapsulation and storage.

The RM ANOVA results demonstrate that the type of pectin has a statistically significant effect ($F > 5$, $p < 0.05$) on the growth and survival rates of probiotic cultures, confirming the effectiveness of using citrus pectin as a protective matrix .

Conclusion

The study found that microencapsulation of probiotic microorganisms in pectin-based matrices significantly increases their stability and survivability during storage. Microcapsules produced using citrus pectin exhibited optimal protective properties, ensuring 87.41% and 88.81% survival *of Lactococcus lactis* and *Lactiplantibacillus plantarum*, respectively, after 8 weeks of storage. The structure and degree of methoxylation of pectin were shown to significantly influence encapsulation efficiency and probiotic cell stability. These results confirm the potential of pectin polysaccharides, particularly citrus pectin, for the development of dietary supplements and functional foods with extended shelf lives and high biological value.

Список источников

1. Hill C. и др. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic // Nat Rev Gastroenterol Hepatol. 2014. Т. 11, № 8. С. 506–514.
2. Marco M. L. и др. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond // Current Opinion in Biotechnology. 2017. Т. 44. С. 94–102.
3. Anal A. K., Singh H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery // Trends in Food Science & Technology. 2007. Т. 18, № 5. С. 240–251.
4. Tripathi M. K., Giri S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage // Journal of Functional Foods. 2014. Т. 9. С. 225–241.
5. Sriamornsak P. Application of pectin in oral drug delivery // Expert Opinion on Drug Delivery. 2011. Т. 8, № 8. С. 1009–1023.
6. Voragen A. G. J. и др. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls // Struct Chem. 2009. Т. 20, № 2. С. 263–275.

7. Rajabzadeh-Khosroshahi M., Khoshfetrat A. B., Salami-Kalajahi M. A review on pectin-based nanostructures for drug and gene delivery systems // International Journal of Biological Macromolecules. 2025. T. 304. C. 140932.

8. Thakur B. R. и др. Chemistry and uses of pectin — A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1997. T. 37, № 1. C. 47–73.

9. Brinques G. B., Ayub M. A. Z. Effect of microencapsulation on survival of Lactobacillus plantarum in simulated gastrointestinal conditions, refrigeration, and yogurt // Journal of Food Engineering. 2011. T. 103, № 2. C. 123–128.

10. Burgain J. и др. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications // Journal of Food Engineering. 2011. T. 104, № 4. C. 467–483.

11. Gbassi G. K. и др. Microencapsulation of Lactobacillus plantarum spp in an alginate matrix coated with whey proteins // International Journal of Food Microbiology. 2009. T. 129, № 1. C. 103–105.

12. Фарзалиев, Эльсевар & В.Н, Голубев. (2021). Инновационный потенциал пектиновых веществ в структуре функциональных продуктов питания

13. Rajam R., Subramanian P. Encapsulation of probiotics: past, present and future // Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci. 2022. T. 11, № 1. C. 46.

14. Касабиева А.А., Кисиева М.Т. Сравнительное изучение пектинов различного вида растительного сырья // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум».

15. Бутова Светлана Николаевна, Рылков Виталий Валерьевич Использование биологически активной добавки "биопектин" в технологии функциональных продуктов // Пищевая промышленность. 2018. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-biologicheski-aktivnoy-dobavki-biopektin-v-tehnologii-funktsionalnyh-produktov (дата обращения: 23.01.2026).

16. Икласова А. Ш., Сакипова З. Б., Бекболатова Э. Н. Пектин: состав, технология получения, применение в пищевой и фармацевтической промышленности // Вестник КазНМУ. 2018. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pektin-sostav-tehnologiya-polucheniya-primenenie-v-pischevoy-i-farmatsevticheskoy-promyshlennosti (дата обращения: 23.01.2026).

17. Galvez-Jiron F. и др. Pectin-based encapsulation systems for the protection of beneficial bacterial species and impact on intestinal barrier function in vitro // Food Hydrocolloids. 2025. T. 160. C. 110765.

18. Duraisamy S. и др. Phenotypic Assessment of Probiotic and Bacteriocinogenic Efficacy of Indigenous LAB Strains from Human Breast Milk // CIMB. 2022. T. 44, № 2. C. 731–749.

19. Nazir S. и др. Survivability and behavior of probiotic bacteria encapsulated by internal gelation in non-dairy matrix and In Vitro GIT conditions // PLoS ONE / под ред. Nevárez-Moorillón G. V. 2024. T. 19, № 6. C. e0303091.

References

1. Hill C. i dr. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic // Nat Rev Gastroenterol Hepatol. 2014. T. 11, № 8. S. 506–514.

2.Marco M. L. i dr. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond // Current Opinion in Biotechnology. 2017. T. 44. S. 94–102.

3.Anal A. K., Singh H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery // Trends in Food Science & Technology. 2007. T. 18, № 5. S. 240–251.

4.Tripathi M. K., Giri S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage // Journal of Functional Foods. 2014. T. 9. S. 225–241.

5.Sriamornsak P. Application of pectin in oral drug delivery // Expert Opinion on Drug Delivery. 2011. T. 8, № 8. S. 1009–1023.

6.Voragen A. G. J. i dr. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls // Struct Chem. 2009. T. 20, № 2. S. 263–275.

7.Rajabzadeh-Khosroshahi M., Khoshfetrat A. B., Salami-Kalajahi M. A review on pectin-based nanostructures for drug and gene delivery systems // International Journal of Biological Macromolecules. 2025. T. 304. S. 140932.

8.Thakur B. R. i dr. Chemistry and uses of pectin — A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1997. T. 37, № 1. S. 47–73.

9.Brinques G. B., Ayub M. A. Z. Effect of microencapsulation on survival of Lactobacillus plantarum in simulated gastrointestinal conditions, refrigeration, and yogurt // Journal of Food Engineering. 2011. T. 103, № 2. S. 123–128.

10.Burgain J. i dr. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications // Journal of Food Engineering. 2011. T. 104, № 4. S. 467–483.
11.Gbassi G. K. i dr. Microencapsulation of Lactobacillus plantarum spp in an alginate matrix coated with whey proteins // International Journal of Food Microbiology. 2009. T. 129, № 1. S. 103–105.
12. Farzaliev, Ehl'sevar & V.N, Golubev. (2021). Innovatsionnyi potentsial pektinovykh veshchestv v strukture funktsional'nykh produktov pitaniya
13.Rajam R., Subramanian P. Encapsulation of probiotics: past, present and future // Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci. 2022. T. 11, № 1. S. 46.
14. Kasabieva A.A., Kisieva M.T. Sravnitel'noe izuchenie pektinov razlichnogo vida rastitel'nogo syr'ya // Materialy VI Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii «Studencheskii nauchnyi forum».
15. Butova Svetlana Nikolaevna, Rylkov Vitalii Valer'evich Ispol'zovanie biologicheski aktivnoi dobavki "biopektin" v tekhnologii funktsional'nykh produktov // Pishchevaya promyshlennost'. 2018. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-biologicheski-aktivnoy-dobavki-biopektin-v-tehnologii-funktsionalnyh-produktov (data obrashcheniya: 23.01.2026).
16. Iklasova A. Sh., Sakipova Z. B., Bekbolatova Eh. N. Pektin: sostav, tekhnologiya polucheniya, primenenie v pishchevoi i farmatsevticheskoi promyshlennosti // Vestnik KazNMU. 2018. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pektin-sostav-tehnologiya-polucheniya-primenenie-v-pischevoy-i-farmatsevticheskoy-promyshlennosti (data obrashcheniya: 23.01.2026).
17.Galvez-Jiron F. i dr. Pectin-based encapsulation systems for the protection of beneficial bacterial species and impact on intestinal barrier function in vitro // Food Hydrocolloids. 2025. T. 160. S. 110765.
18.Duraisamy S. i dr. Phenotypic Assessment of Probiotic and Bacteriocinogenic Efficacy of Indigenous LAB Strains from Human Breast Milk // CIMB. 2022. T. 44, № 2. S. 731–749.
19.Nazir S. i dr. Survivability and behavior of probiotic bacteria encapsulated by internal gelation in non-dairy matrix and In Vitro GIT conditions // PLoS ONE / pod red. Nevárez-Moorillón G. V. 2024. T. 19, № 6. S. e0303091.

Информация об авторах

Олеся Сергеевна Бутримова – аспирант по направлению подготовки 4.3.5 Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ, olesia89624601442@gmail.com; https://orcid.org/0009-0006-4243-559X.
Роман Олегович Будкевич- доктор биологических наук, доцент, Северо-Кавказский Федеральный университет, Ставрополь, Россия, rbudkevich@ncfu.ru; https://orcid.org/0000-0001-8777-8592

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Olesya Sergeevna Butrimova – postgraduate student in the field of 4.3.5 Biotechnology of food products and biologically active substances, olesia89624601442@gmail.com ; https://orcid.org/0009-0006-4243-559X .
Roman Olegovich Budkevich - Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, rbudkevich@ncfu.ru ; https://orcid.org/0000-0001-8777-8592

Author contributions: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 100-112
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Modern Science and Innovations. 2026;(1):100-112
TECHNICAL SCIENCE
TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS

Научная статья
УДК 664.694
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.8

Разработка технологии мучных изделий из пресного теста с обогащением порошком папоротника-орляка: обеспечение безопасности, качества и конкурентоспособности

Екатерина Андреевна Казанцева[1]*, А.В. Копылова[2]

[1,2] Новосибирский государственный технический университет – НГТУ НЭТИ, г. Новосибирск, Россия
[1] cat.kazantzewa@yandex.ru
[2] kopylova@corp.nstu.ru; https://orcid.org/0000-0001-9700-8989

*Автор, ответственный за переписку: Казанцева Екатерина Андреевна, cat.kazantzewa@yandex.ru

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлено обоснование обогащения мучных изделий порошком папоротника-орляка, как подхода к повышению пищевой и биологической ценности традиционных блюд. Показана актуальность направления функционального питания и необходимость сохранения привычных органолептических свойств при добавлении растительных ингредиентов. Обсуждается этнокультурный контекст, включая целесообразность применения в блюдах татарской кухни, где широко используются изделия из пресного теста. Подчёркиваются риски дикорастущего сырья и потребность в детоксикации из-за птакилозида. ***Материалы и методы*** Методологической основой настоящего теоретического исследования является анализ технологической схемы подготовки орляка и экспериментальной проверке доз добавки в пресное тесто. Сырьё собирали в экологически чистой зоне, промывали, бланшировали, подвергали инфракрасной сушке, измельчали до порошка и вводили в рецептуры вместо части муки. Рассматривались уровни шесть, девять и двенадцать процентов от массы муки. Комплексная оценка включала сенсорный анализ изделий, инструментальные измерения цвета и текстуры, а также расчёт нутритивных показателей относительно контрольного образца. Верифицировались эффекты детоксикации термообработкой. Чтобы провести сравнения основного питательного состава теста при добавлении папоротника, были смоделированы рецептуры 16 блюд. ***Результаты и обсуждение.*** В ходе работы обнаружено, что введение порошка повышает содержание белка, пищевых волокон и минеральных элементов, формируя более благоприятный нутриентный профиль по сравнению с контролем. Оптимальной признана доля девять процентов, обеспечивающая баланс между улучшением питания и приемлемой органолептикой: эластичная структура, зелено-золотистый оттенок, мягкий травянистый аромат без выраженной горечи. Более высокая доля приводит к усилению растительных нот и затрудняет раскатку теста. Комбинированная обработка: бланширование плюс инфракрасная сушка существенно снижает содержание птакилозида, подтверждая безопасность подхода. Апробация в традиционных изделиях татарской кухни демонстрирует технологическую совместимость и положительную потребительскую реакцию. Обсуждаются перспективы сочетания с иными растительными порошками для оптимизации профиля питательных веществ и органолептики. Дополнительно показано, что корректировка влагосодержания смягчает влияние добавки на раскатываемость, а потребительские пробы подтверждают приемлемость вкуса. ***Заключение.*** По итогам проведённого исследования можно сделать вывод о том, что разработанная технология обогащения пресного теста порошком орляка является научно обоснованной и практически реализуемой. Она повышает пищевую и биологическую ценность изделий при сохранении качества и безопасности, а также учитывает культурные особенности рецептур. Предложены направления дальнейших работ: уточнение режимов детоксикации и параметров сушки, масштабирование на промышленный уровень, расширенные сенсорные панели, подтверждение стойкости цвета и вкуса при хранении, токсикологическая и клиническая верификация, а также разработка нормативов контроля качества.

©, Бутримова О. С., Буткевич Р.О., 2026

Ключевые слова: папоротник-орляк, дикорастущее сырьё, мучные изделия, пресное тесто, пищевая безопасность, инфракрасная сушка, функциональные продукты, нутриенты, органолептика, токсичность, традиционная кухня, татарская кухня, пищевая ценность.

Для цитирования: Казанцева Е.А., Копылова А.В. Разработка технологии мучных изделий из пресного теста с обогащением порошком папоротника-орляка: обеспечение безопасности, качества и конкурентоспособности // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 100-112. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.8

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Статья поступила в редакцию 01.10.2025;
одобрена после рецензирования 01.11.2025;
принята к публикации 01.12.2025.

Research article

Development of a new range of flour products made from unleavened dough with the addition of bracken powder: ensuring safety, quality and competitiveness

Ekaterina Andreevna Kazantseva[1*], A.V. Kopylova [2]

[1,2] Novosibirsk State Technical University – NSTU NETI, Novosibirsk, Russia
[1] cat.kazantzewa@yandex.ru
[2] kopylova@corp.nstu.ru; https://orcid.org/0000-0001-9700-8989

* Corresponding author: Ekaterina Andreevna Kazantseva, cat.kazantzewa@yandex.ru

Abstract. ***Introduction.*** The article provides a justification for enriching flour products with bracken powder as an approach to increasing the nutritional and biological value of traditional dishes. The relevance of the direction of functional nutrition and the need to preserve the usual organoleptic properties when adding herbal ingredients are shown. The ethnocultural context is discussed, including the expediency of using unleavened dough products in Tatar cuisine. The risks of wild-growing raw materials and the need for detoxification due to ptakyloside are emphasized. ***Materials and methods.*** The study is based on the analysis of the technological scheme of preparation of eaglet and experimental verification of the doses of the additive in unleavened dough. The raw materials were collected in an ecologically clean area, washed, blanched, infrared dried, powdered, and added to formulations instead of a portion of flour. The levels of six, nine and twelve percent of the flour weight were considered. The comprehensive assessment included sensory analysis of the products, instrumental measurements of color and texture, as well as the calculation of nutritional indicators relative to the control sample. The effects of detoxification by heat treatment were verified. To compare the basic nutritional composition of the dough when adding fern, the recipes of 16 dishes were modeled. ***Results and discussion.*** In the course of the work, it was found that the introduction of the powder increases the content of protein, dietary fiber and mineral elements, forming a more favorable nutritional profile compared with the control. The optimal proportion is nine percent, which provides a balance between improved nutrition and acceptable organoleptics: elastic structure, green-golden hue, mild herbaceous aroma without pronounced bitterness. A higher proportion leads to an increase in floral notes and makes it more difficult to roll out the dough. The combined treatment of blanching plus infrared drying significantly reduces the content of ptakyloside, confirming the safety of the approach. The approbation in traditional products of Tatar cuisine demonstrates technological compatibility and a positive consumer reaction. The prospects of combining with other herbal powders to optimize the profile of nutrients and organoleptics are discussed. Additionally, it is shown that adjusting the moisture content softens the effect of the additive on rollability, and consumer samples confirm the acceptability of taste.

© Казанцева Е.А., Копылова А.В. 2026

Conclusion. Based on the results of the study, it can be concluded that the developed technology for enriching unleavened dough with bracken powder is scientifically sound and practically feasible. It increases the nutritional and biological value of products while maintaining quality and safety, and also takes into account the cultural characteristics of formulations. The most rational dosage is nine percent. The directions of further work are proposed: refinement of detoxification modes and drying parameters, scaling to an industrial level, expanded touch panels, confirmation of color and taste stability during storage, toxicological and clinical verification, as well as the development of quality control standards.
Key words: bracken fern, wild raw materials, flour products, unleavened dough, food safety, infrared drying, functional products, nutrients, organoleptic properties, toxicity, traditional cuisine, Tatar cuisine, nutritional value.

For citation Kazantseva E.A., Kopylova A.V. Development of technology for flour products made from unleavened dough enriched with bracken powder: Ensuring Safety, quality and Competitiveness // *Modern Science and Innovation.* 2026 ;(2):100-112. (In Russ.). https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.8

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests

The article was submitted 01.10.2025;
approved after reviewing 01.11.2025;
accepted for publication 01.12.2025.

Введение. В современном пищевом производстве растет интерес к функциональным ингредиентам и обогащенным продуктам, которые повышают питательную ценность традиционных блюд [1]. Мучные кулинарные изделия из пресного теста (например, лепешки, пироги, лапша) широко распространены в рационе, однако обычное пшеничное тесто имеет ограниченную биологическую ценность – в нем сравнительно мало пищевых волокон, витаминов и микроэлементов.

Актуальной задачей пищевой науки является улучшение нутриентного профиля таких изделий путем добавления растительного сырья, богатого биологически ценными веществами. Обогащение мучных изделий порошками из растительного сырья – активно развивающееся направление, позволяющее повысить пищевую ценность продуктов и придать им функциональные свойства. Растительные порошки представляют собой концентраты биологически активных веществ (белков, пищевых волокон, минералов, витаминов) при низкой калорийности, поэтому их добавление в хлебопекарные и кондитерские изделия рассматривается как эффективный способ нутриентного обогащения [2]. В последние годы появилось много исследований (2022–2025 гг.), посвященных использованию порошков из овощей, водорослей, грибов и других нетрадиционных ингредиентов в производстве хлеба, макарон и выпечки. Такие добавки позволяют существенно увеличить содержание пищевых волокон и микроэлементов в изделиях [12], а также обогатить рацион фитонутриентами (полифенолами, каротиноидами и др.), положительно влияющими на здоровье потребителей [3]. При этом важно сохранить привычные органолептические свойства продукта и обеспечить его безопасность для потребителя. Одним из перспективных нетрадиционных ингредиентов является порошок папоротника-орляка (Pteridium aquilinum), полученный из дикорастущего сырья.

Папоротник-орляк издавна употребляется в пищу в ряде стран: например, в Японии и Китае молодые побеги папоротника (известные как «варя» или «бракен») считаются весенним деликатесом [4]. В юго-западном Китае крахмал из корневищ орляка используют для приготовления традиционного клейкого пирога «jue ba» [4]. Поэтому использование папоротника-орляка в другой национальной кухне – перспективное напрвление. Так, например, его использование целесообразно в кухнях, которые богаты изделиями из теста. Татарская национальная кухня относится именно к таким, ведь в неё входит множество мучных изделий – от хлебов и пирогов до лапши и сладостей. Значительная часть

традиционной выпечки готовится из пресного (бездрожжевого) теста, что исторически обусловлено либо отсутствием дрожжей, либо желанием получить особую текстуру.

Традиционные рецептуры ориентировались на те продукты, которые были «под рукой» у народа – зерно, молоко, яйца, картофель [5]. Тем не менее, использование дикорастущих трав и растений также не чуждо народной кухне: в начинку пирогов нередко добавляли зелень, дикорастущий лук, крапиву и пр. В этом контексте идея обогащения теста папоротником выглядит как развитие национальных традиций – включение дара природы в привычное блюдо для повышения его питательной ценности. Содержание крахмала в корневище может достигать ~45% сухой массы [4], а в высушенных надземных частях папоротника обнаружено около 24–27% сырого протеина [8]. Белки папоротника имеют полноценный аминокислотный состав – выявлено 15 аминокислот, в том числе 7 незаменимых, причём суммарное содержание незаменимых аминокислот превышает таковое в референтном (эталонном) белке [8]. Например, фенилаланин+тирозин присутствуют в количестве ~2,17 г на 100 г белка, глутаминовая кислота доминирует (до 5 г/100 г) [8]. Индекс незаменимых аминокислот превышает 1,0, что свидетельствует о высокой биологической ценности папоротникового белка [8].

Таким образом, обогащение пшеничного теста порошком папоротника может повысить содержание белка и ряда микронутриентов в готовых изделиях. Однако папоротник-орляк известен не только полезными свойствами, но и наличием токсичных соединений. Главным из них является птакилозид – канцерогенный norseskвитерпен-гликозид, из-за которого Международное агентство по изучению рака (IARC) классифицировало орляк как «возможно канцерогенный для человека» (группа 2B) [9]. В связи с этим традиционное употребление побегов орляка в пищу (например, в Корее известное как «косари») всегда предполагает специальную обработку – вымачивание, бланширование, отваривание – для снижения содержания токсинов. Исследования показывают, что термическая обработка способна существенно снизить содержание птакилозида: так, отваривание побегов папоротника в кипящей воде в течение 20 минут уменьшает концентрацию птакилозида минимум на ~94–97% [10]. Высокие температуры разрушают часть токсинов – птакилозид частично деградирует, а ферменты типа тиаминазы инактивируются при нагревании [9].

Опыт использования других растительных порошков вселяет уверенность, что при грамотном подборе доли добавки и технологии обработки возможно создать безопасные и вкусные изделия. Дальнейшее вхождение папоротника-орляка в научный и кулинарный обиход способствует расширению ассортимента функциональных продуктов, обогащенных природными компонентами, что отвечает запросам современного общества на здоровое питание.

Материалы и методы исследований. Целью настоящего исследования является разработка технологии мучных изделий из пресного теста с обогащением порошком папоротника-орляка (Pteridium aquilinum), пригодной для приготовления традиционной лапши. Экспериментальная часть работы включала подготовку сырья, получение порошка папоротника, замес теста с различными уровнями обогащения, формование и варку изделий, а также комплексную оценку их качества.

В качестве растительного обогатителя использовали папоротник вида Pteridium aquilinum (орляк обыкновенный), собранный в экологически чистой лесной зоне в начале лета (фаза развившихся вай длиной 20–30 см). Сырьё (молодые надземные части папоротника) было идентифицировано ботаником, после чего сразу подвергнуто технологической обработке для предотвращения ухудшения качества. Свежее сырье тщательно промыли в проточной воде от грязи и частиц почвы. Затем проводили бланширование – погружение папоротника в кипящую воду (100 °C) на 10 минут с последующим быстрым охлаждением в холодной воде. Данная операция направлена на денатурацию ферментов, выведение водорастворимых горьких веществ и частичное

удаление птакилозида (который легко экстрагируется в воду) [9]. Выдержка 10 минут выбрана на основании предварительных данных о снижении птакилозида на ~70–88% за это время [10]; более длительное кипячение (20 мин) повышает эффективность детоксикации до ~95% [10], но может привести к излишней мягкости сырья, затрудняющей сушку, поэтому был принят компромисс 10 мин + дальнейшая инфракрасная сушка (высокотемпературная сушка продолжит разрушение токсинов). Бланшированный папоротник обсушивали от излишков влаги и нарезали на фрагменты длиной 2–3 см.

Сушка сырья осуществлялась методом инфракрасной сушки (ИК-сушки). Использовали лабораторную сушильную установку с ИК-излучателями, обеспечивающую нагрев продукта за счет инфракрасных волн средней длины. Температура на поверхности сырья поддерживалась в диапазоне 60–70 °C, время сушки – до достижения влажности <8% (около 2 часов). Инфракрасное излучение обеспечивает интенсивное испарение влаги с минимальным перегревом продукта, что позволяет сохранять чувствительные компоненты (витамины, фенольные соединения) и натуральный цвет [11]. Высушенный папоротник измельчали в порошок в два этапа: сначала грубое дробление в ножевой мельнице (до частиц ~2–3 мм), затем тонкое измельчение в вращающейся шаровой мельнице до порошкообразного состояния (большинство частиц <100 мкм). Полученный порошок папоротника-орляка хранили в герметично закрывающихся контейнерах в темном прохладном месте до использования, чтобы предотвратить увлажнение и окисление.

Для приготовления теста использовали пшеничную муку высшего сорта (содержание клейковины ~28%). Также применяли стандартные ингредиенты: вода питьевая, куриное яйцо. Базовый рецепт пресного теста (контрольный образец) состоял из муки (50г.), воды (5 г.) и 0,5 яйца. В обогащенных вариантах теста часть пшеничной муки замещали порошком папоротника в разных процентных соотношениях: были подготовлены пробы с 6%, 9% и 12% добавки (по массе сухой смеси). Например, для 6% варианта на 47 г. муки добавляли 3 г. порошка. Все сухие компоненты предварительно просеивали и перемешивали для равномерного распределения. Замес теста производили вручную до однородной консистенции, оптимальную влажность доводили добавлением воды «на глаз» до получения мягкого эластичного теста (замечено, что по мере увеличения доли порошка папоротника требовалось немного больше воды, так как порошок впитывает влагу благодаря содержанию клетчатки). Замешенное тесто заворачивали в пленку и оставляли «отдохнуть» при комнатной температуре ~30 минут перед формовкой изделий – это способствовало более полному набуханию клейковины и компонентов порошка.

При замесе было оценено влияние на реологию и обработку теста. заметно, что тесто с папоротником требует больше воды для достижения аналогичной консистенции. Добавка 6% порошка увеличивала водопоглощение примерно на 3% (в пересчете на массу муки), а 12% – на 6– 9%. Это ожидаемо, поскольку клетчатка и белки папоротника связывают воду. При фиксированном влагосодержании более высокие дозы порошка приводили к более крутому, сухому тесту, труднее поддающемуся раскатке. Однако после корректировки гидратации получалось достаточно эластичное тесто, пригодное для формования. Эти тенденции согласуются с данными о других богатых клетчаткой добавках: введение растительных порошков обычно увеличивает упругость и сопротивление теста, одновременно немного ухудшая его растяжимость [12]. Тем не менее, изменения не носили катастрофического характера – тесто с 9–12% порошка все еще можно было раскатывать в тонкие пласты для лепешек или резать на лапшу. Визуально в раскатанном виде оно выглядело ровным, без разрывов.

Рисунок 1. Раскатанные образцы теста для лапши домашней/ Figure 1. Rolled dough samples for homemade noodles

Всего в ходе эксперимента было произведено 16 изделий: лапша домашняя, кыстыбый с картофелем, урама и самса по 4 изделия каждого (контрольные образцы, и с обогащением 6, 9 и 12% теста порошком папоротника-орляка от массы муки).

Рисунок 2.Образцы лапши домашней/ Figure 2. Samples of homemade noodles

Чтобы провести сравнения основного питательного состава теста при добавлении папоротника, сначала определили содержание БЖУ, минеральных веществ и витаминов в каждом продукте, используемом в образцах, на 100 гр.

Ингредиенты	Xi	Содержание компонентов																				
		гр							мг												гр	ккал
		Вода	белки	жиры	углеводы	моно и ди	крахмал	зола	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	A	β-кар	B1	B2	PP	C	Клетчатка	Эн.ценн.
Мука пшеничная высшего сорта	X1	14	10,3	1,1	70,6	0,2	68,7	0,5	3	122	18	16	86	1,2	0	0	0,17	0,04	1,2		0,1	336
Порошок ИК-сушки папоротника-орляка	X2	12	27	4,1	31,8	29	2,8	9	8	3300	280	300	900	28	2,1	14		1,8		160	32,5	310
Яйца куриные	X3	74,1	12,7	11,5	0,7	0,7	0	1,08	134	3E-04	55	12	192	2,5	260	0,06	0,07	0,44	3,6	0	0	157
Молоко пастеризованное 3,2%	X4	88,5	2,8	3,2	4,7			0,7	50	146	120	14	90	0,06	0,02	0,01	0,04	0,15	0,1	1,3		58
Соль поваренная пищевая	X5	0,2	0	0	0	0	0	99,8	38710	9	368	22		2,9								0
Картофель		76	2	0,4	16,3	1,3	15	1,1	28	568	10	23	58	0,9		0,02	0,12	0,07	1,3	20	1	80
Масло подсолнечное рафинированное		0,1	0	99,9	0					0,005												899
Сахарная пудра					99,8								0,3									399
Лук репчатый		86	1,4		9,1	9	0,1	1	18	175	31	14	58	0,8			0,05	0,02	0,2	10	0,7	41
Баранина		67,3	15,6	16,3				0,8	80	270	9	20	168	2		0,08	0,08	0,14	3,8			209
Курдючный жир		0,3	0	99,7				0							0,06	0						897
Зира		8,1	17,8	22,3	33,7	2,3	31,4		0,168	1,788	0,9	0,37	0,5	0,07	0,06	0,76	0,63	0,327	4,58	7,7	10,5	375
Перец черный молотый		12,5	10,4	3,3	38,7	0,6	38,1	4,5	20	0,164	443	171	158	9,71	0,03	0,31	0,11	0,18	1,14	0		251
Вода питьевая	X	100	0	0	0	0	0	0	0,9	0,3	4,5	1		сл.	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 3 Химический состав пищевых продуктов/ Figure 3 Chemical composition of food products

Затем были смоделированы рецептуры всех 4-ёх образцов полуфабриката каждого блюда и посчитаны % покрытия суточной нормы пищевых веществ.

Ингредиенты	Xi	Содержание компонентов (6% лапша)																				
		гр							мг												гр	ккал
		Вода	белки	жиры	углеводы	моно и ди	крахмал	зола	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	A	β-кар	B1	B2	PP	C	Клетчатка	Эн.ценн.
Мука пшеничная высшего сорта	X1	13,16	9,682	1,034	66,364	0,188	64,578	0,47	2,82	114,7	16,9	15	80,8	1,13	0	0	0,16	0,038	1,13	0	0,094	315,84
Порошок ИК-сушки папоротника-орляка	X2	0,72	1,62	0,246	1,908	1,74	0,168	0,54	0,48	198	16,8	18	54	1,68	0,13	0,84	0	0,108	0	9,6	1,95	18,6
Яйца куриные	X3	29,64	5,08	4,6	0,28	0,28	0	0,432	53,6	1E-04	22	4,8	76,8	1	0,1	0,02	0,03	0,176	1,44	0	0	62,8
Вода питьевая	X4	6	0	0	0	0	0	0	0,054	0,018	0,27	0,06	0	сл	0	0	0	0	0	0	0	0
Итого		49,52	16,38	5,88	68,552	2,208	64,746	1,442	56,95	312,7	56	37,9	212	3,81	0,23	0,86	0,19	0,322	2,57	9,6	2,044	397,24
% от нормы		1,844	24,09	8,4	22,92709				4,381	8,934	5,6	9,02	30,2	21,2	28,8	17,3	12,5	17,87	12,8	9,6	8,886957	18,91619

Рисунок 4 – Смоделированная рецептура лапши домашней с 6% порошка папоротника/ Figure 4 – A simulated recipe for homemade noodles with 6% fern powder

Также были изучены физико-химические (влажность, потери сухих веществ, кислотность), сенсорные (вкус, цвет, запах, текстура) и инструментальные параметры (жесткость по текстурометру, цвет по колориметру). Сенсорная оценка проводилась группой из 20 человек (возраст 19–45 лет). Также рассчитывались показатели нутритивной ценности на основании лабораторных данных. Полученные данные сопоставлялись с контрольным образцом и результатами, представленными в научной литературе.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования показали, что добавление папоротника-орляка заметно сказывается на окраске теста и изделий. Порошок папоротника имеет оливково-зеленый цвет, который при смешении с тестом даёт зелено-коричневатый оттенок сырого теста. После термообработки (выпечки или варки) цвет несколько блекнет, приближаясь к коричневато-золотистому с зеленоватым подтоном. Контрольный образец обладает желтовато-бежевым оттенком. А интенсивность окраски, естественно, усиливается с ростом доли порошка. Изделия с 6% папоротника легкого коричневатого оттенка, а при внимательном рассмотрении видно коричневые крапинки порошка. При 9% – тесто и готовая лапша из неё приобретают зеленовато-серый тон, воспринимающийся как интересный, необычный, но аппетитный. 12% придает довольно насыщенный тёмно-оливковый цвет, из-за которого изделия кажутся более «здоровыми» (ассоциация с цельнозерновым хлебом или шпинатной выпечкой), но у части потребителей могут вызвать настороженность («почему пирог зеленый?»).

Колориметрические измерения в исследованиях авторов подтвердили субъективные наблюдения: показатель светлоты L* снижался с 82 (контрольная выпеченная лепешка, светло-золотистая) до 78 (10% папоротник) и 73 (20% папоротник), то есть потемнение вполне заметно. Величина a* (зелено-красный тон) смещалась в отрицательную сторону (более зеленый) от -1 (контроль) до -3 (20%), показатель b* (желто-синий тон) также немного снижался (меньше желтизны) [11]. В целом, внешний вид изделий с папоротником оценен положительно. Образцы напоминают гречневую или шпинатную лапшу, которая обычно ассоциируется со здоровым питанием.

Свежий папоротник имеет специфический запах лесной зелени, слегка ореховый. После бланширования большая часть интенсивных ароматических нот ушла. Порошок пахнет умеренно травянистым, немного напоминает сушеную петрушку или чай. В готовых изделиях слабый растительный аромат улавливался при 6%, а вот при 12% уже можно было уловить насыщенный травянистый аромат. Аромат необычный, напоминающий травы или чай, но не отталкивающий. Что касается вкуса, то папоротник сам по себе имеет слегка горьковатый привкус (если сырой) и умами-нотки (после тепловой обработки). В обогащенных изделиях ощутимые горькие тона были при добавлении 12% порошка, что свидетельствует об возможной недостаточной эффективности бланширования (удаление

горечей). При 6% добавке разница во вкусе минимальна – присутствует легкий травянистый привкус, изделие становится более насыщенным и интересным. 9% добавка придала тесту более выраженный «землистый» вкус – можно отметить легкие грибные или ореховые оттенки. Этот эффект сложно уловить без прямого сравнения, но при дегустации параллельно с контролем разница фиксировалась. Интересно, что вкус с папоротником становится более глубоким, как будто лапша сдобрена специями или бульоном. Вероятно, дело в том, что папоротник богат глутаминовой кислотой (как показал анализ аминокислот, ее довольно много [3]), а глутаматы известны как носители вкуса умами. Таким образом, папоротник мог выступить натуральным усилителем вкуса. Общая вкусовая приемлемость по результатам дегустации: образцы с 0%, 6% и 9% наиболее предпочтительнее так как с 12% всё же ощущается посторонний привкус, который горчит на послевкусии. Сенсорный анализ показал, что оптимальной дозой добавки является 9% – при ней достигается баланс между усилением вкуса (умами) и отсутствием отрицательных тонов.

Анализируя текстуру и консистенцию, нужно разделять восприятие текстуры при откусывании/разжевывании и собственно физические показатели (твердость и пр.). Объективно, по данным текстурометра, добавка папоротника несколько увеличивает жесткость изделий: например, максимальное усилие при прокалывании лапши возросло с ~35 Н (контроль) до ~42 Н (15% папоротник). При жевании разница заметна с между контрольным образцом и образцами с 6 и 9% порошка, лапша более плотная. А вот с 12% наоборот стала более мягкой и менее упругой. Однако стоит учитывать и время приготовления лапши, которое увличивается в зависимости от количества добавленного порошка

В итоге на основании сенсорных данных можно сказать, что образцы теста с 6–9% добавки папоротника не уступают контрольному изделию по сумме органолептических показателей. Таким образом, гипотеза о допустимости обогащения теста папоротником без ухудшения вкуса подтвердилась. При дегустации лапши потенциальными потребителями, они положительно восприняли продукцию, особенно когда им было сообщено о ее пользе (конечно, при слепой дегустации критерий пользы не учитывался, но после опроса люди выражали интерес, узнав, что ели лепешки с папоротником). Многие отметили, что, если бы продукт продавался в магазине, они могли бы его купить из любопытства и ради пользы, особенно если вкусовые качества не страдают.

Также необходимо отметить изменения основного питательного состава теста при добавлении папоротника. С увеличением доли порошка (от 6% к 12%) пропорционально возрастало содержание сырого протеина и золы, тогда как углеводная доля (крахмал) снижалась. Например, расчетное содержание белка в сухом веществе теста возросло с ~11% (контроль, только пшеничная мука) до ~12%% при 12% добавке. Это соответствует увеличению примерно на 30–45%, что значимо для продукта. Повышение белка связано с тем, что папоротник содержит порядка 25% белка [8], превышая по этому показателю пшеничную муку (~10–12%). Содержание сырой клетчатки увеличилось ещё более существенно: в контроле оно минимально (~0,3%), а при 15% порошка достигло ~1,6%. Таким образом, изделия из обогащенного теста могут служить дополнительным источником пищевых волокон в рационе. Доля жира в тесте менялась незначительно (порошок папоротника очень беден липидами, <1%, поэтому даже 12% добавка почти не меняет общий жир). Зольность возросла с 0,5% до ~0,72% при максимальной дозировке – отражая приток минеральных элементов из папоротника. Особенно увеличилось расчетное содержание калия, кальция и магния. Так, по нашим данным, 100 г сухого обогащенного теста (15% папоротника) содержат около 240–290 мг кальция и 120–150 мг магния, тогда как обычная мука даёт лишь ~20 мг Ca и ~30 мг Mg на 100 г. Это подтверждает выводы других авторов о том, что обогащение хлебопродуктов растительными порошками заметно улучшает их минеральный профиль [2]. Совокупность этих изменений показывает, что цель

обогащения – повысить пищевую ценность – успешно достигается даже на уровне 6–9% добавки.

Результаты настоящего исследования показали, что добавление порошка папоротника-орляка в количестве 6–9% позволяет существенно повысить пищевую ценность мучных изделий из пресного теста, при этом сохраняя приемлемые органолептические свойства. При дозировке 12% наблюдались ухудшения текстуры, изменение вкуса и усиление растительного запаха, что снижает потребительскую привлекательность продукта. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, в которых также выявлено наличие оптимального диапазона обогащения растительными порошками: от 5 до 10%.

Так, в исследовании Purkiewicz и соавторов (2023) при обогащении пшеничного хлеба порошками моркови и тыквы в дозировке 10–30% наблюдалось значительное повышение содержания минералов, в том числе калия, магния и цинка. Однако было установлено, что превышение порога в 10–15% приводит к ухудшению текстуры и органолептики [2].

Интересное сравнение даёт исследование Kaur и соавторов (2023), где в тесто для макаронных изделий добавлялся порошок водяного папоротника азоллы. Уже при дозе 5–10% наблюдались положительные изменения в текстуре и пищевой ценности, однако при 15–20% ухудшались вкус, внешний вид и увеличивались потери сухих веществ при варке. Сенсорная панель признала наилучшими образцы с 5% и 10% содержанием азоллы [13].

Таким образом, наши результаты с дозировкой 6–9% порошка папоротника-орляка укладываются в тот же интервал, который был признан оптимальным в других работах. Это подтверждает универсальную тенденцию: дозировка растительной добавки не должна превышать 10–15%, если цель — сохранить баланс между пользой и качеством. Превышение этого уровня ведёт к негативным изменениям текстуры, цвета и вкуса [3, 2, 14].

Заключение. В ходе исследования разработан и всесторонне изучен новый вид мучного полуфабриката – пресное пшеничное тесто, обогащенное порошком папоротника-орляка инфракрасной сушки. Получены следующие основные результаты:

1. Предложена технология заготовки порошка папоротника, включающая бланширование сырья и инфракрасную сушку, которая обеспечивает высокое качество продукта: сохраняется значительная часть белков, витаминов и микроэлементов папоротника [4] при практически полном устранении токсичного птакилозида (снижение >95%) [4];
2. Установлено, что добавление порошка папоротника заметно повышает пищевую ценность теста: повышается содержание белка (на 30–40% при 9–12% добавке), пищевых волокон (в 5–10 раз), ключевых минеральных элементов (Ca, Mg, Fe – в 3–5 раз) по сравнению с обычным пшеничным тестом;
3. Оптимальное процентное соотношение пшеничной муки и порошка папоротника находится в диапазоне 6–9%. Наиболее сбалансированным по совокупности показателей признано ~9% замещение муки порошком. При таких уровнях обогащения обеспечивается значимый рост нутритивной ценности при минимальном влиянии на реологию теста и органолептические свойства продукта;
4. Сенсорный анализ показал, что изделия с 6–9% папоротника не уступают контрольным по вкусу, аромату и текстуре, а иногда воспринимаются даже более насыщенными по вкусовым ощущениям (благодаря умами-нотам папоротника). Органолептические показатели существенно не отличаются от традиционного продукта при добавке до 9%;
5. Продемонстрирована успешная апробация обогащенного теста в блюдах татарской кухни, что подтверждает его функциональность и технологическую совместимость с традиционными рецептами. Изделие сохраняет характерные

органолептические свойства национальной кухни, приобретая при этом новые ценностные преимущества (повышенная питательная ценность, оригинальный вид).

Настоящая работа закладывает основу для целого направления исследований и разработок:

1. Необходимо более подробно изучить биоактивные свойства папоротника-орляка в составе изделий. В частности, целесообразно оценить антиоксидантную активность обогащенных продуктов, влияние их потребления на показатели здоровья;
2. Интересным продолжением является исследование влияния папоротника на сроки хранения изделий;
3. С технологической точки зрения, перспективно масштабирование процесса: отработка параметров ИК-сушки в промышленных условиях, проектирование линии по производству порошка;
4. Интерес представляет поиск оптимальных комбинаций: папоротник-орляк можно сочетать с другими растительными добавками;
5. В контексте татарской кухни и не только, можно разработать новые рецептуры целенаправленно под папоротниковое тесто;
6. Продолжая тему безопасности, можно углубиться в изучение метаболизма остаточных количеств птакилозида и продуктов его распада в процессе приготовленияв;
7. Еще одно направление – применение инструментальных методов контроля качества специально для этого продукта.

Подводя итог, разработка нового ассортимента мучных изделий с порошком папоротника-орляка демонстрирует успех как научно, так и практически. Полученные изделия обладают улучшенной пищевой ценностью, оригинальным внешним видом, сохраняют традиционные вкусовые качества и отвечают требованиям безопасности и качества. Они способны занять свою нишу на рынке, объединяя тренд на функциональное питание и богатое кулинарное наследие татарской кухни. Внедрение данной технологии будет способствовать расширению ассортимента полезных продуктов, рациональному использованию нетрадиционных растительных ресурсов и повышению конкурентоспособности национальных производителей за счет инноваций. Дальнейшие исследования и опытно-промышленные проверки помогут довести технологию до совершенства и обеспечить ее успешную реализацию. Таким образом, папоротник-орляк из дикого лесного растения превращается в ценный пищевой ингредиент XXI века – пример того, как наука и традиции вместе работают на благо здоровья людей и развития пищевой индустрии.

Список источников

1. Global Market Trends 2023: Bakery Industry. Available from: GLOBAL-MARKET-TRENDS-2023-BAKERY_Proofread.pdf – Yandex Documents [Accessed 26 February 2025].

2. Purkiewicz A., Gul F., Pietrzak-Fiećko R. The Utilization of Vegetable Powders for Bread Enrichment—The Effect on the Content of Selected Minerals, Total Phenolic and Flavonoid Content, and the Coverage of Daily Requirements in the Human Diet. Applied Sciences. 2024. No. 10022 (14). Available from: (PDF) The Utilization of Vegetable Powders for Bread Enrichment—The Effect on the Content of Selected Minerals, Total Phenolic and Flavonoid Content, and the Coverage of Daily Requirements in the Human Diet [Accessed 28 February 2025].

3. Prasad R., Dhital S., Williamson G., Barber E. Nutrient Composition, Physical Characteristics and Sensory Quality of Spinach-Enriched Wheat Bread. Foods. 2024. No. 15. P. 2401. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11312006/ [Accessed 28 February 2025].

4. Li K., Zhang T., Ren H., Zhao W., Hong S., Ge Y., Li X., Corke H. Structural and physicochemical properties of bracken fern (Pteridium aquilinum) starch. Frontiers in Nutrition. No. 10. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10318185/ [Accessed 20 February 2025].

5. Как приготовить вкусные татарские лепешки кыстыбый. Гастроном. Available from: https://www.gastronom.ru/text/kak-prigotovit-vkusnye-tatarskie-lepeshki-kystybyj-1022266 [Accessed 22 February 2025].

6. Бәлиш – татарское национальное блюдо. Татарские культурные ресурсы. Available from: https://tatcultresurs.ru/onkn/belish-blesh [Accessed 28 February 2025].

7. Эчпочмак (пирожки по-татарски). Good-Cook. Available from: https://www.good-cook.ru/tort/tort_128.shtml [Accessed 24 February 2025].

8. Biological Protein Value of Pteridium aquilinum (L.) Kuhn. Food Processing: Techniques and Technology. Available from: https://fptt.ru/en/issues/20365/20423/#:~:text=The%20protein%20content%20in%20the,those%20from%20the%20Kozulka%20and [Accessed 28 February 2025].

9. Malík M., Mika O., Navrátilová Z., Killi U., Tlustoš P., Patočka J. Health and Environmental Hazards of the Toxic Pteridium aquilinum (L.) Kuhn (Bracken Fern). Plants. No. 13. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/13/1/18 [Accessed 20 February 2025].

10. Kim M., Kang J., Kundu A., Kim H., Lee B.-M. Risk Assessment and Risk Reduction of Ptaquiloside in Bracken Fern. Toxics. No. 115 (15). Available from: https://www.mdpi.com/2305-6304/11/2/115 [Accessed 28 February 2025].

11. Anumudu C., Onyeaka H., Ekwueme C., Hart A., Isaac-Bamgboye F., Miri T. Advances in the Application of Infrared in Food Processing for Improved Food Quality and Microbial Inactivation. Foods. No. 24 (13). Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/13/24/4001 [Accessed 28 February 2025].

12. Korus A., Witczak M., Korus J., Juszczak L. Dough Rheological Properties and Characteristics of Wheat Bread with the Addition of Lyophilized Kale (Brassica oleracea L. var. sabellica) Powder. Applied Sciences. No. 1 (13). P. 29. Available from: https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/29 [Accessed 24 February 2025].

13. El-Sayed S., Awad R., Yassen A., Abouelenein D. Utilisation of aquatic fern Azolla sp. powder for supplementing semolina pasta: quality characteristics of produced pasta. ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/publication/372189508_Utilisation_of_aquatic_fern_Azolla_sp_powder_for_supplementing_semolina_pasta_quality_characteristics_of_produced_pasta [Accessed 28 February 2025].

14. Zhu J., Cai Y., Xu Y., Wei X., Yang Z., Yin Y., Wakisaka M., Fang W. Effects of heterotrophic Euglena gracilis powder on dough microstructure, rheological properties, texture, and nutritional composition of steamed bread. Food Chemistry X. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11388338/](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11388338/ [Accessed 28 February 2025].

15. ГОСТ 5668-68 Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли жира. Москва: Стандартинформ, 2006. 10 с.

16. ГОСТ 8756.1-2017. Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема. Москва: Стандартинформ, 2019. 12 с.

17. ГОСТ Р 54014-2010 Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом. Москва: Стандартинформ, 2019. 7 с.

18. Clauson-Kaas F., Holst B., Rasmussen S., Skibsted L., Hansen M. Evaluation and Monitoring of the Natural Toxin Ptaquiloside in Bracken Fern, Meat, and Dairy Products. ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/publication/369437822_Evaluation_and_Monitoring_of_the_Natural_Toxin_Ptaquiloside_in_Bracken_Fern_Meat_and_Dairy_Products [Accessed 20 February 2025].

19. Clauson-Kaas F., Holst B., Rasmussen S., Skibsted L., Hansen M. Presence of the carcinogen ptaquiloside in fern-based food products and traditional medicine: Four cases of human exposure. Current Research in Toxicology. Available from: https://www.researchgate.net/publication/353897408_Presence_of_the_carcinogen_ptaquiloside_in_fern-based_food_products_and_traditional_medicine_Four_cases_of_human_exposure [Accessed 28 February 2025].

20. Suharti S., Setiadi Y., Sudarsono S. Nutrient Contents of Bracken (Pteridium aquilinum L.) and Soil Chemical Properties of Its Habitat in the Coastal Area. ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/publication/264204767_Nutrient_Contents_of_Bracken_Pteridium_aquilinum_L_and_Soil_Chemical_Properties_of_Its_Habitat_in_the_Coastal_Area [Accessed 28 February 2025].

References

1. Global Market Trends 2023: Bakery Industry. Available from: GLOBAL-MARKET-TRENDS-2023-BAKERY_Proofread.pdf – Yandex Documents [Accessed 26 February 2025].

2. Purkiewicz A., Gul F., Pietrzak-Fiećko R. The Utilization of Vegetable Powders for Bread Enrichment—The Effect on the Content of Selected Minerals, Total Phenolic and Flavonoid Content, and the Coverage of Daily Requirements in the Human Diet. Applied Sciences. 2024. No. 10022 (14). Available from: (PDF) The Utilization of Vegetable Powders for Bread Enrichment—The Effect on the Content of Selected Minerals, Total Phenolic and Flavonoid Content, and the Coverage of Daily Requirements in the Human Diet [Accessed 28 February 2025].

3. Prasad R., Dhital S., Williamson G., Barber E. Nutrient Composition, Physical Characteristics and Sensory Quality of Spinach-Enriched Wheat Bread. Foods. 2024. No. 15. P. 2401. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11312006/ [Accessed 28 February 2025].

4. Li K., Zhang T., Ren H., Zhao W., Hong S., Ge Y., Li X., Corke H. Structural and physicochemical properties of bracken fern (Pteridium aquilinum) starch. Frontiers in Nutrition. No. 10. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10318185/ [Accessed 20 February 2025].

5. Kak prigotovit' vkusnye tatarskie lepeshki kystybyi. Gastronom. Available from: https://www.gastronom.ru/text/kak-prigotovit-vkusnye-tatarskie-lepeshki-kystybyj-1022266 [Accessed 22 February 2025].

6. Bəlish – tatarskoe natsional'noe blyudo. Tatarskie kul'turnye resursy. Available from: https://tatcultresurs.ru/onkn/belish-blesh [Accessed 28 February 2025].

7. Ehchpochmak (pirozhki po-tatarski). Good-Cook. Available from: https://www.good-cook.ru/tort/tort_128.shtml [Accessed 24 February 2025].

8. Biological Protein Value of Pteridium aquilinum (L.) Kuhn. Food Processing: Techniques and Technology. Available from: https://fptt.ru/en/issues/20365/20423/#:~:text=The%20protein%20content%20in%20the,those%20from%20the%20Kozulka%20and [Accessed 28 February 2025].

9. Malík M., Mika O., Navrátilová Z., Killi U., Tlustoš P., Patočka J. Health and Environmental Hazards of the Toxic Pteridium aquilinum (L.) Kuhn (Bracken Fern). Plants. No. 13. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/13/1/18 [Accessed 20 February 2025].

10. Kim M., Kang J., Kundu A., Kim H., Lee B.-M. Risk Assessment and Risk Reduction of Ptaquiloside in Bracken Fern. Toxics. No. 115 (15). Available from: https://www.mdpi.com/2305-6304/11/2/115 [Accessed 28 February 2025].

11. Anumudu C., Onyeaka H., Ekwueme C., Hart A., Isaac-Bamgboye F., Miri T. Advances in the Application of Infrared in Food Processing for Improved Food Quality and Microbial Inactivation. Foods. No. 24 (13). Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/13/24/4001 [Accessed 28 February 2025].

12. Korus A., Witczak M., Korus J., Juszczak L. Dough Rheological Properties and Characteristics of Wheat Bread with the Addition of Lyophilized Kale (Brassica oleracea L. var. sabellica) Powder. Applied Sciences. No. 1 (13). P. 29. Available from: https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/29 [Accessed 24 February 2025].

13. El-Sayed S., Awad R., Yassen A., Abouelenein D. Utilisation of aquatic fern Azolla sp. powder for supplementing semolina pasta: quality characteristics of produced pasta. ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/publication/372189508_Utilisation_of_aquatic_fern_Azolla_sp_powder_for_supplementing_semolina_pasta_quality_characteristics_of_produced_pasta [Accessed 28 February 2025].

14. Zhu J., Cai Y., Xu Y., Wei X., Yang Z., Yin Y., Wakisaka M., Fang W. Effects of heterotrophic Euglena gracilis powder on dough microstructure, rheological properties, texture, and nutritional composition of steamed bread. Food Chemistry X. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11388338/](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11388338/ [Accessed 28 February 2025].

15. GOST 5668-68 Khleb i khlebobulochnye izdeliya. Metody opredeleniya massovoi doli zhira. Moskva: Standartinform, 2006. 10 s.

16. GOST 8756.1-2017. Produkty pererabotki fruktov, ovoshchei i gribov. Metody opredeleniya organolepticheskikh pokazatelei, massovoi doli sostavnykh chastei, massy netto ili ob"ema. Moskva: Standartinform, 2019. 12 s.

17. GOST R 54014-2010 Produkty pishchevye funktsional'nye. Opredelenie rastvorimykh i nerastvorimykh pishchevykh volokon fermentativno-gravimetricheskim metodom. Moskva: Standartinform, 2019. 7 s.

18.Clauson-Kaas F., Holst B., Rasmussen S., Skibsted L., Hansen M. Evaluation and Monitoring of the Natural Toxin Ptaquiloside in Bracken Fern, Meat, and Dairy Products. ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/publication/369437822_Evaluation_and_Monitoring_of_the_Natural_Toxin_Ptaquiloside_in_Bracken_Fern_Meat_and_Dairy_Products [Accessed 20 February 2025].

19.Clauson-Kaas F., Holst B., Rasmussen S., Skibsted L., Hansen M. Presence of the carcinogen ptaquiloside in fern-based food products and traditional medicine: Four cases of human exposure. Current Research in Toxicology. Available from: https://www.researchgate.net/publication/353897408_Presence_of_the_carcinogen_ptaquiloside_in_fern-based_food_products_and_traditional_medicine_Four_cases_of_human_exposure [Accessed 28 February 2025].

20.Suharti S., Setiadi Y., Sudarsono S. Nutrient Contents of Bracken (Pteridium aquilinum L.) and Soil Chemical Properties of Its Habitat in the Coastal Area. ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/publication/264204767_Nutrient_Contents_of_Bracken_Pteridium_aquilinum_L_and_Soil_Chemical_Properties_of_Its_Habitat_in_the_Coastal_Area [Accessed 28 February 2025].

Информация об авторах

Екатерина Андреевна Казанцева – магистрант кафедры технологии и организации пищевых производств Новосибирского государственного технического университета, Researcher ID: PQW-7206-2026.

Анастасия Валерьевна Копылова – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации пищевых производств Новосибирского государственного технического университета, Scopus ID: 57211623670, Researcher ID: HDM-5246-2022.

Вклад авторов:

Екатерина Андреевна Казанцева

Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

Анастасия Валерьевна Копылова

Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Information about the authors

Ekaterina A. Kazantseva – master's student at the Department of Food Production Technology and Organization at Novosibirsk State Technical University, Researcher ID: PQW-7206-2026.

Anastasia V. Kopylova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Food Production Technology and Organization at Novosibirsk State Technical University, Scopus ID: 57211623670, Researcher ID: HDM-5246-2022

Contribution of the authors:

Ekaterina A. Kazantseva

Conducting research – collecting, interpreting, and analyzing the data obtained. Preparing and editing the text – drafting the manuscript and forming its final version, participating in the scientific design.

Anastasia V. Kopylova

Approving the final version – taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article, and its final version.

.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 113-120
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):113-120
TECHNICAL SCIENCE
TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS

Научная статья
УДК 581.143.6: 582.998.1
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.9

Оптимизация состава питательной среды для получения каллусной ткани *Echinacea purpurea*

Елизавета Маисовна Юсуфова[1*], Елена Александровна Губарева2, Евгений Васильевич Слипченко3

[1,2,3] Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (д. 13, ул. Калинина, Краснодар, 350044, Россия)
[1]eliza_002@bk.ru
[2]g_lena82@list.ru
[3]slipa99@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку: **Елизавета Маисовна Юсуфов,** eliza_002@bk.ru

Аннотация. Echinacea purpurea относится к числу наиболее широко применяемых в различных отраслях промышленности лекарственных растений. Повышенный интерес к эхинацее объясняется содержанием в ней комплекса биологически активных веществ. Одним из перспективных подходов к получению растительного сырья является использование методов культуры тканей растений. В настоящей работе рассмотрены особенности индукции каллусной ткани эхинацеи пурпурной in vitro и проведена оценка состава питательной среды на интенсивность каллусообразования. В качестве базовой использовали среду Мурасиге-Скуга с различными комбинациями регуляторов роста. Установлено, что изменение соотношения ауксинов и цитокининов существенно влияет на частоту образования каллусной ткани. Полученные результаты могут использоваться при разработке биотехнологических методов получения растительной биомассы эхинацеи пурпурной. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта на реализацию Программы развития Кубанского ГАУ на 2025–2026 гг.
Ключевые слова: каллус, Echinacea purpurea, питательная среда, оптимизация, культивирование in vitro, фитогормоны.

Для цитирования: Юсуфова Е. М., Губарева Е. А., Слипченко Е. В. Оптимизация состава питательной среды для получения каллусной ткани Echinacea purpurea // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 113-120. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.9

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.01.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2025;
принята к публикации 01.03.2025.

Research article

Optimization of the composition of the nutrient medium for obtaining callus tissue of *Echinacea purpurea*

Elizaveta Maisovna Yusufova[1*], Elena Aleksandrovna Gubareva[2], Evgeny Vasilyevich Slipchenko[3]

© Юсуфова Е. М., Губарева Е. А., Слипченко Е. В.., 2026

[1,2,3] Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (13, Kalinina st., Krasnodar, 350044, Russia)
[1]eliza_002@bk.ru
[2]g_lena82@list.ru
[3]slipa99@mail.ru

*Corresponding author

Abstract. Echinacea purpurea is among the most widely used medicinal plants in various industries. The increased interest in echinacea is explained by its content of a complex of biologically active substances. One of the promising approaches to obtaining plant raw materials is the use of plant tissue culture methods. In this work, the features of in vitro callus tissue induction of Echinacea purpurea are examined, and the influence of the nutrient medium composition on the intensity of callus formation is assessed. The Murashige and Skoog medium with various combinations of growth regulators was used as the base medium. It was found that changing the ratio of auxins to cytokinins significantly affects the frequency of callus tissue formation. The obtained results can be used in the development of biotechnological methods for obtaining purple echinacea plant biomass. The research was prepared with the financial support of a grant for the implementation of the Development Program of Kuban State Agrarian University for 2025–2026.

Keywords: callus, Echinacea purpurea, nutrient medium, optimization, in vitro cultivation, phytohormones.

For citation: Yusufova E.M., Gubareva E.A., Slipchenko E.V. Optimization of the composition of the nutrient medium for obtaining callus tissue of Echinacea purpurea. Modern Science and Innovations. 2026;(2):113-120. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.9

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 01.01.2025;
approved after reviewing 01.02.2025;
accepted for publication 01.03.2025.

Introduction. Medicinal plants are the primary source of biologically active substances used in the pharmaceutical, food, and cosmetic industries. Among these plants, purple coneflower possesses pronounced immunomodulatory, anti-inflammatory, and antioxidant properties. Echinacea extracts are used in the prevention and treatment of infectious diseases and are also included in pharmacological and phytotherapeutic agents.

Echinacea preparations have a complex effect: they stimulate the immune response, exhibit antiallergic and antitumor properties, enhance the synthesis of cytokines (interferons and interleukins), and promote tissue regeneration. The chemical composition includes hydroxycinnamic acids, flavonoids (apigenin, rutin), polysaccharides (arabinogalactan, heteroxylan), alkamides, and essential oils. Among the phenolic acids, chicory, caffeic, ferulic, coumaric, and caftaric acids, as well as their derivatives, are of particular importance. The combined effects of these substances determine the effectiveness of echinacea in the prevention of colds and determine its widespread use in herbal preparations [1].

Traditional plant-based raw material production faces a number of limitations. Plant yields are largely dependent on climatic conditions, and the content of biologically active compounds can vary significantly depending on environmental factors and growing conditions. Therefore, the use of biotechnological methods for producing plant biomass is of considerable interest. Plant tissue culture allows for the production of cells and tissues under controlled conditions, ensuring a stable composition of target bioactive compounds and independence from seasonal factors. Furthermore, this approach offers opportunities for the conservation and reproduction of rare and endangered species without removing them from the natural environment [2].

The traditional method of cultivating plant sources of biologically active substances is being replaced by culturing plant organs and tissues in an isolated nutrient medium, which allows for controlled accumulation of secondary metabolites. Under stress, plants are capable of activating the regenerative process through the formation of undifferentiated tissue—callus. Callus

culture is a disorganized proliferating tissue formed from dedifferentiated cells. Callus formation can occur both through the proliferation of surface cells of various plant tissues and in deeper tissue layers. To induce callus formation, fragments of higher plant organs (explants) are placed on artificial nutrient media in *vitro* using specialized laboratory equipment [3].

Obtaining primary callus, as well as the subsequent maintenance of transplant cultures, requires strict aseptic conditions. All procedures are performed in specialized microbiological cabinets or laminar flow hoods providing a sterile air supply. Young tissues typically have the greatest capacity to form callus.

Callus cultures are cultivated primarily on semi-solid agar media, as well as on media containing synthetic gelling agents or on filter bridges partially immersed in the liquid phase. Nutrient media contain several functional groups of components: macro- and microelements, iron sources, vitamins, carbon-containing substrates, and growth regulators.

The mineral composition of the medium is formed by nitrogen salts, phosphates, sulfates, as well as potassium, calcium, magnesium, and sodium ions. Iron is typically added in chelated form to increase its availability. These elements are necessary for the synthesis of key cellular components, including proteins, lipids, and nucleic acids. Carbohydrates, primarily sucrose, but also glucose or fructose, are added to the medium as a carbon source, typically at concentrations of 20 to 60 g/L. To maintain cellular metabolic activity, the medium includes B vitamins, ascorbic and nicotinic acids, and meso-inositol.

Growth and morphogenesis processes in tissue culture are regulated by phytohormones. These compounds control cell dedifferentiation and differentiation, induce tissue division, elongation, and formation, and also participate in the regulation of aging and maturation. Auxins, cytokinins, and gibberellins are most widely used in biotechnology. Selecting their ratio is a key factor determining the growth pattern of the culture. In some cases, complex organic supplements are added to the medium: protein hydrolysates, amino acids, yeast extracts, and coconut milk. Typically, when working with a new medium, standard formulas (for example, Murashige-Skoog or Gamborg media) are used, modifying them by adjusting the concentrations of growth regulators.

It should be noted that callus cultures are capable of accumulating biologically active substances in concentrations exceeding those in intact plants. Some studies have shown that the extract from *N. ciliatus callus* contains squalene (21.4%) more than the control (9.3%) [4]. In another study, the amount of triterpene acids produced in A. sellowiana fruits in vitro was 27.93 mg/g higher than in vivo [5]. Methanol extract of S. asoca callus exhibited significant antimicrobial activity and had a higher content of total phenol (984.2 mg/g) and tannin (684.6 mg/g) compared to the wild plant (864.1 and 312.3 mg/g, respectively) [6]. This makes calluses a promising object for obtaining valuable secondary metabolites.

Materials and methods. Fragments of intact *Echinacea* plants were used to obtain callus tissue . *purpurea L . Moench ,* shown in Figure 1.

Figure 1. ***Echinacea purpurea L. Moench.***

Cultivation was carried out in 10 ml penicillin tubes.

For the induction of callus tissue, a nutrient medium according to the Murashige-Skoog recipe was used, the composition of which is presented in Table 1.

Table 1 – ***Composition of the nutrient medium for obtaining Echinacea callus tissue purpurea L. Moench***

Nutrient medium components	Concentration, mg/l
NH_4NO_3	1650
$NH_4H_2PO_4$	-
KNO_3	1900
$CaCl_2 \times H_2O$	440
$MgSO_4 \times 7H_2O$	370
$(NH_4)_2SO_4$	-
KH_2PO_4	170
Na_2ЭДТА	37.3
$FeSO_4 \times 7H_2O$	28
$NaH_2PO_4 \times H_2O$	-
H_3BO_3	6.2
$MnSO_4 \times 4H_2O$	22.3
$ZnSO_4 \times 7H_2O$	8.6
KI	0.83
$Na_2MoO_4 \times 2H_2O$	0.25
$CuSO_4 \times 5H_2O$	0.025
$CoCl_2 \times 6H_2O$	0.025
Glycine	2.0
Mesoinositol	100
Nicotinic acid	0.5
Pyridoxine HCl	0.5
Thiamine HCl	1.0
Glutamine	-
Sucrose	30,000
Agar-agar	7000

The pH of the medium was adjusted to 5.8 with 0.1 N NaOH . Five variants of nutrient medium with different concentrations and ratios of phytohormones were prepared. Cultivation was carried out in a climate chamber in red light at T = 24 ° C for 28 days, after which the formation of callus tissue on the explants was assessed.

Research results and their discussion.

To induce callus formation in purple coneflower, nutrient media containing various hormones stimulating plant cell dedifferentiation and division were studied *in vitro* . A nutrient medium according to the Murashige-Skoog formula with hormones added in varying concentrations was used as the base medium. A medium without added hormones served as a control. The composition of the nutrient media studied is presented in Table 2.

Table 2 – ***Variants of nutrient media for inducing callusogenesis of purple echinacea***

Option	Hormones, mg/l					
	IUK	IMC	NUK	BAP	kinetin	TDZ
K (1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2.0	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0
3	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	0.0
4	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	0.0
5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

In addition, various parts of the plant shoot were used as explants to study the effect of this factor on callus growth. The source material variants included stem (S), petiole (P), leaf with midrib (L), and leaf without midrib (L). This resulted in 20 separate experimental variants. Each version was performed in 14 replicates. The samples were kept in the dark at 24 ℃ .

On the 7th day, darkening of the medium was observed in variants 2(C), 3(C), 4(C), and 5(C). According to literature, this phenomenon is a consequence of the release of phenolic compounds into the medium as a result of plant stress.

On the 21st day, the appearance of primary callus was observed on variants of media K (1), 3 and 4, shown in Figure 2.

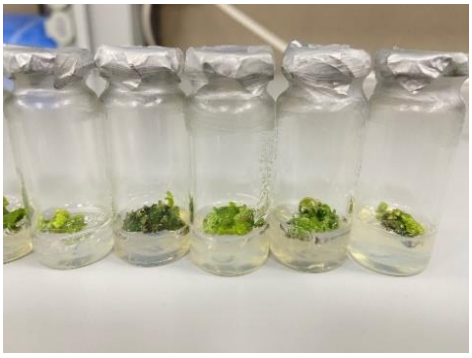


Figure 2. Primary callus *Echinacea Purpurea*

Table 3 shows the percentage of samples that produced callus.

Table 3 – *Number of explants producing callus*

Option	The proportion of explants that produced callus, %
K(F)	16.7
3(L)	46.2
3(F)	66.7
3(Ч)	57.1
3(C)	50.0
4(L)	28.6
4(F)	33.3
4(C)	63.6

On the 30th day of the experiment, plant regeneration began in several variants, i.e., callus cells differentiated and shoots formed, as shown in Figure 3.

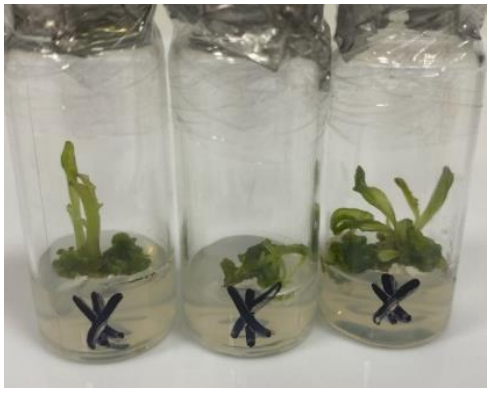


Figure 3. Formation of shoots from callus of Echinacea Purpurea

On the 35th day, darkening, i.e. death, of those explants that did not produce callus was recorded; therefore, it was considered appropriate to summarize the results of the experiment, presented in Table 4.

Table 4 **– Number of explants producing callus, taking into account regenerated samples**

Option	The proportion of explants that produced callus, %	The presence of regeneration
K(F)	16.7	No
2(L)	15.4	No
2(F)	41.7	No
3(L)	46.2	Yes
3(F)	66.7	Yes
3(Ч)	57.1	Yes
3(C)	50.0	Yes
4(L)	42.9	No
4(F)	50.0	No
4(C)	63.6	No

According to the data obtained, the samples grown in variants 3 and 4 demonstrated the greatest capacity for callus formation. Moreover, vein and stem parts proved to be the most favorable types of explants for callus production.

All calli obtained on medium 3 initiated shoot development, which may be due to the predominance of cytokinin hormones over auxin hormones in this nutrient medium, as cytokinins are responsible for plant cell division. No regeneration was observed on medium 4.

Conclusion: It has been established that *the Echinacea plant purpurea* is capable of forming callus tissue when its fragments are placed on a solid nutrient medium according to the Murashige-Skoog formula with the addition of an optimal amount of growth regulators.

According to the study results, a nutrient medium containing 2.0 mg/L of indole-3-butyric acid and 1.0 mg/L of 6-Benzylaminopurine was found to be most favorable for inducing callus formation. The proportion of explants producing callus reached 63.6%, with no organogenesis observed. Furthermore, it is recommended to use a leaf fragment with a central vein, as well as a stem fragment, as explants.

The obtained results provide a scientific basis for the development of technology for the production of *Echinacea cell culture. purpurea* as an alternative plant material. Subsequently, it will be possible to isolate an extract from the resulting culture and evaluate the accumulation of secondary metabolites in it for comparison with the accumulation of biologically active substances in traditional raw materials.

Acknowledgments

The work was carried out with the financial support of a grant for the implementation of the Kuban State Agrarian University Development Program for 2025–2026.

Список источников

1. Сизикова, Е. А. Состав и лекарственное использование видов рода эхинацея в России и за рубежом / Е. А. Сизикова, О. А. Киселева // Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения : Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов, IV Форума медицинских и фармацевтических вузов России «За качественное образование», посвященные 100-летию со дня рождения ректора Свердловского государственного медицинского института, профессора Василия Николаевича Климова, Екатеринбург, 10–12 апреля 2019 года. Том 2. – Екатеринбург: Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования "Уральский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2019. – с. 1484 – 1489.
2. Engineering considerations to produce bioactive compounds from plant cell suspension culture in bioreactors / E. A. Motolinia-Alcantara, C. O. Castillo-Araiza, M. Rodriguez-Monroy [et al.] // Plants. – 2021. – Vol. 10, № 12. – P. 276.
3. Батыгина Т.Б. Биология развития растений. Симфония жизни. СПб: ДЕАН, 2014. 764 с.
4. Production of squalene with promising antioxidant properties in callus cultures of Nilgirianthus ciliates / R. Rameshkumar, L. Satish, S. Pandian [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 126. – P. 357 – 367.
5. Verardo, G. New triterpenic acids produced in callus culture from fruit pulp of Acca sellowiana (O. Berg) Burret / G. Verardo, A. Gorassini, D. Fraternale // Food Research International. – 2019. – Vol. 119. – P. 596–604. [5]
6. Vignesh, A. Comparative LC-MS analysis of bioactive compounds, antioxidants and antibacterial activity from leaf and callus extracts of Saraca asoca / A. Vignesh, S. Selvakumar, K. Vasanth // Phytomedicine Plus. – 2022. – Vol. 2, № 1. – P. 100 – 167.

References

1.Sizikova, E. A. Sostav i lekarstvennoe ispol'zovanie vidov roda ehkhinatseya v Rossii i za rubezhom / E. A. Sizikova, O. A. Kiseleva // Aktual'nye voprosy sovremennoi meditsinskoi nauki i zdravookhraneniya : Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov, IV Foruma meditsinskikh i farmatsevticheskikh vuzov Rossii «Za kachestvennoe obrazovanie», posvyashchennye 100-letiyu so dnya rozhdeniya rektora Sverdlovskogo gosudarstvennogo meditsinskogo instituta, professora Vasiliya Nikolaevicha Klimova, Ekaterinburg, 10–12 aprelya 2019 goda. Vol 2. – Ekaterinburg: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Ural'skii gosudarstvennyi meditsinskii universitet" Ministerstva zdravookhraneniya Rossiiskoi Federatsii, 2019. – Pp.1484 – 1489.
2.Engineering considerations to produce bioactive compounds from plant cell suspension culture in bioreactors / E. A. Motolinia-Alcantara, C. O. Castillo-Araiza, M. Rodriguez-Monroy [et al.] // Plants. – 2021. – Vol. 10, № 12. – Pp. 276.
3. Batygina T.B. Biologiya razvitiya rastenii. Simfoniya zhizni. SPb.: DEAN, 2014. 764 s.
4.Production of squalene with promising antioxidant properties in callus cultures of Nilgirianthus ciliates / R. Rameshkumar, L. Satish, S. Pandian [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 126. – Pp. 357 – 367.
5. Verardo, G. New triterpenic acids produced in callus culture from fruit pulp of Acca sellowiana (O. Berg) Burret / G. Verardo, A. Gorassini, D. Fraternale. Food Research International. – 2019. – Vol. 119. – Pp. 596–604. [5]
6.Vignesh, A. Comparative LC-MS analysis of bioactive compounds, antioxidants and antibacterial activity from leaf and callus extracts of Saraca asoca / A. Vignesh, S. Selvakumar, K. Vasanth // Phytomedicine Plus. – 2022. – Vol. 2, № 1. – Pp. 100 – 167.

Информация об авторах

Елизавета Маисовна Юсуфова – магистрант кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики, институт ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии, Кубанский государственный университет имени И. Т. Трубилина, eliza_002@bk.ru, Researcher ID:PVC-6663-2026
Елена Александровна Губарева – доцент кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики, институт ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии, Кубанский государственный университет имени И. Т. Трубилина, g_lena82@list.ru, Researcher ID: F-7822-2017
Евгений Васильевич Слипченко - доцент кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики, институт ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии, Кубанский государственный университет имени И. Т. Трубилина, slipa99@mail.r, Researcher ID: 0009-0000-4682-0803

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Elizaveta Maisovna Yusufova – master's degree student in the Department of Biotechnology, Biochemistry, and Biophysics, Institute of Veterinary Medicine, Animal Science, and Biotechnology, Kuban State University named after I. T. Trubilin, eliza_002@bk.ru, Researcher ID:PVC-6663-2026

Elena Aleksandrovna Gubareva – Associate Professor of the Department of Biotechnology, Biochemistry and Biophysics, Kuban State University named after I. T. Trubilin, g_lena82@list.ru, Researcher ID: F-7822-2017

Evgeny Vasilyevich Slipchenko – Associate Professor of the Department of Biotechnology, Biochemistry and Biophysics, Kuban State University named after I. T. Trubilin, slipa99@mail.r, Researcher ID: 0009-0000-4682-0803

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ | SHORT REPORTS

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 121-129
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Modern Science and Innovations. 2026;(1):121-129
SHORT REPORTS

Научная статья
УДК 631.82: 633.15: 631.559
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.10

Эффективность применения комплексных аминокислотных биостимуляторов в агротехнологиях возделывания зерновых культур для пищевых и селькохозяйственных целей (обзор)

Валерия Николаевна Оробинская [1,2,*]

[1]Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказского Федерального университета,
[2]ФГБНУ «ВНИИ кукурузы»

*Автор, ответственный за переписку**: Валерия Николаевна Оробинская**, orobinskaya.val@yandex.ru

Аннотация. Снижение урожайности таких стратегически важных сельскохозяйственных культур, как кукуруза, яровая пшеница и ячмень посевной, в современных условиях возделывания во многом обусловлено прогрессирующей деградацией плодородия почв и усилением воздействия абиотических стрессоров. В целях восстановления почвенного потенциала и поддержания оптимального нутриентного баланса в системе «почва-растение» в передовой агрономической практике активно внедряются комплексные методы подкормки. Особое место среди них занимают инновационные биопрепараты на основе свободных L-аминокислот в комбинации с макро- и микроэлементами. Данный подход демонстрирует высокую физиологическую и экономическую эффективность, являясь одним из наиболее перспективных векторов развития современного агропромышленного комплекса (АПК). В последние годы наблюдается экспоненциальный рост применения аминокислотных стимуляторов роста, которые не только нивелируют последствия стресса у растений, но и способствуют раскрытию их генетического потенциала, улучшая качественные и количественные характеристики урожая. Экономическая целесообразность интеграции как естественных, так и синтезированных стимуляторов роста подтверждается высоким коэффициентом рентабельности: ожидаемая прибыль от прибавки урожая многократно превосходит операционные затраты на приобретение препаратов. В настоящей обзорной статье систематизированы и проанализированы результаты многолетних экспериментальных исследований отечественных ученых. Рассмотрено влияние аминокислотных биопрепаратов (Технокель Амино, Аминокат, Интермаг Профи и др.) на онтогенез, фотосинтетическую активность и продуктивность гибридов кукурузы и колосовых культур, возделываемых в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации. Мета-анализ данных позволяет объективно оценить эффективность биопрепаратов и рекомендовать их для широкого внедрения в ресурсосберегающие технологии земледелия.

Ключевые слова: стимуляторы роста, аминокислотные препараты, хелаты, кукуруза, яровая пшеница, ячмень посевной, фотосинтез, агропромышленный комплекс (АПК), антистрессовый эффект.
ара.
Для цитирования: Оробинская В.Н. Эффективность применения комплексных аминокислотных биостимуляторов в агротехнологиях возделывания зерновых культур для пищевых и селькохозяйственных целей (обзор) // Современная наука и инновации. 2026. № 2 С.121-129. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.10

© Оробинская В.Н., 2026

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026

Research article

Effectiveness of using complex amino acid biostimulators in grain cultivation for food and agricultural purposes (review)

Valeria N. Orobinskaya[1,2,*]

[1]Pyatigorsk Institute (branch) North Caucasus Federal University,
[2]FSBIS "All-Russian Research Institute of Corn"

*Corresponding author: **Valeria Nikolaevna Orobinskaya**, orobinskaya.val@yandex.ru

Abstract. The decrease in the yield of strategically important agricultural crops such as corn, spring wheat, and spring barley under modern cultivation conditions is largely due to the progressive degradation of soil fertility and the increased impact of abiotic stressors. To restore soil potential and maintain an optimal nutrient balance in the "soil-plant" system, comprehensive fertilization methods are being actively implemented in advanced agronomic practice. A special place among them is occupied by innovative biological products based on free L-amino acids in combination with macro- and microelements. This approach demonstrates high physiological and economic efficiency, being one of the most promising vectors for the development of the modern agro-industrial complex (AIC). In recent years, there has been an exponential increase in the use of amino acid growth stimulants, which not only level the consequences of stress in plants but also contribute to unlocking their genetic potential, improving the qualitative and quantitative characteristics of the crop. The economic feasibility of integrating both natural and synthesized growth stimulants is confirmed by a high profitability ratio: the expected profit from the yield increase is many times higher than the operational costs of purchasing the preparations. This review article systematizes and analyzes the results of long-term experimental studies by Russian scientists. The effect of amino acid biopreparations (Teknokel Amino, Aminocat, Intermag Profi, etc.) on the ontogenesis, photosynthetic activity, and productivity of corn hybrids and cereal crops grown in various soil and climatic zones of the Russian Federation is considered. Meta-analysis of the data allows us to objectively evaluate the effectiveness of biopreparations and recommend them for widespread implementation in resource-saving farming technologies.

Key words: growth stimulants, amino acid preparations, chelates, corn, spring wheat, barley, photosynthesis, Agro-industrial complex (AIC), anti-stress effect.

For citation: Orobinskaya V.N. The effectiveness of using complex amino acid biostimulants in agricultural technologies for growing grain crops for food and agricultural purposes (review). *Modern Science and Innovations.* 2026. No. 2. Pp.121- 129. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.10
1

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

The article was submitted to the editorial office on 01.12.2025;
approved after reviewing on 01.02.2026;
accepted for publication on 01.03.2026

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности и повышение экспортного потенциала Российской Федерации неразрывно связаны с интенсификацией отрасли растениеводства. В качестве объектов нашего анализа были выбраны исследования по применению современных аминокислотных препаратов при возделывании культур, составляющих основу зернового клина страны: кукурузы, ячменя посевного и яровой пшеницы.

Кукуруза (*Zea mays L.*), являясь одной из ключевых высокомаржинальных зерновых культур в мировой агрономии, играет центральную роль в формировании базы сельскохозяйственного производства. Высокий уровень потенциальной продуктивности этой культуры подтверждается её способностью обеспечивать урожайность в диапазоне 15-20 тонн сухого зерна на гектар при идеальных условиях возделывания, как это было установлено в фундаментальных исследованиях Куликова Л.А. и ряда других авторов [1, 2, 3, 4, 6]. В реалиях агропромышленного комплекса Российской Федерации кукуруза также демонстрирует стабильно высокие результаты, с урожайностью в пределах 6,5-8,0 тонн на гектар. Это свидетельствует о её высокой пластичности и адаптивности к локальным климатическим и эдафическим (почвенным) условиям различных регионов — от Южного федерального округа до Центрального Черноземья. Зерно кукурузы обладает уникальными характеристиками, обусловленными его высокой энергетической ценностью и сбалансированным составом. Энергетическая плотность кукурузы составляет 1,34 кормовых единиц на килограмм (к.е./кг), что превышает аналогичные показатели большинства других зерновых. Калорийность зерна достигает 330 ккал/кг (для сравнения: энергетическая ценность пшеницы составляет около 295 ккал/кг). Переваримость кукурузного зерна животными и птицей составляет около 90%, что существенно превышает показатели других злаковых (70-80%).

Яровая пшеница (*Triticum durum Desf.* и *Triticum aestivum L.*) является стратегической продовольственной культурой. Исторически пшеница занимает доминирующее положение в системе продовольственного обеспечения, и её роль остается неизменной. В зерновом балансе РФ удельный вес яровой пшеницы занимает значительную долю, что обусловлено её адаптивностью к условиям рискованного земледелия (Поволжье, Урал, Сибирь). Зерно яровой пшеницы характеризуется высоким содержанием белка (16-18%), которое в засушливые годы на фоне стресса может достигать 20% и более. Особенно ценится твердая пшеница, незаменимая для макаронной промышленности. Экономическая ценность культуры определяется её уникальным аминокислотным составом клейковины. Кроме того, фуражные классы пшеницы играют важнейшую роль в кормовой базе животноводства.

Ячмень посевной (*Hordeum vulgare L.*) представляет собой культуру универсального использования (продовольственное, кормовое, техническое и пивоваренное направления). Химический состав зерна ячменя сбалансирован: содержание белка варьируется от 7% до 15%, углеводов – около 65%, жиров – 2%, клетчатки – 5-5,5%, зольных элементов – 2,5-2,8%. Белок ячменя отличается высоким содержанием незаменимых аминокислот (лизин, триптофан, валин, изолейцин, лейцин, метионин, треонин, фенилаланин), которые не синтезируются в организме животных и человека.

Однако реализация генетического потенциала данных культур лимитируется глобальной проблемой – деградацией плодородия почв, снижением содержания гумуса и доступных форм макро- и микроэлементов. С целью восполнения недостатка элементов питания в современной агрономии произошел переход от экстенсивного внесения простых туков к использованию высокотехнологичных комбинаций минеральных компонентов с аминокислотами. Это самый эффективный на сегодняшний день метод листовой (некорневой) подкормки.

Свободные L-аминокислоты в составе биопрепаратов выполняют роль не только строительного материала для белков, но и мощных хелатирующих агентов, протаскивающих микроэлементы через кутикулу листа. Кроме того, экзогенное

поступление аминокислот позволяет растению экономить колоссальное количество энергии, которая в норме тратится на усвоение нитратного азота и синтез собственных аминокислот. Эта сэкономленная энергия направляется на преодоление стрессов (засуха, заморозки, пестицидная нагрузка) и формирование генеративных органов. Экономическая эффективность применения таких стимуляторов многократно превышает затраты на их приобретение [1, 2, 3, 4, 6].

Цель исследования – провести системный и глубокий анализ отечественных научных данных о влиянии современных аминокислотных биопрепаратов на рост, развитие, фотосинтетическую активность и урожайность кукурузы, яровой пшеницы и ячменя в различных агроэкологических условиях России.

Основные задачи:

1. Систематизация данных по применению аминокислотных стимуляторов;
2. Оценка их эффективности по морфометрическим показателям растений и агрохимическим характеристикам почвы;
3. Выявление наиболее перспективных комбинаций препаратов для конкретных почвенно-климатических условий;
4. Обоснование физиологических механизмов действия препаратов на клеточном и тканевом уровнях.

Практическая значимость исследования заключается в возможности оптимизации технологий выращивания зерновых культур за счет внедрения биостимуляторов. Это позволит снизить пестицидный и гербицидный стресс, сократить объемы внесения почвенных минеральных удобрений при сохранении высокой урожайности, а также разработать адресные региональные рекомендации для сельхозпроизводителей.

Методы исследования

Методология исследования базировалась на систематическом обзоре и мета-анализе российских научных публикаций, монографий и патентов за период 2015–2025 гг., проиндексированных в базах РИНЦ, Scopus и Web of Science. Поиск осуществлялся по ключевым дескрипторам: «аминокислоты в растениеводстве», «листовая подкормка кукурузы», «биостимуляторы пшеница», «хелаты микроэлементов». Анализ включал оценку:

- морфометрических показателей (высота растений, площадь листовой поверхности, накопление сухой биомассы);
- физиологических маркеров (интенсивность фотосинтеза, содержание хлорофилла a и b);
- агрохимических параметров почвы (определение содержания гумуса по методу Тюрина, pH солевой вытяжки, подвижного фосфора по методу Кирсанова, обменного калия пламенно-фотометрическим методом).

Оценка результатов проводилась с учетом фаз вегетации (органогенеза) культур и гидротермического коэффициента (ГТК) регионов возделывания.

Результаты и обсуждение

Физиологическая роль аминокислотных комплексов

Анализируемые препараты включают в себя регуляторы роста, стимуляторы метаболических процессов и биологически активные компоненты. Механизм их действия основан на том, что при стрессе (засуха, жара, гербицидная обработка) синтез аминокислот в растении блокируется, начинается распад белков, что ведет к накоплению токсичного аммиака и старению листьев. Внесение готовых L-аминокислот (глутаминовая кислота, пролин, глицин, лизин) мгновенно перезапускает метаболизм. Пролин действует как осмопротектор, удерживая влагу в клетках; глутаминовая кислота стимулирует прорастание пыльцы; глицин является предшественником порфиринового кольца хлорофилла, напрямую усиливая фотосинтез.

Влияние на продуктивность яровой пшеницы

Анализ результатов фундаментальных исследований, проведенных коллективом авторов (Бобренко И.А., Попова В.И., Кормин В.П., Гоман Н.В., Болдышева Е.П., Чернявская М.А.) в условиях лугово-чернозёмных почв Омской области, выявил высокую рентабельность использования биологических удобрений и стимуляторов роста в технологии предпосевной обработки семян и подкормок по вегетации. В контрольном варианте (без обработок) урожайность яровой пшеницы составила 2,41 т/га. Применение исследуемых препаратов привело к статистически достоверному увеличению данного показателя до 2,70 – 2,88 т/га (рис. 1).

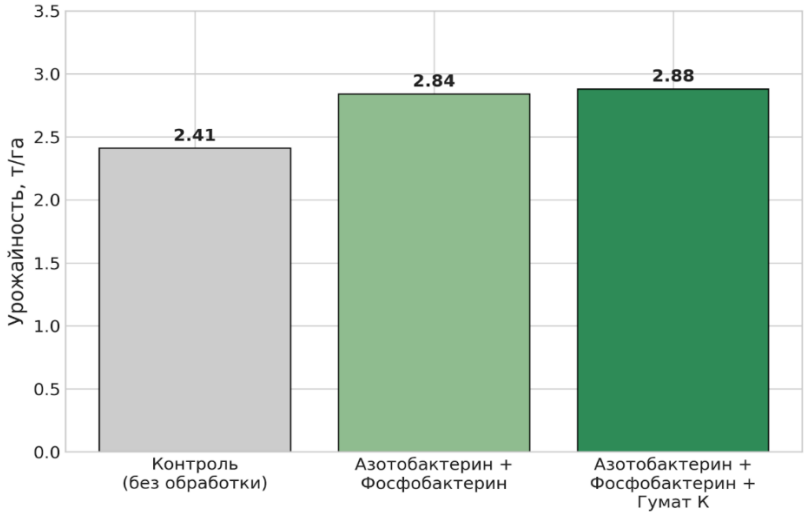


Рисунок 1. Влияние биопрепаратов на урожайность яровой пшеницы (с учетом, что почвенный слой (лугово-черноземные почвы)) / Figure 1. The effect of biological products on the yield of spring wheat (taking into account that the soil layer (meadow-chernozem soils))

Наиболее значительный синергетический эффект был достигнут при использовании бинарной композиции азотобактерина и фосфобактерина с добавлением гумата калия (азотобактерин + фосфобактерин + гумат К). Эта схема обеспечила прибавку урожайности на 0,47 т/га (к контролю). Использование только бактериальных препаратов дало прибавку в 0,43 т/га. Данные результаты доказывают, что гуминовые вещества и аминокислоты выступают катализаторами для почвенной микрофлоры, улучшая азотфиксацию и мобилизацию труднодоступных фосфатов почвы [5].

Влияние на рост, развитие и урожайность кукурузы

В работах Торикова В.Е. и соавторов представлен детальный статистический анализ влияния стимулятора роста «Технокель Амино Молибден» (Teknokel Amino Mo) на урожайность и кормовые качества гибридов кукурузы различных групп спелости: раннеспелых (НК Фалькон ФАО 190), среднеранних (Делитоп ФАО 210) и среднеспелых (ДКС 3717 ФАО 280) в условиях Центрально-Черноземной зоны (ЦЧЗ) рис.2 [6].

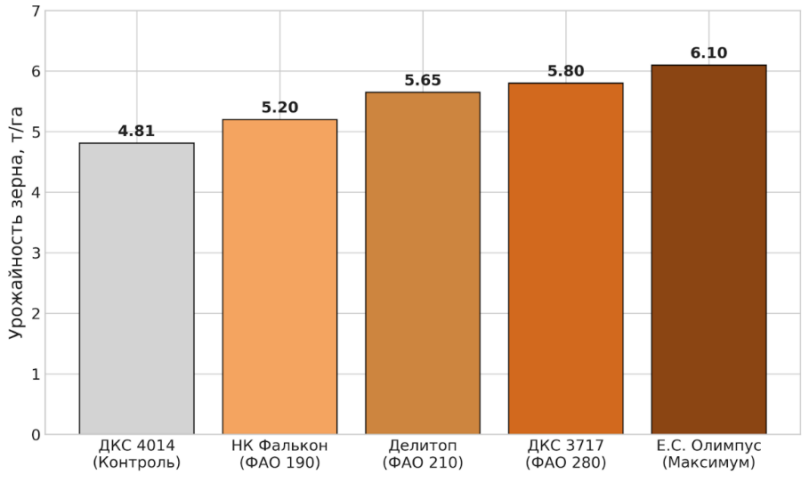


Рисунок 2. Влияние стимуляторов роста (Teknokel Amino Mo) на урожайность и кормовые качества гибридов кукурузы различных групп спелости/ Figure 2. Effect of growth stimulants (Teknokel Amino Mo) on yield and fodder quality of corn hybrids of different maturity groups

«Текнокель Амино Молибден» представляет собой инновационное жидкое микроудобрение. Молибден играет критическую роль в азотном обмене растений – он входит в состав фермента нитратредуктазы, который переводит нитратный азот в аминный. Без молибдена азот накапливается в листьях в виде нитратов, отравляя растение. Наличие в препарате свободных L-аминокислот выполняет транспортную функцию, повышая биодоступность молибдена почти до 100%. Результаты полевых опытов (2015–2020 гг.) показали, что гибриды демонстрировали дифференцированную реакцию на препарат в зависимости от ГТК года. Уровень урожайности варьировал от 4,81 т/га на контроле (гибрид ДКС 4014) до 6,1 т/га при использовании микроудобрения на гибриде Е.С. Олимпус. Внесение препарата в фазу 4-6 листьев (период закладки початка) достоверно повышало кормовые качества зерна (содержание протеина и крахмала). Наибольшую отзывчивость проявили гибриды Делитоп и ДКС 3717 [6].

В исследованиях Тычинской И.Л. и Панприной В.И. изучалось влияние хелатных форм микроэлементов с аминокислотами серии «Интермаг Профи» (ООО «ИНЕРМАГ»). Особое внимание уделялось хелату меди (EDTA Cu). Медь является структурным компонентом пластоцианина – белка, участвующего в электронном транспорте при фотосинтезе. Применение медьсодержащих аминокислотных комплексов способствовало интенсивному синтезу хлорофилла, увеличению площади ассимиляционной поверхности и повышению устойчивости кукурузы к грибным патогенам (пузырчатая головня, фузариоз) за счет синтеза лигнина в клеточных стенках [7].

Специалистами Чувашского государственного аграрного университета изучалось комплексное воздействие биостимулятора «БОСТИМ» и микроудобрения «Интермаг Профи» на выщелоченных черноземах. Установлено, что двукратная обработка в фазах 4-6 и 7-9 листьев в дозах 0,5, 1,0 и 1,5 л/га резко увеличивала транслокацию N, P, K из почвы в растение к фазе 10-12 листьев. Это доказывает, что листовые аминокислотные подкормки стимулируют развитие корневой системы (эффект «корневого насоса»), снижая чувствительность культуры к почвенной засухе [7, 8].

Влияние на устойчивость и продуктивность ячменя и пшеницы (Поволжье).

В условиях рискованного земледелия Среднего Поволжья (частые весенне-летние засухи) применение антистрессантов становится обязательным элементом технологии. В экспериментах на базе ФГБНУ «Поволжский НИИСС» (2010–2014 гг.) под руководством Глуховцева В.В. изучалась эффективность препаратов «Нутривант Плюс Зерновой», «Аминокат 30%» и «Флорон» на мягкой яровой пшенице и ячмене. «Аминокат 30%» – это мощный органоминеральный антистрессант, получаемый путем ферментативного гидролиза растительного протеина. Содержит 30% свободных аминокислот (глутаминовая кислота - 7,2%, лизин - 4,2%, глицин - 3,6%), а также NPK (3:1:1).

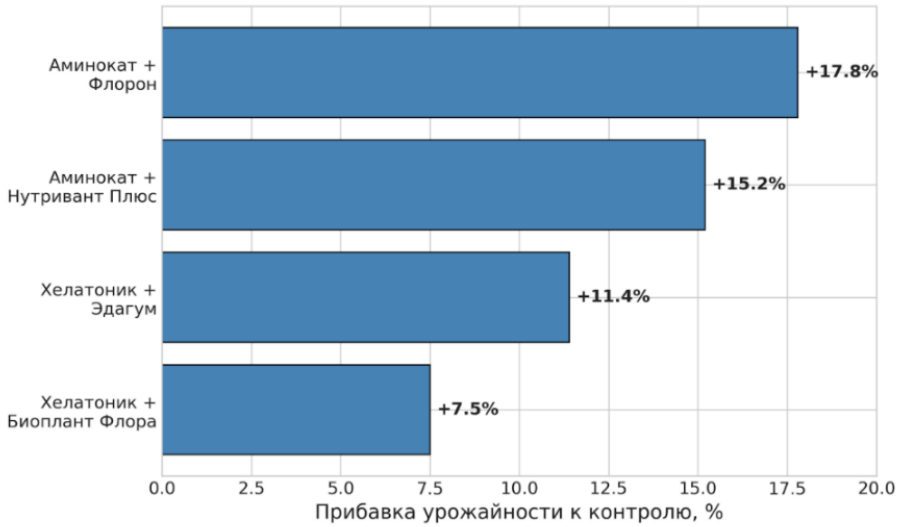


Рисунок 3. Эффект воздействия комплексов аминокислот и микроудобрений на посевы ярового ячменя (ГТК =0,7) Figure 3. Effect of amino acid and micronutrient complexes on spring barley crops (GTC = 0.7)

Применение баковых смесей («Нутривант Плюс» + «Аминокат 30%» и «Флорон» + «Аминокат 30%») обеспечило прибавку урожая пшеницы на 10–17% (1,1–2,1 ц/га к контролю). Высокая концентрация глутаминовой кислоты и глицина обеспечила быструю регенерацию тканей после гербицидного стресса и температурных шоков. Аминокислоты выступили прекурсорами фитогормонов (ауксинов), стимулируя ростовые процессы [9, 10].

На посевах ярового ячменя (Глуховцев В.В., Кукушкина Л.А., Дёмина Е.А.) в условиях жесткой засухи (ГТК = 0,7) применение комплексов «Аминокат + Флорон», «Хелатоник + Эдагум» привело к сохранению продуктивного стеблестоя и увеличению массы 1000 зерен. Прибавка урожайности зерна ячменя составила от 7,5% до 17,8% рис.3. Препараты пролонгировали работу флагового листа, что критически важно для налива зерна у колосовых культур рис.3[9, 10].

Заключение

Проведенный глубокий систематический анализ отечественной научной литературы и результатов полевых испытаний неопровержимо подтверждает высокую агрономическую и экономическую эффективность применения аминокислотных биостимуляторов при возделывании кукурузы, яровой пшеницы и ячменя в различных почвенно-климатических зонах РФ.

1. Интеграция в схемы защиты и питания таких препаратов, как «Технокель Амино Молибден», «Аминокат 30%», «Интермаг Профи» и бактериальных комплексов, обеспечивает достоверный прирост урожайности (в среднем на 10-20%).
2. На физиологическом уровне свободные L-аминокислоты выступают в роли мощных антистрессантов, осмопротекторов и хелатирующих агентов. Они оптимизируют метаболические процессы, ускоряют синтез хлорофилла, улучшают габитус растений и повышают интенсивность фотосинтеза.
3. Применение данных биостимуляторов способствует улучшению агрохимических характеристик ризосферы, стимулируя поглощение почвенных запасов фосфора, калия и азота.
4. Развитие данного агротехнологического направления открывает перспективы для научно обоснованного снижения гектарных норм внесения традиционных минеральных удобрений (на 15-25%) и пестицидов без потери продуктивности. Это делает технологии возделывания более экологичными, рентабельными и устойчивыми к глобальным изменениям климата.

Список источников

1. Шмалько И.А., Багринцева В.Н. Густота стояния растений – один из основных факторов высокой урожайности гибридов кукурузы // Земледелие. 2019. – №1. – С.21-23. DOI: 10.24411/0044-3919-10106.

2. Байкалова Л.П., Попов В.Ю. Питательная ценность и продуктивность зеленой массы яровых пшеницы и тритикале // Вестник КрасГАУ. 2025. – № 3. – С. 62-71. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-62-71

3. Прудников, А.Д. Применение физиологически активных веществ при выращивании раннеспелых гибридов кукурузы в Смоленской области. // А.Д. Прудников / Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса. Мат 69 Межд науч.- практ. Конф.- Рязань. – 28.04.2018г. – Т.1. – С. 71-75.

4. Прудников А. Д., Курятов П. А. Аминокислотные биостимуляторы в процессе роста, развития и продуктивности раннеспелых гибридов кукурузы в условиях смоленской области // Вестник РГАТУ. – 2019. – № 2 (42). – С.41-46.

5. Бобренко И. А., Попова В. И., Кормин В. П., Гоман Н. В., Болдышева Е. П., Чернявская М. А. Применение биологических удобрений и стимуляторов роста при возделывании яровой пшеницы // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2021. – № 4 (27) октябрь – декабрь - URL http://ejournal.omgau.ru/images/issues/2021/4/00984.pdf.

6. Ториков В.Е., Привалко К.И., Малышева Е.В., Паликов М.И. Оценка уровня влияния микроудобрений на урожайность кукурузы, качество и кормовую ценность зерна // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – №1 – С.41-48.

7. Тычинская И.Л., Панприна В.И. Опыт применения микроудобрений серии Интермаг Профи и биостимуляторы Биостим на различных сельскохозяйственных культурах (обзор) // Вестник аграрной науки. – 2020. – 6(87). – С.45-54.

8. Куликов Л.В. Динамика питательных элементов в растениях кукурузы под влиянием некорневых подкормок // Агрохимический вестник. - 2016. - №4 – С.46-48.

9. Глуховцев, В.В. Стимуляторы роста в современных технологиях возделывания яровой пшеницы / В.В. Глуховцев, Л. А. Кукушкина, Е. А. Дёмина // Успехи современной науки. – 2015. – № 5. – С. 19-21.

10. Глуховцев, В.В. Особенности реакции сортов ярового ячменя на внекорневые подкормки в условиях среднего Поволжья / В.В. Глуховцев, Н.В. Санина, А.А. Апаликов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (56). – С. 20-23.

References

1. 1. Shmal'ko I.A., Bagrintseva V.N. Gustota stoyaniya rastenii – odin iz osnovnykh faktorov vysokoi urozhainosti gibridov kukuruzy // Zemledelie. 2019. – №1. – S.21-23. DOI: 10.24411/0044-3919-10106.

2. Baikalova L.P., Popov V.Yu. Pitatel'naya tsennost' i produktivnost' zelenoi massy yarovykh pshenitsy i tritikale // Vestnik KrasGAU. 2025. – № 3. – S. 62-71. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-62-71

3. Prudnikov, A.D. Primenenie fiziologicheski aktivnykh veshchestv pri vyrashchivanii rannespelykh gibridov kukuruzy v Smolenskoi oblasti. // A.D. Prudnikov / Innovatsionnoe nauchno-obrazovatel'noe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa. Mat 69 Mezhd nauch.- prakt. Konf.- Ryazan'. – 28.04.2018g. – T.1. – S. 71-75.

4. Prudnikov A. D., Kuryatov P. A. Aminokislotnye biostimulyatory v protsesse rosta, razvitiya i produktivnosti rannespelykh gibridov kukuruzy v usloviyakh smolenskoi oblasti // Vestnik RGATU. – 2019. – № 2 (42). – S.41-46.

5. Bobrenko I. A., Popova V. I., Kormin V. P., Goman N. V., Boldysheva E. P., Chernyavskaya M. A. Primenenie biologicheskikh udobrenii i stimulyatorov rosta pri vozdelyvanii yarovoi pshenitsy // Ehlektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal Omskogo GAU. – 2021. – № 4 (27) oktyabr' – dekabr' - URL http://ejournal.omgau.ru/images/issues/2021/4/00984.pdf.

6. Torikov V.E., Privalko K.I., Malysheva E.V., Palikov M.I. Otsenka urovnya vliyaniya mikroudobrenii na urozhainost' kukuruzy, kachestvo i kormovuyu tsennost' zerna // Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2025. – №1 – S.41-48.

7. Tychinskaya I.L., Panprina V.I. Opyt primeneniya mikroudobrenii serii Intermag Profi i biostimulyatory Biostim na razlichnykh sel'skokhozyaistvennykh kul'turakh (obzor) // Vestnik agrarnoi nauki. – 2020. – 6(87). – S.45-54.

8. Kulikov L.V. Dinamika pitatel'nykh ehlementov v rasteniyakh kukuruzy pod vliyaniem nekornevykh podkormok // Agrokhimicheskii vestnik. - 2016. - №4 – S.46-48.

9. Glukhovtsev, V.V. Stimulyatory rosta v sovremennykh tekhnologiyakh vozdelyvaniya yarovoi pshenitsy / V.V. Glukhovtsev, L. A. Kukushkina, E. A. Demina // Uspekhi sovremennoi nauki. – 2015. – № 5. – S. 19-21.

10. Glukhovtsev, V.V. Osobennosti reaktsii sortov yarovogo yachmenya na vnekornevye podkormki v usloviyakh srednego Povolzh'ya / V.V. Glukhovtsev, N.V. Sanina, A.A. Apalikov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 6 (56). – S. 20-23.

Информация об авторах

Оробинская Валерия Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Отдела планирования и организации научно-исследовательской работы, доцент кафедры Технологии продуктов питания и товароведения Пятигорский институт (филиал) Северо-Кавказский Федеральный университет; старший научный сотрудник лаборатории «Агрохимии», ФГБНУ «ВНИИ кукурузы», orobinskaya.val@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-0320-0556

Вклад автора: автором проведен анализ, подготовлена научная публикация

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Orobinskaya Valeria Nikolaevna, candidate of technical sciences, senior researcher at the department of planning and organization of research, associate professor at the department of food technology and commodity science Pyatigorsk Institute (branch) Notrh-Caucasus Federal University, orobinskaya.val@yandex.ru , ORCID: 0000-0002-0320-0556

Contribution of the authors: all authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Conflict of interest: The author declare that there is no conflict of interest

Современная наука и инновации. 2026. № 3. С. 130-166
ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Modern Science and Innovations. 2026;(3):130-166
POLITICAL SCIENCES

Научная статья
УДК 327.7. 34
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.11

Политические аспекты формирования грждански-патриотических ценностей в контексте онлайн образования в России: проблемы и перспективы

Ковалев Павел Александрович, Эдуард Анатольевич Пронин[1,*]

[1]ФГАОУ ВО Государственный университет просвещения, г. Москва, Россия
edpronin@yandex.ru
posarnay32@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку: **Пронин Эдуард Анатольевич** edpronin@yandex.ru

Аннотация: ***Введение.*** Дистанционное обучение в настоящее время не развито. Дистанционное обучение необходимо повсеместно распространять, особенно в период экономического кризиса. ***Методология исследования***. Дистанционное обучение – это образование в любое удобное время для учащихся. Этот метод обучения чаще всего рекомендуется использовать студентам заочной формы, людям, получающим второе высшее образование и для тех, кто не может в данный момент времени по той или иной причине обучаться на дневной форме. Для студентов первокурсников не рекомендуется такая форма получения образования, так как у них еще нет сформировавшегося представления о накоплении знаний и их использовании. ***Результаты и обсуждения***. Динамика в сегменте детского онлайн-образования остается положительной, но также замедляется: рост в 2025 году составил 22,2% против 32,6% годом ранее. При этом позиции детского направления, по оценке Дарьи Рыжковой, более стабильны по сравнению с дополнительным профессиональным образованием. ***Заключение.*** Значительно ухудшились показатели школ программирования для детей, которые в 2024 году были драйвером роста; по итогам 2025 года многие из них показали отрицательную динамику.
Ключевые слова: дистанционное образование, онлайн образование, доступность, процесс обучения.

Для цитирования: Ковалев П.А, Пронин Э.А. Политические аспекты формирования грждански-патриотических ценностей в контексте онлайн образования в России: проблемы и перспективы. // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 130-134. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.11

Конфликт интересов: Авторы заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 20.04.2026;
одобрена после рецензирования 30.04.2026;
принята к публикации 14.05.2026.

Research article

© Ковалев П.А, Пронин Э.А., 2026

Research article

Political aspects of the formation of civic and patriotic values in the context of online education in Russia: Challenges and Prospects

Pavel A Kovalev, Eduard A. Pronin [1,*]

[1 1] State University of Education, Moscow, Russia, Russia),
[1] edpronin@yandex.ru
posarnay32@mail.ru

*Corresponding author: **Eduard A. Pronin,** posarnay32@mail.ru

Abstract: Introduction. Distance learning is currently underdeveloped. It needs to be widely disseminated, especially during times of economic crisis. **Research Methodology**. Distance learning is education delivered at a time convenient for students. This teaching method is most often recommended for part-time students, those pursuing a second degree, and those who, for one reason or another, are unable to attend full-time education. This form of education is not recommended for first-year students, as they do not yet have a well-developed understanding of how to accumulate and utilize knowledge.Results and discussion. The growth in children's online education remains positive, but is slowing: growth in 2025 was 22.2%, compared to 32.6% the year before. Moreover, according to Daria Ryzhkova, the children's segment's position is more stable compared to continuing professional education. The performance of programming schools for children, which drove growth in 2024, has significantly worsened; by the end of 2025, many of them showed negative growth.

Keywords: distance education, online education, accessibility, learning process.

For citation: Eduard A. Pronin Political aspects of the formation of civic and patriotic values in the context of online education in Russia: Challenges and Prospects. *Modern Science and Innovations*. 2026 ;(2):130-134. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.11

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 20.04.2026;
approved after reviewing 30.04.2026;
accepted for publication 14.05.2026.

Introduction

Until recently, *online education didn't even exist*. To obtain an education or take additional courses, students had to attend lectures daily, write coursework, and complete practical assignments. Even distance learning included mandatory in-person sessions.

Currently, especially during a global crisis, many people cannot afford to travel abroad, or even within the country. Not everyone can afford to just go to another city to attend a seminar or listen to a lecture.

Distance learning and distance education gradually developed. Initially, these were correspondence courses with materials sent by mail. Later, educational materials became not only printed but also included audio recordings, then video lectures. Finally, online education became possible, with the emergence of video seminars and webinars [1,6].

Research methodology.

Distance learning is education that can be completed at any time convenient for students. This method of learning is most often recommended for part-time students, those pursuing a second degree, and those who, for whatever reason, cannot currently attend full-time education. This method of education is not recommended for first-year students, as they have not yet developed a clear understanding of how knowledge is accumulated and applied.

This idea was first proposed abroad in the 1960s. This system is now over 40 years old and successfully produces a large number of specialists.

There are currently a few distance learning websites registered in Russia, but not all of them are active.

Distance learning is an increasingly popular and important part of the education system today. Modern technology and educational methods make distance learning understandable, visual, and accessible to everyone.

Importantly, distance education is not only high-quality but also accessible. After all, tuition for programs using distance learning technologies is always lower than for programs that rely solely on traditional forms of instruction.

Another important advantage of distance learning is the opportunity to study and improve your professional skills without disrupting your work, family, or other academic commitments. You can study at your own pace, anytime, and anywhere in the world.

We live in exciting times: opportunities are ever-increasing, information is becoming more accessible and easier to obtain. Constant improvement and learning, expanding one's horizons, are one of the keys to happiness. Therefore, many are pursuing a second or even third higher education degree, hoping to better understand themselves and become more adaptable to rapidly changing lives and careers. In other words, learning and acquiring knowledge should now be a continuous process [2,5].

When it comes to receiving a classical higher education, everyone imagines a university: a professor giving lectures, seminars, laboratory practical training (for technical fields), libraries, a campus, etc.

Results and discussions.

The learning process involves interaction between the teacher, the student, and the learning tools. The capabilities of modern computers and information technology allow the learning tools to perform some of the teacher's and some of the student's functions typically found in traditional learning. Information technology in online learning serves as a tool that:

• provide students with remote access not only to educational materials, but also to a large amount of reference information in additional, accompanying form;

• Provide students with the means to communicate with online tutors, as well as with each other; today, technical capabilities exist for students located far from the educational center (school, university, college, lyceum) to listen to and watch lectures, participate in video conferences, receive consultations, perform computer lab experiments, and so on.

• They manage and monitor the learning process; the student must first ensure that they have grasped the material being studied, understood it, memorized its key concepts, and learned to apply them to solve practical problems. On the other hand, the online teacher's active role is no less important, as their job is not only to ensure the student's knowledge but also—as in face-to-face learning - to make decisions about adjusting the curriculum to ensure optimal learning.

• provide the opportunity to create effective simulators, visualization tools, and the maximum use of various methods of presenting information: text, graphics, video, sound, animation, i.e., what is called "multimedia."

A key element of building online learning is providing remote access to educational content. Online learning options such as virtual schools, distance learning courses, and the like are becoming increasingly popular. [3]

Currently, the concept of “online education” is not defined in the Federal Law of 29.12.2012 N 273-FZ “On Education in the Russian Federation” (hereinafter referred to as the Law).

In accordance with Article 16 of the Law, e-learning is understood as the organization of educational activities using information contained in databases and used in the implementation of educational programs and information technologies, technical means, as well as information and telecommunications networks that ensure its processing, ensuring the transmission of said information via communication lines, interaction between students and teaching staff, and distance educational technologies are understood as educational technologies implemented mainly using information and telecommunications networks with indirect (at a distance) interaction between students and teaching staff [4].

Organizations carrying out educational activities have the right to use e-learning and distance learning technologies in the implementation of educational programs in the manner established by

the federal executive body exercising functions on the development of state policy and legal regulation in the field of education (Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated 09.01.2025 N 3 "On approval of the Procedure for the application by organizations carrying out educational activities of e-learning and distance learning technologies in the implementation of educational programs").

When implementing educational programs or parts thereof using e-learning and distance learning technologies: organizations provide educational and methodological assistance to students, including in the form of individual consultations provided remotely using information and telecommunication technologies;

- organizations independently determine the volume of classroom workload and the ratio of the volume of classes conducted through direct interaction between a teaching staff member and a student, and educational classes using e-learning and distance learning technologies;
- the absence of classroom studies is permitted; the place of implementation of educational activities is the location of the organization or its branch, regardless of the location of the students;
- Organizations ensure that the level of training of pedagogical, scientific, educational support, and administrative and economic workers of the organization in accordance with additional professional programs corresponds to the technologies used.

There is a list of professions, specialties and areas of training, the implementation of educational programs for which is not permitted using exclusively e-learning and distance learning technologies, which is approved by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated 20.01.2014 N 22 "On approval of the lists of professions and specialties of secondary vocational education, the implementation of educational programs for which is not permitted using exclusively e-learning and distance learning technologies").

It should be noted that, according to many scholars, in order to effectively implement civic-patriotic education, educational institutions must develop courses or work programs on civic and military- patriotic education that reflect the pedagogical techniques implemented by teachers and students in the classroom within the framework of these programs or courses. These work programs and courses can include various forms of interaction between teachers and students: communication hours, lectures, multi-level Olympiads, excursions, competitions on the topic of patriotism, etc. There are techniques that can be applied in the work of each teacher, such as collective and individual research projects and project planning.

Список источников

1. Конституция Российской Федерации (принята на всенародном голосовании 12 декабря 1993 г.) // Российская газета. 1993. 25 декабря. № 237. 3-7 с.
2. Закон РФ от 05.03.1992 № 2446-1 (ред. от 26.06.2008) «О безопасности» // Российская газета. 1992. 6 мая. № 103. 1-10 с.Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. N 537 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года" // Российская газета. 2009. 19 мая № 4912. http://te-st.ru/2013/02/01/online-education/ Блинова М. В. Статья «Что это такое - онлайн обучение?», сайт «Дистанционный репетитор» http://webinar.tw/primenenie-vebinarov/udal-nnoe-obrazovanie.html, 2014.Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
3. Журинов М. Ж., Пронин Э. А. Глобальная конфликтология: политика и национальная безопасность: Монография. [Текст] / М. Ж. Журинов, Э. А. Пронин НОАНО ВПО Социальный институт экономической безопасности Домодедово: Изд-во СПИЭП, 2016. -237с.
4. Морозова Г. П., Пронин Э. А., Александров Д. Н., Гезалова А. А., Петров А. А. Информационная экология: монография. - М.: Полиграф сервис 2019. - 530 С.
5. Пронин Э.А., Современный университет в информационном мире// Акредитация в образовании 2017. № 6 (98) С. 23.
6. Пронин Э. А., Ченряева Н. Н., Постмодерное критическое сознание в современном

образовании// Право. Экономика. Безопасность. 2017., № 1-2 (10) С. 166-170.

References

1. The Constitution of the Russian Federation (adopted by popular vote on December 12, 1993). Rossiyskaya Gazeta. 1993. December 25. No. 237. 3-7 p.

2. Law of the Russian Federation No. 2446-1 dated March 5, 1992 (as amended on June 26, 2008) "On Security" // Rossiyskaya Gazeta. 1992. May 6. No. 103. 1-10 p. Decree of the President of the Russian Federation dated May 12, 2009, No. 537 "On the National Security Strategy of the Russian Federation until 2020" // Rossiyskaya Gazeta. 2009. May 19, No. 4912. http://te-st.ru/2013/02/01/online-education/ Blinova M. V. Article "What is Online Education?", website "Remote Tutor"http://webinar.tw/primenenie-vebinarov/udal-nnoe-obrazovanie.html, 2014. Federal Law No. 273-FZ dated December 29, 2012, "On Education in the Russian Federation".

3. Zhurinov, M. Zh., Pronin, E. A. Global Conflictology: Politics and National Security: Monograph. [Text] / M. Zh. Zhurin, E. A. Pronin NOANO VPO Social Institute of Economic Security Domodedovo: Publishing House SPIEP, 2016.- -237s.

5. Pronin E.A., The Modern University in the Information World. Accreditation in Education 2017., No. 6 (98) P. 23.

6. Pronin E. A., Chenryaeva N. N., Postmodern Critical Consciousness in Modern Education. Right. Economy. Safety. 2017., No. 1-2 (10), pp. 166-170.

Информация об авторах

Эдуард Анатолевич Пронин – доктор политических наук, профессор, профессор Государственного университета просвещения, академик МАНПО, действительный член филосовского общества РАН, действительный член Академии фундаментальных наук, Ph. D., Grand Ph.D., Full., prof., (**Kingdom of Belgium, Brussels**), I DK-4957-2013 ID: Web of Science K-4957-2013, ID https://orcid.org/0000-0003-2312-9547

Ковалев Павел Алексеевич – кандидат психологических наук, доцент, декан факультета безопасности жизнедеятельности Государственного университета просвещения

Вклад авторов:

Эдуард Анатолевич Пронин

Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Ковалев Павел Александрович

Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне

Information about the authors

Eduard Anatolevich Pronin - Doctor of Political Sciences, Professor, Professor at the State University of Education, Academician of the International Academy of Education, Full Member of the Philosophical Society of the Russian Academy of Sciences, Full Member of the Academy of Fundamental Sciences, Ph. D., Grand Ph.D., Full., prof., (Kingdom of Belgium, Brussels), I DK-4957-2013 ID: Web of Science K-4957-2013, ID https://orcid.org/0000-0003-2312-9547

Pavel Alekseevich Kovalev – Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, and Dean of the Faculty of Life Safety at the State University of Education.

Contribution of the authors:

Eduard Anatolevich Pronin

Conducting research – collecting, interpreting, and analyzing the obtained data.

Approving the final version – taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article, and its final version.

Kovalev Pavel Aleksandrovich

Preparing and editing the text – drafting the manuscript and forming its final version, and participating in the scientific design.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 135-141
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):135-141
SHORT REPORTS

Научная статья
УДК 614.31:633.1:613.2.

https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.12

Микотоксины в кукурузе: от полевой патологии к угрозе здоровью животных и человека (обзор)

Елена Анатольевна Даниленко[1]

[1]ФГБНУ ВНИИ кукурузы, г. Пятигорск
yelena.danilenko.77@mail.ru*

Автор, ответственный за переписку**: Елена Анатольевна Даниленко**, yelena.danilenko.77@mail.ru

Аннотация. Кукуруза сильно подвержена поражению токсигенными микромицетами. Микотоксины накапливаются в товарном зерне и представляют серьезную угрозу для общественной пищевой безопасности, вызывая токсикозы у человека и животных. Целью работы является систематизация современных научных данных о переходе опасных микотоксинов из полевой патологии кукурузы в реальную угрозу для здоровья, а также критический анализ эффективности существующих методов их лабораторной диагностики. В обзоре подробно рассмотрен патогенетический потенциал ключевых фузариотоксинов (дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины), афлатоксинов рода *Aspergillus* и альтернариола. Проведен сравнительный анализ методов детекции этих экотоксикантов. Показано, что для количественного определения вторичных метаболитов наиболее эффективен иммуноферментный анализ (ИФА), в то время как ПЦР-диагностика является комплементарным инструментом для раннего выявления фитопатогенов в полевых условиях. Научная новизна работы заключается в том, что проблема микотоксинов впервые рассмотрена не изолированно, а как сквозной процесс трансформации полевой фитопатологии в непосредственную угрозу здоровью потребителя. Предложенный комплексный подход позволяет объединить агрономические, ветеринарные и медицинские аспекты в рамках единой пищевой цепи («от поля до стола»). Защита населения от воздействия микотоксинов требует междисциплинарного контроля, связывающего полевой мониторинг, условия хранения зерна и санитарно-гигиеническую экспертизу.

Ключевые слова: кукуруза, микотоксины, фузариотоксины, афлатоксины, альтернариол, безопасность пищевых продуктов, ИФА, ПЦР-диагностика.

Для цитирования: Даниленко Е.А. Микотоксины в кукурузеот полевой патологии к угрозе здоровью животных и человека (обзор)// Современная наука и инновации. 2026. № 2 С.135-141 . https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.12

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026
Research article

© Даниленко Е.А., 2026

Research article

Mycotoxins in maize: from field pathology to animal and human health threats (a review)

Elena A. Danilenko[1,*]

[1]FSBIS "All-Russian Research Institute of Corn"

yelena.danilenko.77@mail.ru*

*Corresponding author: **Elena A. Danilenko**, yelena.danilenko.77@mail.ru

Abstract Abstract. Maize is highly susceptible to contamination by toxigenic micromycetes. Mycotoxins accumulate in commercial grain and pose a serious threat to public food safety, causing toxicosis in both humans and animals. This study aims to systematize current scientific data on the transition of hazardous mycotoxins from a field pathology in maize to a real health threat, as well as to critically analyze the efficacy of existing laboratory diagnostic methods. The review thoroughly examines the pathogenetic potential of key fusariotoxins (deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins), Aspergillus aflatoxins, and alternariol. A comparative analysis of detection methods for these ecotoxicants was performed. The results show that enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) is the most effective and cost-efficient method for the quantitative determination of the secondary metabolites themselves, whereas PCR diagnostics serves as a complementary tool that enables early detection of phytopathogens under field conditions. The scientific novelty of this work lies in the fact that the mycotoxin problem is considered not in isolation, but as an end-to-end transformation of field phytopathology into a direct threat to consumer health. The proposed integrated approach allows for the consolidation of agronomic, veterinary, and medical aspects within a single "farm-to-fork" food chain. Protecting the population from mycotoxin exposure requires interdisciplinary control that links field monitoring, grain storage conditions, and rapid sanitary-hygienic expertise.

Keywords: corn, mycotoxins, fusariotoxins, aflatoxins, alternariol, food safety, ELISA, PCR diagnostics.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Elena A. Danilenko The Mycotoxins in maize: from field pathology to animal and human health threats (review)// Modern Science and Innovations. 2026. No. 2. Pp.135-141 https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.12

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

The article was submitted to the editorial office on 01.12.2025
approved after reviewing on 01.02.2026;
accepted for publication on 01.03.202

Введение

Кукуруза (*Zea mays* L.) — одна из ключевых сельскохозяйственных культур, важная для продовольственной и кормовой безопасности. Однако её посевы поражаются токсигенными грибами — продуцентами микотоксинов, устойчивых к термообработке и хранению токсичных соединений. Эти вещества накапливаются в зерне и проходят по всей цепочке, попадая в корма и продукты питания [1].

Сегодня проблема микотоксинов выходит за рамки агрономии, становясь вопросом концепции «Единого здоровья» (One Health). У сельскохозяйственных животных они вызывают микотоксикозы и снижают продуктивность. Для человека скрытая угроза реализуется через алиментарный путь — как при прямом употреблении продуктов переработки загрязненного зерна, так и опосредованно, через продукты животноводства (молоко, мясо, яйца), содержащие метаболиты токсинов [1,2].

Хотя основное внимание традиционно уделяется фузариотоксинам (дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины), из-за изменения климата активно распространяются грибы родов

Aspergillus P. Micheli ex Link и *Alternaria* Nees, вырабатывающие канцерогенные афлатоксины и «всплывающие» (emerging) токсины, такие как альтернариол [3].

Проблема загрязнения зерновых культур микотоксинами носит повсеместный характер. Мониторинг продовольственного зерна в Российской Федерации на примере урожая 2020 года наглядно демонстрирует высокий риск именно сочетанного (микст) загрязнения урожая сразу несколькими метаболитами, среди которых наиболее распространены дезоксиниваленол, тентоксин и циклопиазоновая кислота [4]. Это подтверждает, что в реальных условиях потребитель сталкивается не с изолированным токсином, а с их комплексом.

Цель настоящего обзора — обобщить данные о влиянии ключевых микотоксинов кукурузы на организм человека и животных, а также оценить современные методы их детекции (ИФА, ПЦР, хроматография) для обеспечения биобезопасности пищевой цепи. Для достижения поставленной цели необходимо изучить видовой состав и эколого-биологические особенности основных грибов-продуцентов микотоксинов (*Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp.), поражающих посевы кукурузы в полевой период и во время хранения, а также подробно проанализировать механизмы патогенетического воздействия ключевых фузариотоксинов (дезоксиниваленола, зеараленона, фумонизинов) на органы и системы организма человека и теплокровных животных. Кроме того, важными задачами работы являются оценка медицинских рисков, связанных с контаминацией зерна кукурузы афлатоксинами и «всплывающими» (*emerging*) токсинами грибов рода *Alternaria* (альтернариолом), и проведение сравнительного аналитического обзора современных инструментальных методов диагностики микотоксинов с выделением их преимуществ и ограничений для рутинного санитарного контроля.

Практическая значимость. Систематизированные в обзоре данные обосновывают необходимость сопряжения полевого мониторинга и лабораторного контроля зерна кукурузы. Результаты работы могут быть использованы специалистами санитарно-эпидемиологических и ветеринарных служб для оптимизации схем раннего выявления экотоксикантов в цепи «поле — корма/продукты — человек», а также исследователями для разработки мер профилактики микотоксикозов у населения и сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы

Обзор основан на системном анализе отечественных и зарубежных публикаций за последние 10 лет, найденных в базах PubMed, Google Scholar, CyberLeninka, eLIBRARY.ru, ВОЗ и ФАО по запросам «кукуруза», «микотоксины» и «пищевая безопасность». Критериями отбора являлись высокая цитируемость и достоверность данных о токсическом воздействии фитопатогенов.

Результаты и их обсуждение

Поражение кукурузы токсигенными грибами начинается в поле в период вегетации и продолжается при хранении зерна. Наиболее специфичными патогенами культуры являются микромицеты рода *Fusarium* Link (*F. graminearum* Schwabe, *F. culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc, *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg), вызывающие фузариоз початков и стеблевые гнили. В процессе жизнедеятельности эти грибы синтезируют вторичные метаболиты — фузариотоксины. С медицинской и ветеринарной точек зрения наибольшую опасность представляют три группы данных соединений: трихотецены (в частности, дезоксиниваленол), зеараленон и фумонизины [1,2].

Наряду с фузариевыми грибами, серьезную угрозу для урожая кукурузы представляют микромицеты рода *Aspergillus* P. Micheli ex Link (преимущественно *A. flavus* Link и *A. parasiticus* Speare). Будучи типичными «грибами хранения», в условиях повышенной температуры и влажности они активно колонизируют зерно, вырабатывая афлатоксины — опаснейшие гепатоканцерогены и мутагены [3,4]. Кроме того, в последние годы на фоне климатических изменений отмечается рост инфицирования посевов грибами рода *Alternaria* Nees (в частности, *A. alternata* (Fr.) Keissl.). Данные полевые патогены способны вегетировать при более низких температурах и синтезировать генотоксичные «всплывающие» (emerging) микотоксины, ключевым из которых является альтернариол [3].

Характеристика и патогенетический потенциал микотоксинов кукурузы

Среди фузариотоксинов наибольшую опасность представляют дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон (ЗЕН) и фумонизины. **Дезоксиниваленол** (вомитоксин) ингибирует синтез белка и вызывает риботоксический стресс. У животных (особенно свиней) он провоцирует рвоту и отказ от корма, а у человека приводит к поражению ЖКТ и тяжелой иммуносупрессии. **Зеараленон** является

нестероидным микоэстрогеном и, благодаря структурному сходству с эстрадиолом, связывается с эстрогеновыми рецепторами. Это вызывает гиперэстрогенизм, бесплодие и аборты у скота, а у людей повышает риск развития гормонозависимых опухолей и преждевременного полового созревания у детей. **Фумонизины** (преимущественно фумонизин B1) ингибируют церамидсинтазу, нарушая биосинтез сфинголипидов и разрушая клеточные мембраны. Они обладают выраженной видовой специфичностью, вызывая смертельную лейкоэнцефаломаляцию у лошадей и отек легких у свиней. Для человека Международное агентство по изучению рака (МАИР) классифицирует фумонизин B1 как потенциальный канцероген (группа 2B), ассоциированный с раком пищевода и дефектами нервной трубки плода [5,6].

Помимо специфических фузариотоксинов, серьезную угрозу представляют афлатоксины и альтернариол. **Афлатоксин B1** (продуцент *Aspergillus flavus Link*) является сильнейшим природным гепатоканцерогеном (Группа 1 по МАИР). Его метаболиты ковалентно связываются с ДНК, инактивируют защитный ген *TP53* и запускают развитие гепатоцеллюлярной карциномы у человека. У лактирующих животных афлатоксин трансформируется в форму M1, поступая в молоко, создавая риски для потребителей. «Всплывающий» токсин **альтернариол** (продуцент *Alternaria alternata (Fr.) Keissl*) ингибирует топоизомеразы I и II типов, индуцируя разрывы ДНК. Обладая мутагенным и цитотоксическим действием, он является фактором риска, способным вызывать поражения репродуктивной системы и рак пищевода [7,8].

Таким образом, патогенетический потенциал рассматриваемых экотоксикантов не должен оцениваться изолированно. Сквозной характер трансформации рисков в рамках единой пищевой цепи наглядно отражает трехслойный сетевой граф (рис. 1). Его топология демонстрирует переход проблемы из агрономической плоскости (уровень микромицетов *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp.) через стадию накопления метаболитов в непосредственные токсикологические угрозы для животных и человека. Направленность векторов подтверждает высокую вероятность сочетанного воздействия микст-загрязнений на организм, что обосновывает необходимость контроля в рамках концепции "Единого (One Health)

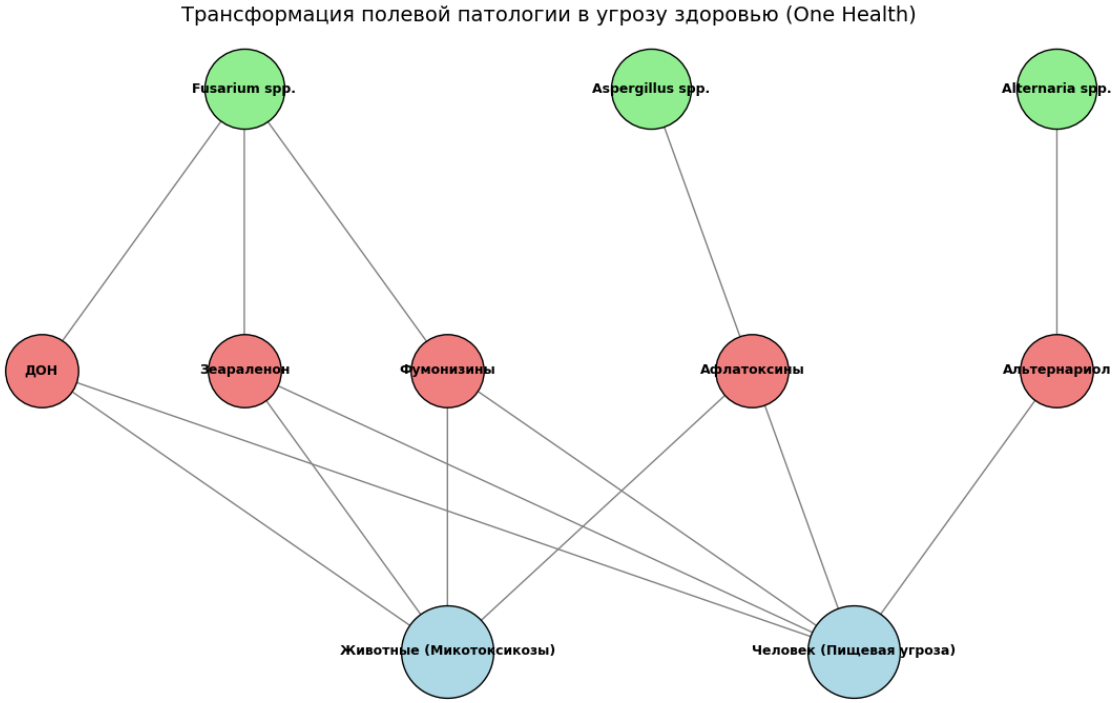


Рисунок 1. Схема сквозной трансформации полевой фитопатологии кукурузы в угрозу здоровью животных и человека в контексте концепции «Единого здоровья» (One Health)/ Fig. 1. Diagram of the end-to-end transformation of maize field phytopathology into a health threat for animals and humans within the context of the "One Health" concept.

Методы лабораторной диагностики микотоксинов кукурузы

Выбор метода лабораторного контроля определяется конкретными практическими задачами и техническими возможностями. Для массового количественного скрининга самих токсинов (ДОН, зеараленон, афлатоксины) в товарном зерне наиболее эффективен и экономически оправдан

иммуноферментный анализ (ИФА). В полевых условиях для оперативной приемки партий применяются полуколичественные экспресс-тест-полоски. В качестве арбитражных (референсных) методов для одновременного определения широкого профиля токсинов, включая альтернариол, используются высокоточные, но дорогостоящие хроматографические методы (ВЭЖХ, ХМС).

В отличие от химических методов детекции метаболитов, полимеразная цепная реакция (ПЦР) направлена на детекцию ДНК самих грибов-продуцентов. ПЦР незаменима на этапе полевого мониторинга, так как позволяет выявить скрытую зараженность посевов на латентных стадиях, задолго до начала визуального поражения початков и активного синтеза опасных микотоксинов [9,10,11].

Сравнительный анализ характеристик рассматриваемых методов наглядно обобщен на лепестковой диаграмме (рис. 2). Визуализация профилей демонстрирует отсутствие универсального инструмента контроля: высокая скорость и экономичность ИФА (ELISA) уравновешиваются точностью хроматографии и уникальным потенциалом ПЦР-диагностики в раннем выявлении фитопатогенов в полевых условиях. Это подтверждает необходимость их комплексного, комплементарного применения.

Рисунок 2. Лепестковая диаграмма сравнительного анализа аналитических и технико-экономических характеристик методов детекции микотоксинов и их продуцентов/ Fig. 2. Radar chart of the comparative analysis of analytical, technical, and economic characteristics of detection methods for mycotoxins and their producers.

Заключение.

Таким образом, сочетанное поражение кукурузы грибами родов *Fusarium*, *Aspergillus* и *Alternaria* представляет собой прямую угрозу продовольственной и ветеринарной безопасности. Специфические фузариотоксины (ДОН, зеараленон, фумонизины), афлатоксин B1 и альтернариол обладают выраженным иммуносупрессивным, гормональным, гепатотоксическим и канцерогенным действием на организм человека и животных. Эффективная защита пищевой цепи требует сквозного междисциплинарного контроля: применения ПЦР-анализа для раннего выявления ДНК фитопатогенов на латентной стадии в поле и методов ИФА или хроматографии для оперативного санитарно-гигиенического скрининга самих токсинов в товарном зерне.

Список источников

1.Батурин В. А., Филь А. А., Филев А. С. Микотоксины и безопасность пищи // Проблемы медицинской микологии.— 2025.— Т. 27, № 2. — С. 90. — URL: https://pureportal.spbu.ru/files/138203910/2_2025.pdf (дата обращения: 05.06.2026).

2.Alshannaq, A., Yu, J.-H. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food // International Journal of Environmental Research and Public Health.— 2017.— Vol. 14, № 6.— P.632.— DOI:10.3390/ijerph14060632.—URL:https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins (дата обращения: 05.06.2026).

3.Киселева М. Г., Седова И. Б., Чалый З. А., Захарова Л. П., Аристархова Т. В. Анализ продовольственного зерна в Российской Федерации на загрязнённость широким спектром микотоксинов (на примере урожая 2018 года) // Сельскохозяйственная биология. — 2021.— Т. 56, № 3.— С.559–577.— DOI:10.15389/agrobiology.2021.3.559rus.— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-prodovolstvennogo-zerna-v-rossiyskoy-federatsii-na-zagryaznennost-shirokim-spektrom-mikotoksinov-na-primere-urozhaya-2018 (дата обращения: 05.06.2026).

4.Седова И. Б., Захарова Л. П., Чалый З. А., Тутельян В. А. Анализ загрязнения продовольственного зерна урожая 2020 года различными микотоксинами в Российской Федерации // Иммунопатология, аллергология, инфектология. — 2023. — №2. — С. 77–85. — DOI:10.14427/jipai.2023.2.77. — URL:https://immunopathology.ru (дата обращения: 08.06.2026).

5.Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В., Смирнов А. М. Микотоксикологическое исследование кормового зерна кукурузы (1998–2018 гг.) // Российская сельскохозяйственная наука.— 2019.— № 3.— DOI: https://doi.org/10.31857/S2500-26272019328-31 (дата обращения: 05.06.2026).

6.Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П. Фузариоз зерновых культур // Проблемы фитосанитарии.— 2011.— № 4.— С.13–15.— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/fuzarioz-zernovyh-kultur (дата обращения:08.06.2026).

7.Munkvold G. P., Arias S., Taschl I., Gruber-Dorninger C. Mycotoxins in Corn: Occurrence, Impacts, and Management // Poultry Science. — 2024. — Vol. 103, № 9. —DOI: 10.1016/j.psj.2024.104303. — URL: https://www.researchgate.net/publication/383833872_Mycotoxin_contamination_the_nutritional_content_of_corn_targeted_for_animal_feed (дата обращения: 08.06.2026).

8.Ефимочкина Н. Р., Седова И. Б., Шевелева С. А. Токсигенные свойства микроскопических грибов // Вестник Томского государственного университета. Биология.— 2019.— № 45.— С.6–33.— URL https://cyberleninka.ru/article/n/toksigennye-svoystva-mikroskopicheskih-gribov/viewer: (дата обращения: 09.06.2026).

9.Буклагин Д. С. Методы определения микотоксинов в сельскохозяйственной продукции и кормах // Техника и технология животноводства.— 2020.— № 4 (40).— С. 57–67.— DOI: 10.34643/2713-2064-2020-4-40-57-67.— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-opredeleniya-mikotoksinov-v-selskohozyaystvennoy-produktsii-i-kormah. (дата обращения: 09.06.2026).

10.Weaver A. C., Weaver D. M., Adams N., Yiannikouris A. Co-Occurrence of 35 Mycotoxins: A Seven-Year Survey of Corn Grain and Corn Silage in the United States // Toxins.— 2021.— Vol. 13, № 8.— P. 516.— DOI: 10.3390/toxins13080516.— URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8402310/ (дата обращения: 09.06.2026).

11.Food and Agriculture Organization (FAO). Mycotoxins: A silent risk to plants, people and animals // FAO One Health Brief. Rome: FAO, 2024. URL https://www.fao.org/publications/one-health-briefs/mycotoxins (дата обращения: 09.06.2026).

References

1.Baturin V. A., Fil' A. A., Filev A. S. Mikotoksiny i bezopasnost' pishchi // Problemy meditsinskoi mikologii.— 2025.— T. 27, № 2. — S. 90. — URL: https://pureportal.spbu.ru/files/138203910/2_2025.pdf (data obrashcheniya: 05.06.2026).

2.Alshannaq, A., Yu, J.-H. Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food // International Journal of Environmental Research and Public Health.— 2017.— Vol. 14, № 6.— P.632.— DOI:10.3390/ijerph14060632.—URL:https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins (data obrashcheniya: 05.06.2026).

3.Kiseleva M. G., Sedova I. B., Chalyi Z. A., Zakharova L. P., Aristarkhova T. V. Analiz prodovol'stvennogo zerna v Rossiiskoi Federatsii na zagryaznennost' shirokim spektrom mikotoksinov (na

primere urozhaya 2018 goda) // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. — 2021.— T. 56, № 3.— S.559–577.— DOI:10.15389/agrobiology.2021.3.559rus.— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-prodovolstvennogo-zerna-v-rossiyskoy-federatsii-na-zagryaznennost-shirokim-spektrom-mikotoksinov-na-primere-urozhaya-2018 (data obrashcheniya: 05.06.2026).
4.Sedova I. B., Zakharova L. P., Chalyi Z. A., Tutel'yan V. A. Analiz zagryazneniya prodovol'stvennogo zerna urozhaya 2020 goda razlichnymi mikotoksinami v Rossiiskoi Federatsii // Immunopatologiya, allergologiya, infektologiya. — 2023. — №2. — S. 77–85. — DOI:10.14427/jipai.2023.2.77. — URL:https://immunopathology.ru (data obrashcheniya: 08.06.2026).
5.Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova E. V., Smirnov A. M. Mikotoksikologicheskoe issledovanie kormovogo zerna kukuruzy (1998–2018 gg.) // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka.— 2019.— № 3.— DOI: https://doi.org/10.31857/S2500-26272019328-31 (data obrashcheniya: 05.06.2026).
6.Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P. Fuzarioz zernovykh kul'tur // Problemy fitosanitarii.— 2011.— № 4.— S.13–15.— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/fuzarioz-zernovyh-kultur (data obrashcheniya:08.06.2026).
7.Munkvold G. P., Arias S., Taschl I., Gruber-Dorninger C. Mycotoxins in Corn: Occurrence, Impacts, and Management // Poultry Science. — 2024. — Vol. 103, № 9. —DOI: 10.1016/j.psj.2024.104303. — URL: https://www.researchgate.net/publication/383833872_Mycotoxin_contamination_the_nutritional_content_of_corn_targeted_for_animal_feed (data obrashcheniya: 08.06.2026).
8.Efimochkina N. R., Sedova I. B., Sheveleva S. A. Toksigennye svoistva mikroskopicheskikh gribov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya.— 2019.— № 45.— S.6–33.— URL https://cyberleninka.ru/article/n/toksigennye-svoystva-mikroskopicheskih-gribov/viewer: (data obrashcheniya: 09.06.2026).
9.Buklagin D. S. Metody opredeleniya mikotoksinov v sel'skokhozyaistvennoi produktsii i kormakh // Tekhnika i tekhnologiya zhivotnovodstva.— 2020.— № 4 (40).— S. 57–67.— DOI: 10.34643/2713-2064-2020-4-40-57-67.— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-opredeleniya-mikotoksinov-v-selskohozyaystvennoy-produktsii-i-kormah. (data obrashcheniya: 09.06.2026).
10.Weaver A. C., Weaver D. M., Adams N., Yiannikouris A. Co-Occurrence of 35 Mycotoxins: A Seven-Year Survey of Corn Grain and Corn Silage in the United States // Toxins.— 2021.— Vol. 13, № 8.— P. 516.— DOI: 10.3390/toxins13080516.— URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8402310/ (data obrashcheniya: 09.06.2026).
11.Food and Agriculture Organization (FAO). Mycotoxins: A silent risk to plants, people and animals // FAO One Health Brief. Rome: FAO, 2024. URL https://www.fao.org/publications/one-health-briefs/mycotoxins (data obrashcheniya: 09.06.2026).

Информация об авторах

Даниленко Елена Анатольевна, старший научный сотрудник лаборатории фитопатологии ФГБНУ «ВНИИ кукурузы», yelena.danilenko.77@mail.ru

Вклад автора: автором проведен анализ, подготовлена научная публикация

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Elena A. Danilenko, Senior Researcher, Laboratory of Phytopathology, All-Russian Research Institute of Corn, yelena.danilenko.77@mail.ru

Author's contribution: the author performed the analysis and prepared the scientific publication.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 142-147
ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):142-147
POLITICAL SCIENCE

Научная статья
УДК 321, 32.2, 659.4: 004.738.5
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.13

Модели и методы разработки PR-стратегии формирования имиджа исполнителя

Ирина Александровна Герейханова, Александр Владимирович Сливков[1*]

[1] Пятигорский государственный университет, г. Пятигорск, Россия
[1] Российский государственный гуманитарный университет (д. 6, стр. 6, Миусская пл., Москва, 125047, Россия)
[1] ma_shepelev@mail.ru
*Автор, ответственный за переписку: **Ирина Александровна Герейханова**

Аннотация. Статья посвящена теоретическим моделям и практическим методам разработки PR-стратегии формирования имиджа музыкального исполнителя. Проанализированы ключевые подходы к построению образа артистов (образ-миф, индивидуальный имидж, нарративный брендинг), методология разработки стратегии (анализ текущей ситуации, целевая аудитория, концепция, коммуникационные каналы), а также инструментарий PR и маркетинговых коммуникаций (социальные сети, СМИ, live-мероприятия, креативные активности). Сделаны практические выводы и рекомендации, включая критерии оценки эффективности (KPI).

Ключевые слова: имидж исполнителя, PR-стратегия, брендинг, шоу-бизнес, коммуникационные технологии, KPI, музыкальный маркетинг.

Для цитирования: Герейханова И.А., Сливков В.А. Модели и методы разработки PR-стратегии формирования имиджа исполнителя // Современная наука и инновации. 2026. №2. С.142–147. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.13

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

© Герейханова И.А., Сливков В.А.2026

Research article

Models and methods of developing a PR strategy for the formation of an artist's image

Irine Alexandrovna Gereikhanova, Alexander Vladimirovich Slivkov[1*]

[1] Pyatigorsk State University
[1] ma_shepelev@mail.ru

*Corresponding author: **Irine Alexandrovna Gereikhanova**

Abstract. The article is devoted to theoretical models and practical methods of developing a PR strategy for shaping the image of a musical performer. The key approaches to building the image of artists (image-myth, individual image, narrative branding), strategy development methodology (analysis of the current situation, target audience, concept, communication channels), as well as PR and marketing communication tools (social networks, mass media, live events, creative activities) are analyzed. Practical conclusions and recommendations are made, including performance evaluation criteria (KPIs).

Keywords: performer's image, PR strategy, branding, show business, communication technologies, KPI, music marketing.

For citation: Gereikhanova I.A., Slivkov V.A. Models and Methods of Developing a PR Strategy for Creating an Artist's Image. *Modern Science and Innovations*. 2026;(2):142-147. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.13

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2025.

Introduction

In modern show business, an artist's personal image determines the perception of their work and influences their competitiveness in the entertainment market. A performer's image is a combination of visual, behavioral, and communication characteristics that shape the audience's overall impression of the performer. According to P.D. Kravchenko, in the age of digital communications, image "is one of the main competitive advantages of a media personality striving for public fame" [2, p. 42]. Creating a strong image requires consideration of modern show business trends—audience activity online, rapid content consumption, and increased demands for subscriber engagement.

Without a clearly formulated strategy, it's impossible to fully develop a brand, which will lead to decreased effectiveness in engaging with the target audience. Therefore, a systematic approach to PR promotion is essential. This article aims to examine image formation models and methods for developing a PR strategy for a music artist, drawing on domestic and international research, as well as industry case studies. The structure of the paper includes an analysis of theoretical foundations (image models), a description of PR planning methodology, an overview of promotion tools and tactics, and performance evaluation criteria (KPIs).

Research methodology

The study utilizes methods of analyzing and synthesizing scientific and industry literature, as well as open data. Original research on the PR image of media personalities, music industry reports, and PR agency publications were analyzed. The methodological framework utilizes a competency-based approach (analyzing the artist's potential and the environment), questionnaires and target audience surveys, and monitoring of search queries and social media metrics. Practical recommendations from PR experts (such as the Scan-Interfax checklist) were utilized to systematize strategy development methods. The data was combined and summarized into a PR strategy framework that includes goals, audience, image, channels, and evaluation metrics.

In scientific literature, an artist's image is examined from two perspectives: as a created image and as a result of communication. O. S. Nikiforova suggests distinguishing between social (group) and individual image [5, p. 560].

An image myth (social image) is an artificially constructed "phantom" separated from the performer's actual personality. It is used to deliberately influence a mass audience through media, blogs, and advertising. The image carrier itself is not altered; only the appearance of certain qualities is created. This approach is often used to quickly spread a brand and achieve the desired public reaction.

A personal image is an artist's actual qualities and their public behavior, which is consistent with their image. This is essential to maintaining a coherent perception. In this case, it's important to emphasize strengths, while downplaying negative aspects to make them less noticeable. With this approach, the bearer of the image undergoes personal changes: developing their appearance, communication style, and stage presence, as these influence the performer's self-presentation.

The narrative-mythological approach creates a consistent narrative around the artist. It includes fictional or artistically crafted biographical details and is presented as a coherent narrative. Researchers note that such a legend allows for the construction of a performer's biography within a commercially advantageous framework [6, p. 62]. Thus, emotional associations are formed through the "myth" or legend, which maintains image recognition.

In practice, strategies can combine elements of mythologization and the development of a real image. Image creators can first build a compelling "myth" in the media (the initial phase), and then, over time, emphasize and develop the artist's real qualities to ensure long-term brand sustainability. The main goal is to ensure image consistency across all channels and the artist's actions.

As noted earlier, developing a PR strategy is an essential element in brand building. It involves sequentially planning communications activities aimed at achieving the artist's stated goals. In practice, this process is often viewed as an algorithm consisting of eight stages. In the first stage, the campaign's goals and objectives are formulated. Based on the artist's career goals, the desired outcome of the PR campaign is determined. For example, increasing awareness, increasing listenership, and strengthening the artist's image. Goals should be specific, measurable, and correlated with overall business metrics (e.g., increased ticket sales or streaming). Next, an analysis of the current situation is conducted. At this stage, the artist's existing image, strengths and weaknesses, reputation in the media and social media, and brand history are assessed. At the same time, the market, current show business trends, and competitor behavior are studied.

After this, a target audience profile is formed. It's important to understand who exactly listens to the artist: age, gender, social status, media habits, and preferences. This step is critical, as it determines the choice of channels. For example, young people aged 16-25 respond to TikTok and YouTube, while older audiences more often watch TV and listen to the radio. Next comes the branding stage—developing the artist's image concept. Here, the artist's core values and key messages are defined, and a visual and verbal style is developed: name, logo, slogan, ideology, and, if necessary, a "legend." It's important to make the image unique, easily recognizable, and seamlessly aligned with the genre. Then, promotion channels and tools are selected based on the target audience profile and the objectives. For example, a young pop artist typically requires active social media marketing and streaming promotion, while a rock band will focus on concerts and festivals. Budget and available resources are always taken into account.

Following this, a detailed content plan and event calendar are developed for the next 3-6 months, including release dates, tours, promotions, interviews, and other activities with specific deadlines. A crisis management plan is developed in parallel, outlining potential risks (scandals, information leaks, negative publicity) and rapid response scenarios. Finally, the entire process is completed by ongoing monitoring and evaluation of results. Baseline metrics (reach, reputational tone, and social metrics) are recorded, and their dynamics are then regularly tracked throughout the campaign. The effectiveness of each activity is determined based on KPIs, and the strategy is adjusted.

Each artist's promotional tools are unique and depend heavily on the genre, audience age, and budget. They can be roughly divided into five broad groups.

1. Social media and digital platforms. Musicians are now promoting their image through VK, Instagram, TikTok, and YouTube. These platforms provide quick contact with the audience. You share personal content, interact in the comments, and launch activities that people pick up on their own. These could be challenges, streams, or contests. Karmishina notes: "Social media today is the main tool for promoting young artists" [1, p. 58]. Memes and provocative newsworthy moments are often used to increase virality. Gamification is also added, such as chatbots and quests. They also create closed content for subscribers to retain a core fan base. Digital advertising is also a separate activity. Targeting and integration with influencers provide significant reach at a relatively low cost. And streaming is also crucial: carefully uploading and designing your release, including it in playlists, and collaborating with music blogs. This quickly increases awareness and leads to increased listening.

2. Traditional media and offline activities. Radio, television, print and online magazines remain important channels, especially for general audiences and retro genres. Participation in television and radio programs (interviews, talk shows), press releases, and photo essays in glossy magazines help create an "authentic" image of the artist, endorsed by editors and journalists. Offline events are particularly effective: concert appearances, participation in festivals, award shows, and music shows.

3. Collaborations and brand integrations. Collaborations with other artists and commercial brands increase reach and allow access to new audiences. Joint performances with "warm-up" artists are a common practice (especially in the rock and hip-hop scene). Brand partnerships (fashion, gadgets) provide opportunities for cross-marketing and financial support. Creating merchandise (T-shirts, badges, etc.) is a way to monetize and build a fan base [4, p. 131].

4. Creative PR campaigns. To increase influence, original mechanics are used: flash mobs, installations, performances in unusual locations, and interactive games. Researchers emphasize that in 2025, memes on social media, outrageous newsworthy events, unconventional city events, and NFT events will be effective [3, p. 178]. These formats create viral effects and mnemonic associations with the artist.

5. SMM and PR tools. SMM tools (content plans, targeting, post promotion) and traditional PR technologies (press services, announcements, newsletters) are integrated into a unified strategy. Digital PR evaluates engagement (comments, reactions) and reach using social media analytics dashboards. Traditional PR tools include press kits, press conferences, and media pools that attract journalists and bloggers.

Typical PR tools for promoting a music artist include: regular posts and stories on social media from a first-person perspective, YouTube video content (music videos, behind-the-scenes footage, live recordings), targeted advertising, interviews, and photo reports in various media. Radio appearances, podcasts, and streaming shows, as well as promotion through music playlists, also play an important role. Offline activities include concerts, club tours, festivals, and television appearances. Merch and branded products, as well as joint performances and duets with famous artists, are also used. In the early stages of a career, participation in auditions, talent shows, and music competitions, including the Eurovision selection rounds, remains an effective tool for attracting attention.

The effectiveness of each tool varies depending on the artist's genre and target audience. For example, young pop artists emphasize digital promotion and social media, while rock bands rely on live concerts as the foundation of their promotion.

Assessing the effectiveness of a PR strategy requires defining key performance indicators (KPIs) that reflect progress toward achieving goals. It is recommended to select metrics directly related to the objectives. For example, if the goal is increasing awareness, the following KPIs are logical: number of publications about the artist, overall media reach and circulation, and the tone of mentions. If the goal is audience engagement, then the increase in social media followers, engagement rate (likes, reposts, comments), and click-through rate (CTR) of advertising links are important.

The effectiveness of a music artist's PR strategy is assessed using quantitative and qualitative metrics. Quantitative metrics include media reach (the total audience of publications in media, blogs, and social media), virality (the pace and scale of distribution of materials, including challenges), subscriber growth, and audience dynamics. CTR for links to official resources and releases, increased listenership on platforms such as Spotify, Yandex.Music, and others, as well as the number of airplays on radio and TV, taking into account the platform's rating, are also recorded. Additional indicators include chart and awards presence (hit parade appearances, nominations). Qualitative metrics include review sentiment, fan engagement, time spent interacting with content, and the volume of user-generated content (UGC). It is important to establish baseline KPI values before the campaign begins and compare them over time. For example, before a release, it is necessary to record the artist's current mention level, fan base, and

number of listens. Regularly monitor analytics data (Google Analytics, social media reports, media panels). If performance significantly lags behind planned targets, adjust the strategy (for example, by increasing the advertising budget or changing the message) [7, p. 150]. In addition to quantitative metrics, a qualitative image assessment plays a role. This includes surveys of target audiences on artist recognition and associations, and a "tonal analysis" of mentions (media positioning). An effective PR strategy is characterized by a combination of growth in business indicators (sales, streams, traffic) and a positive shift in image metrics (reach, loyalty).

Conclusion

Creating and promoting a music artist's image requires a comprehensive and strategic approach. This paper analyzes the main image-making models: from constructing a vibrant "myth" to enhancing the artist's authentic qualities. Experience shows that a modern PR campaign for an artist should seamlessly combine traditional communications (mass media, television, radio, and offline events) with new digital tools (social media, streaming, and viral marketing).

The most important stages of strategy development are analyzing the existing image and market, clearly setting goals, identifying the target audience, and creating a memorable artist image (brand). The recommended strategy structure includes a clear sequence: collecting information, defining goals, segmenting the target audience, developing an image concept, and selecting channels and tactics.

Practical recommendations: consider genre specifics (for example, concerts are key for a rock artist, while social media activity is crucial for a pop singer), use creative formats to increase engagement, and be sure to set measurable KPIs (reach, audience growth, listening dynamics). Regular monitoring of results and a willingness to adapt strategy (for example, when trends or crises emerge) can improve the effectiveness of a PR campaign.

In conclusion, a successful artist's image is formed at the intersection of effective branding, multimedia presence, and emotional connection with the audience. The combination of theoretical models and proven practical methods described in this article provides a comprehensive toolkit for creating and maintaining an artist's image in the competitive music industry.

Список литературы

1. Кармишина Е. А. Образ или имидж: восприятие артиста на сцене // Музыкальное искусство и вызовы современности: сб. материалов Междунар. студенч. науч.-практ. конф. М., 2022. С. 58-63.

2. Кравченко П. Д. Особенности продвижения имиджа современных российских музыкальных исполнителей различных жанровых групп // Век информации (сетевое издание). 2023. Т. 7, № 2(23). С. 35-47.

3. Ларионова В. А., Малая О. Г. Технологии PR-продвижения в музыкальной индустрии // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Гуманитарные науки. 2024. № 4-2. С. 178-181.

4. Махмудова Н. А. Особенности работы музыкального менеджмента в области цифровых медиа // Молодежный вестник Санкт-Петербургского государственного института культуры. 2022. № 2(18). С. 131-135.

5. Никифорова О. С. Формирование имиджа эстрадного исполнителя // Инновационное образовательное пространство: теория и практика: сб. ст. М., 2024. С. 560-565.

6. Цаллагова М. С. Особенности формирования и PR-сопровождения имиджа исполнителя в шоу-бизнесе // Современные медиакоммуникации в глобализирующемся мире: сб. науч. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2023. С. 62-65.

7. Antipova Yu. V. The phenomenon of freakishness in Russian popular music: concerning the study of the problem // Music Scholarship. 2023. No. 3. P. 150-159.

References

1. Karmishina E. A. Obraz Ili imidzh: vospriyatie artista na stsene // Muzykal'noe iskusstvo i vyzovy sovremennosti: sb. materialov Mezhdunar. Studench. Nauch.-prakt. konf. M., 2022. S. 58-63.

2. Kravchenko P. D. Osobennosti prodvizheniya imidzha sovremennykh rossiiskikh muzykal'nykh ispolnitelei razlichnykh zhanrovykh grupp // Vek informatsii (setevoe izdanie). 2023. T. 7, № 2(23). S. 35-47.
3. Larionova V. A., Malaya O. G. Tekhnologii PR-prodvizheniya v muzykal'noi industrii // Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Ser.: Gumanitarnye nauki. 2024. № 4-2. S. 178-181.
4. Makhmudova N. A. Osobennosti raboty muzykal'nogo menedzhmenta v oblasti tsifrovykh media // Molodezhnyi vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo instituta kul'tury. 2022. № 2(18). S. 131-135.
5. Nikiforova O. S. Formirovanie imidzha ehstradnogo ispolnitelya // Innovatsionnoe obrazovatel'noe prostranstvo: teoriya i praktika: sb. st. M., 2024. S. 560-565.
6. Tsallagova M. S. Osobennosti formirovaniya i PR-soprovozhdeniya imidzha ispolnitelya v shou-biznese // Sovremennye mediakommunikatsii v globaliziruyushchemsya mire: sb. nauch. tr. III Mezhdunar. Nauch.-prakt. konf. Kazan', 2023. S. 62-65.
7. Antipova Yu. V. The phenomenon of freakishness in Russian popular music: concerning the study of the problem // Music Scholarship. 2023. No. 3. P. 150-159.

Информация об авторах

Герейханова Ирина Александровна, заведующий кафедрой журналистики, медиакоммуникаций и связей с общественностью Института международных отношений Пятигорского государственного университета, Россия, г. Пятигорск, ул. Калинина, д.9, rumachik@pgu.ru

Сливков Александр Владимирович, магистрант, Пятигорский государственный университет, Россия, г. Пятигорск, ул. Калинина, д. 9, aleks.slivkov@mail.ru

Information about the authors

Irina Aleksandrovna Gereikhanova, Head of the Department of Journalism, Media Communications, and Public Relations at the Institute of International Relations of Pyatigorsk State University, Russia, Pyatigorsk, Kalinina Street 9, rumachik@pgu.ru

Alexander Vladimirovich Slivkov, Master's student, Pyatigorsk State University, 9 Kalinina St., Pyatigorsk, Russia, aleks.slivkov@mail.ru

Современная наука и инновации. 2026. №2. С. 148-158
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):148-158
SHORT REPORTS

Научная статья
УДК 614.31:633.1:613.2.

https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.14

Современные проблемы и возможности использования биопрепаратов в агропромышленном комплексе при возделывании культур (аналитический обзор)

Илья Викторович Слепых [1,*]

[1]ФГБНУ ВНИИ кукурузы, г. Пятигорск
donhohot@gmail.com*

Автор, ответственный за переписку**: Илья Викторович Слепых,** donhohot@gmail.com

Аннотация. В статье представлен обзор современных исследований (2003–2026 гг.) по применению биологических препаратов в агропромышленном комплексе. Проанализировано действие более 34 биопрепаратов на различные сельскохозяйственные культуры с учетом их сортовой специфичности и влияния почвенно-климатических факторов. Выявлена высокая селективность действия препаратов, а также зависимость их эффективности от гидротермических условий вегетационного периода. Предложена систематизированная классификация биопрепаратов по 8 функциональным группам. Установлено, что наибольший исследовательский интерес вызывают комплексные полифункциональные препараты, в то время как механизмы действия биоинсектицидов и биопрепаратов вспомогательного действия остаются наименее изученными. Значительная доля биопрепаратов, рассмотренных в статье, однократно упоминались в научных работах, что диктует необходимость организации масштабных, многолетних мультилокационных испытаний для подтверждения стабильности их действия в различных почвенно-климатических зонах.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, биопрепараты, азотфиксаторы, фосфатмобилизаторы, биофунгициды, регенеративное сельское хозяйство, фитопатогены, гидротермический коэффициент

Для цитирования: Слепых И.В. Современные проблемы и возможности использования биопрепаратов в агропромышленном комплексе при возделывании культур (обзор)// Современная наука и инновации. 2026. № 2 С.148-158 . https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.14

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026

Research article

Modern Problems and Opportunities for Using Biological Products in the Agro-Industrial Complex for Cultivating Crops (Analytical Review)

Ilya V. Slepykh [1,*]

© Слепых И.В., 2026

[1]FSBIS "All-Russian Research Institute of Corn"
donhohot@gmail.com *

*Corresponding author: **Ilya V. Slepykh**, donhohot@gmail.com

Abstract. The article presents an overview of contemporary research (2003–2026) on the application of biological products in the agro-industrial sector. It analyzes the effects of more than 34 biological products on various agricultural crops, taking into account varietal specificity and the influence of soil and climatic factors. The study reveals the high selectivity of the products' action and demonstrates that their efficacy depends on the hydrothermal conditions of the growing season. A systematized classification of biological products into eight functional groups is proposed. It has been established that complex, multifunctional preparations attract the greatest research interest, whereas the mechanisms of action of bioinsecticides and auxiliary biological products remain the least studied. A significant proportion of the biological products discussed in the article have been mentioned only once in scientific literature, highlighting the need for large-scale, multi-year, multi-location trials to confirm the stability of their performance across diverse soil and climatic zones.

Keywords: agro-industrial complex, biological products, nitrogen fixers, phosphate mobilizers, biofungicides, regenerative agriculture, phytopathogens, hydrothermal coefficient

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Slepykh I.V. Modern Problems and Opportunities of Using Biopreparations in the Agro-Industrial Complex for Cultivating Crops (Review)// Modern Science and Innovations. 2026. No. 2. Pp.148- 158. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.14

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

The article was submitted to the editorial office on 01.12.2025
approved after reviewing on 01.02.2026;
accepted for publication on 01.03.202

Introduction

The modern agro-industrial complex (AIC) is undergoing active transformation, focused on developing new directions in crop production using fundamentally new types of fertilizers, biological products, and environmentally friendly plant protection products [1]. The technology of applying biological products, similar to the traditional application of synthetic agrochemicals, is highly relevant but requires in-depth fundamental and applied research. Currently, ground and aerial fine-droplet spraying, as well as ultra-low-volume (ULV) spraying using aerosol technologies with optimal dispersion, are being widely implemented in agronomic practice [2].

A promising vector for the development of the agro-industrial complex is the development of products based on biologically active compounds (BACs) derived from plant materials, adapted to the effects of abiotic and biotic stressors. The concept of regenerative agriculture, which aims not only to exploit but also to restore natural resources, is becoming dominant. Biopreparations are an integral component of this paradigm, as their use allows for a significant increase in crop productivity without disrupting the homeostasis of agrocenoses [3, 4].

The aim of the study was to analyze and systematize the results of modern scientific research on the use of drugs based on biologically active compounds in the agro-industrial complex.

The objectives of the study were: 1) searching for relevant scientific publications in electronic databases; 2) comprehensive analysis and systematization of the obtained empirical data.

Materials and methodology of the study

An information search of scientific publications was conducted using Google Scholar, as well as the scientific electronic libraries RSCI (eLibrary) and CyberLeninka. The analytical review is based on the results of 31 independent studies published between 2003 and 2026.

During the study, 34 biological products were analyzed and standardized according to a unified classification system. The microbial strains used, their combinations with plant-based bioactive compounds, their mechanisms of action, and the resulting agronomic performance were taken into account.

Results and discussions

The classification we propose includes the following groups:

1. Nitrogen fixers

In recent years, there has been an intensification of research into microbiological fertilizers based on nitrogen-fixing bacteria, which is critically important for ensuring sustainable development of the agricultural sector [5, 6]. Data analysis shows high variability in the effectiveness of the preparations depending on the genotype of the host plant. Thus, when cultivating the lentil variety "Vostochnaya", pre-sowing inoculation of seeds with Rizotorfin and Rizobin (*Rhizobium sp., Sinorhizobium sp., Bradyrhizobium sp.*) contributed to the formation of up to 14 nodules per plant (weight 78 mg/plant). At the same time, on the chickpea variety "Avatar", the use of Rizobin formed only 5 nodules (45-49 mg/plant). On the chickpea variety "Krasnokutsky 123", the effectiveness was even lower: the nodule weight when using Rizobin was only 23-38 mg/plant [7]. The use of Myzorin (*Arthrobacter mysorens)* and Flavobacterin (*Flavobacterium sp.*) on the Salamanca pea variety showed high results. Their use increased the number of nodules by 7.5 and 2.8 pcs. /plant, respectively, and the weight of fresh nodules by 39.9 and 20.3 kg/ha. This ensured a yield increase of 0.38 and 0.26 t/ha, increasing the level of production profitability by 11.1% and 4.6% [8].

Nitrogen fixers also demonstrate positive dynamics in cereal crops. The use of Azotovit (*Beijerinckia fluminensis)* on spring wheat of the 'Element 22' variety increased grain yield by 0.44 t/ha. Maximum efficiency (an increase of 0.64 t/ha) was achieved with a combination of Azotovit, Phosphatovit and the organomineral fertilizer Humate K [9]. When cultivating potatoes of the 'Alena' and 'Bylina Sibiri' varieties, the use of the MF-1 strain (*Bacillus subtilis*) provided a yield increase of 2.17 t/ha and 3.83 t/ha, respectively, which confirms the varietal specificity of the response to inoculation [10].

2. Phosphate mobilizers

Phosphorus biofertilizers are used to optimize the absorption of hard-to-reach soil phosphates by plants [11]. The preparation Organit P, Zh (*Bacillus megaterium)* reliably increases the productivity of spring barley of the Yaromir variety by 9–18.2% [12]. Of particular interest are long-term studies (2009–2012) on the use of Fosfatovit (*Paenibacillus mucilaginosus)* together with Azotovit on winter wheat of the Krasnodarskaya 99 variety. A complex dependence of efficiency on the predecessor and dosage was revealed. With “black fallow” as a predecessor, the standard dose (0.4 l/ha) together with ammonium nitrate gave a maximum increase of 2.8 c/ha. However, an increase in the dosage of biopreparations to 0.8 l/ha led to a paradoxical decrease in the increase to 0.7 c/ha. With the "winter wheat" predecessor, the same increased dose (0.8 l/ha) provided an increase of 2.3 c/ha. This indicates the need for strict calibration of application rates depending on the agrochemical background of the soil [13].

3. Complex biopreparations

This group is the most representative in modern literature. These multifunctional preparations are used to comprehensively address nutritional and protective needs.

In potato studies (Zhukovsky ranniy, Gorskiy 17, and Osetinskiy varieties), a three-component tank mixture was used: Fulvumin (fulvic acids) + Kelik-K Max Kali + Fitosporin-M + Izabion (amino acids). This enhanced combination reduced susceptibility to late blight (*Fusarium),* rhizoctonia (*Rhizoctonia*), and alternaria (*Alternaria*) by 24% compared to the control [14].

On corn hybrids (Rodnik 292 MV, Etna), the use of Albit (*Bacillus megaterium*) and Nikfan (metabolites *of Glomus* and *Trichoderma*) together with chemical seed dressings increased

resistance to helminthosporiosis (*Exserohilum turcicum*) and bladder smut (*Ustilago maydis*) by 28% [15]. When cultivating the Darina MV and Diana MV hybrids, Albit and Nikfan provided a yield increase of 2 to 3.2 t/ha, while the difference between the use of pure biopreparations and their combination with chemical seed dressings did not exceed 0.4 t/ha [16].

A pronounced growth-promoting effect was recorded on the Yenisei sunflower variety when treated with Fitop 8.67 and AFG. In 2023, the experimental plants exceeded the control plants in height by 1.4 times. The maximum head weight reached 790.5 g (an increase of 103.6–257.5 g over the control), and the head diameter increased to 27.5 cm (versus 15.5 cm in the control). Disease prevalence decreased by 15–24.3% [17].

The effectiveness of complex preparations strongly depends on the hydrothermal coefficient (HTC). In studies on spring wheat 'Novosibirskaya 31', the preparations Fitop 8.67-9 and AFG reduced the disease development index (DDI) of root rot by 3.4–3.5% in the wet year of 2019 (HTC=1.02) and by 7.7–8% in the dry year of 2022 (HTC=0.69) [18]. Similarly, on spring barley of the 'Arat' variety, the combination of Sprintalga + Forsage provided a biological yield of 5.32 t/ha in the favorable year of 2022, but under the conditions of extreme drought in 2024 (HTC=0.1), the yield dropped to 0.74–0.84 t/ha, regardless of the treatments [19].

4. Biofungicides

The use of phytopathogen antagonists is an environmentally friendly alternative to chemical pesticides. An isolated viable strain of the micromycete *Trichoderma viride* demonstrated pronounced antagonistic properties against the pathogens *Phytophthora spp.* , *Alternaria solani* , and *Septoria lycopersici* [20].

In greenhouse complexes (BIOM technology), the use of a complex of biofungicides (Vitariz Extra, Binal Extra, Tetris SP, Trikhokhit) on cucumber hybrids "MewaF1" and "ValogoraF1" provided a yield increase of 4.3–5.4 kg/m² [21].

Bacillus mojavensis PS17 and *Bacillus amyloliquefaciens KS-25 AU* in synergy with succinic and ascorbic acids in an experiment on spring wheat reduced the development of diseases by 32–77%, increasing yield by 13.3% [22].

When cultivating lentils, the use of a combination of Rhizobin and Ecobacillus in the dry year of 2024 increased yield by 4–16.5%, and in 2025, during a wetter period, the effectiveness of the same combination of biopreparations increased yield by 25–49% [23].

5. Bioinsecticides and mycorrhizal agents

Bioinsecticides are very limited in modern research. The preparation Aktarofit 1.8 (a complex of avermectins) was used in integrated grain protection systems, providing an increase in the yield of spring wheat by 1 c/ha [24]. Bitoxybacillin (*Bacillus thuringiensis*) was successfully used in two treatments against Colorado potato beetle larvae on the Adretta potato variety as part of organic technology [25]. Mycorrhizal agents (based on arbuscular mycorrhizal fungi of the genus *Glomus)* improve mineral nutrition. The preparations "Green Section" and "Dolina Plodorodiya" reliably increased the productive weight of curly parsley by 1.3-1.4 g [26]. The use of the "Liquid Mycorrhiza" preparation on potatoes increased the yield by 3.74 t/ha (increase in tuber weight by 1660 g) [25].

6. Experimental and auxiliary drugs

The latest developments include strains 18-5 (*Pseudomonas sp.*) and 38-22 (*Sphingomonas spiritivorum*). Their testing on six spring barley varieties revealed strict varietal specificity. On the 'Volzhsky Pervy' variety, the incidence of root rot decreased to 1.5–4.2% with a yield of 2.56–2.88 t/ha. In contrast, on the 'Mikhailo' variety, the incidence remained high (up to 12.7%), and the yield did not exceed 2.17 t/ha [27].

An innovative approach is the use of the supernatant of the microalga *Chlorella vulgaris.* Under laboratory conditions, lettuce grown under heterotrophic (HC) and mixotrophic (MK) cultivation conditions produced dry matter of 1.32 and 1.66 g/L, respectively, which was more than twice that of the classic autotrophic regime [28]. Adding a chlorella suspension to agrochernozems reduced the soil bulk density to 0.79–0.81 g/cm³ [29].

Auxiliary preparations (Biopolistim, Rhizoprotector), which act as adhesives and stabilizers (polysaccharides), increase the overall efficiency of tank mixtures in organic soybean cultivation technologies, providing an increase in yield of up to 0.4 t/ha [30].

Discussion of results

A comprehensive analysis of 48 scientific papers allows us to identify several fundamental patterns in the use of biopreparations in modern agriculture.

Firstly, **the high selectivity and varietal specificity** of microbiological preparations have been confirmed. The works of E.V. Kubasova [10], V.N. Bagrintseva [31] and G.P. Guryev [7, 23] irrefutably prove that the same strain of microorganism enters into symbiotic or associative relationships with varying degrees of intensity depending on the genetics of the host plant. The difference in yield increase between corn hybrids (Mashuk 250 MV and Mashuk 355 MV) when treated with Borogum-M reached twofold values (4.9% versus 10.3%).

Secondly, **a "dose paradox"** described in the research of O.V. Semenyuk [13] was identified. An increase in the concentration of the biopreparation (from 0.4 to 0.8 l/ha) against the background of bare fallow led to a sharp decrease in agronomic efficiency (the increase fell from 2.8 to 0.7 c/ha). This indicates that oversaturation of the rhizosphere with introduced microorganisms can cause intraspecific competition or disrupt the established soil microbiocenosis.

Thirdly, **a strict dependence of efficiency on hydrothermal conditions has been established.**

In dry years (HTC ≤ 0.69), the biological activity of the preparations decreases, but their protective function (reduction of IRB of root rot) is maintained and even increases as a percentage of the control [18].

Due to the lack of a unified nomenclature, based on the analyzed array (94 preparations), we proposed a classification that includes 8 functional groups: 1) Nitrogen fixers; 2) Phosphate mobilizers; 3) Complex biological products; 4) Biofungicides; 5) Bioinsecticides; 6) Mycorrhiza formers; 7) Auxiliary; 8) Experimental (Fig. 1.)

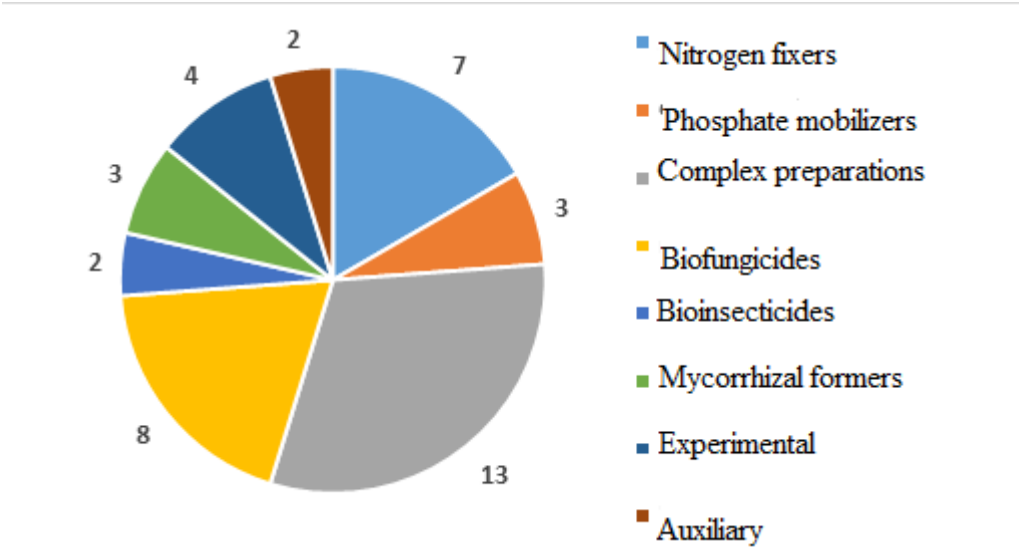


Figure 1. Proposed classification of biopreparations (from the analysis of experimental studies for the period 2022-2026) Figure 1. Proposed classification of biological products (based on the analysis of experimental studies conducted in 2022-2026).

An analysis of the frequency of mentions shows that the most studied are drugs with complex, multifunctional action (13 biologics, Figure 1). However, 27 drugs appear in only a few publications, indicating fragmented knowledge of their properties (Figure 2).

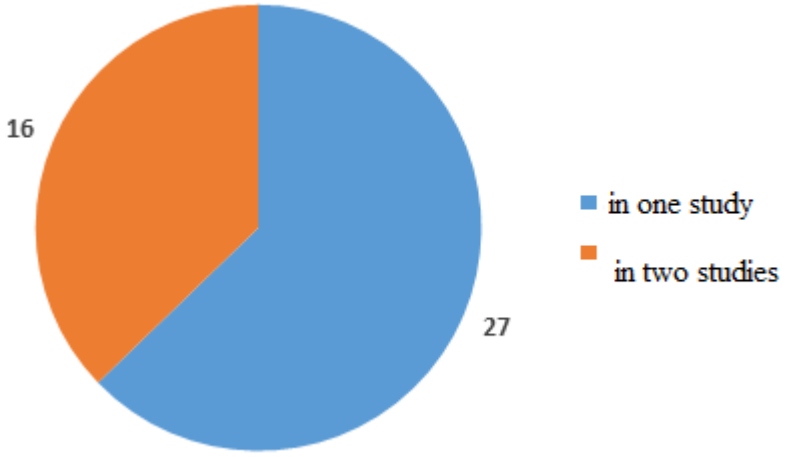


Figure 2. Distribution of biological preparations by frequency of mention in scientific studies/Figure 1. Distribution of functional groups of biological preparations by frequency of mention in scientific studies

Conclusions

➢ The effectiveness of using biological preparations in the agro-industrial complex is strictly specific and is determined by the genotype of the agricultural crop (variety/hybrid), as well as the hydrothermal conditions of the growing season.

➢ A systematization of the modern biopharmaceutical market into eight functional groups is proposed. It has been established that complex, multifunctional products, which simultaneously address plant nutrition and plant protection issues, are of greatest research and practical interest.

➢ A gap in scientific data has been identified in the bioinsecticide and adjuvant biopreparations segment. These groups are the least studied, hindering the implementation of fully biobased pest control systems.

➢ The high proportion of preparations studied only once in short-term experiments dictates the need to organize large-scale, multi-location trials to confirm the stability of their action in various soil and climatic zones.

Список источников

1. Лабутова, Н. М. Альтернатива минеральным удобрениям и пестицидам [Электронный ресурс] // Интернет-журнал о коммерческих биотехнологиях. – URL: http://www.cbio.ru/ (дата обращения: 05.07.12.2026).

2. Голосова, М. А. Микробиологическая защита растений: учебное пособие для студентов спец. 260400 / М. А. Голосова. – Москва: МГУЛ, 2003. – 76 с.

3. Исследование отрасли регенеративного сельского хозяйства и экологичных подходов к земледелию : аналитический доклад / АО «Россельхозбанк», Фонд «Сколково», Dsight. – Москва: РСХБ, 2025. – 58 с. – URL: https://rshbdigital.ru/img/issledovanie_otrasli_regenerativnogo_selskogo_khozyajstva_i_ekologichnykh.pdf (дата обращения: 09.06.2026). – Текст : электронный.

4. Стельникович, В. В. Особенности влияния биопрепаратов на возделывание ярового ячменя: теоретический анализ проблемы / В. В. Стельникович, А. В. Акинчин // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2025. – № 5 (111). – С. 3–7. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vliyaniya-biopreparatov-na-vozdelyvanie-yarovogo-yachmenya-teoreticheskiy-analiz-problemy (дата обращения: 09.06.2026). – Текст : электронный.

5. Стрельбицкая, Е. Б. Использование диазотрофов и биопрепаратов для повышения продуктивности агроценозов / Е. Б. Стрельбицкая // МиВХ. – 2025. – № 5. – С. 6–13 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-diazotrofov-i-biopreparatov-dlya-povysheniya-produktivnosti-agrotsenozov (дата обращения: 09.06.2026). – Текст: электронный.

6. Чиняева, Ю. З. Влияние биопрепаратов на основе бактерий рода Azotobacter на посевные показатели качества семян овощных культур / Ю. З. Чиняева, А. А. Щипунова // Аграрная наука на

Севере – сельскому хозяйству: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – 2025. – С. 137 – URL: https://www.spsl.nsc.ru/FullText/KONFE/%D0%90%D0%B3%D1%80_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0_%D0%A1%D0%B5%D0%B2-2025%D1%81%D0%BE%D0%B4.pdf (дата обращения: 05.07.2026). – Текст: электронный.

7. Гурьев, Г. П. Влияние микробиологических препаратов и предшественника на формирование симбиотического аппарата, урожайность и агрохимические показатели почвы при возделывании чечевицы, нута и чины / Г. П. Гурьев, М. В. Донская, М. М. Донской [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2024. – № 1 (49). – С. 10–18 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mikrobiologicheskih-preparatov-i-predshestvennika-na-formirovanie-simbioticheskogo-apparata-urozhaynost-i-agrohimicheskie (дата обращения: 09.06.2026). – Текст: электронный.

8. Шабалдас, О. Г. Влияние биопрепаратов на азотфиксирующую деятельность в посевах и продуктивность гороха / О. Г. Шабалдас, О. И. Власова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2025. – Т. 3. – С. 71. URL: https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik_APK/2025371/37-42.pdf (Дата обращения: 05.07.2026). – Текст: электронный.

9. Бобренко, И. А. Показатели потребления элементов питания урожаем яровой пшеницы при использовании биопрепаратов / И. А. Бобренко, В. П. Кормин, В. И. Попова, М. А. Чернявская // Известия ОГАУ. – 2025. – № 5 (115). – С. 9–12 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-potrebleniya-elementov-pitaniya-urozhaem-yarovoy-pshenitsy-pri-ispolzovanii-biopreparatov (дата обращения: 06.09.2026). – Текст: электронный.

10.Кубасова, Е. В. Влияние биопрепаратов на основе ассоциативных диазотрофов на биологические свойства ризосферы картофеля / Е. В. Кубасова, Н. Н. Шулико, А. И. Черемисин // Плодородие. – 2025. – № 4 (145). – С. 44–48 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-biopreparatov-na-osnove-assotsiativnyh-diazotrofov-na-biologicheskie-svoystva-rizosfery-kartofelya (дата обращения: 09.06.2026). – Текст: электронный.

11.Мезюха, А. Н. Биопрепараты и проблемы их использования в сельском хозяйстве (аналитический обзор) / А. Н. Мезюха, А. С. Гайзатулин, С. Н. Ященко // Успехи молодежной науки в агропромышленном комплексе. - Сборник трудов LVII студенческой научно-практической конференции. - Тюмень, 2022. - С.98-107.

12.Захарова, М. Н. Влияние биопрепаратов на продуктивность ярового ячменя сорта Яромир в Нечерноземной зоне / М. Н. Захарова, Л. В. Рожкова // Аграрная наука. – 2025. – № 7. – С. 146–150. – DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-146-150.

13.Семенюк, О. В. Бактериальные удобрения, урожай и качество зерна озимой пшеницы / О. В. Семенюк, И. В. Нешин, О. А. Бархатова, А. С. Булатов // Земледелие. – 2014. – № 6. – С. 33–34 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bakterialnye-udobreniya-urozhay-i-kachestvo-zerna-ozimoy-pshenitsy (дата обращения: 07.05.2026).

14.Басиев С. С., Абаев А. А., Гагиева Л. Ч., Царикаев З. А., Кебеков З. В. Применение биостимуляторов роста для повышения продуктивности и улучшения фитосанитарного состояния картофеля в горных условиях РСО-Алания // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2026. № 3 (257). С. 5–10.

15.Иванова, З. А. Эффективность действия биопрепаратов и протравителей против болезней кукурузы / З. А. Иванова, Ф. Х. Тхазеплова, С. А. Жемухова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. – 2025. – № 1 (47). – С. 17–23 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-deystviya-biopreparatov-i-protraviteley-protiv-bolezney-kukuruzy (дата обращения: 09.06.2026). – Текст: электронный.

16.Иванова З.А. Влияние биопрепаратов и протравителей на урожайность и качество растений гибридов кукурузы / Иванова З.А., Тхазеплова Ф.Х., Жемухова С.А. – // Органическое сельское хозяйство и биологизация земледелия // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Махачкала, 23 октября 2025 г.). – Махачкала: Дагестанский ГАУ – С. 20–24. URL: https://xn--80aaiac8g.xn--p1ai/images/sborniki_statei/sbor_mater_23_10_2025.pdf#page=20 (Дата обращения: 05.07.2026). – Текст : электронный.

17.Цветкова, В. П. Эффективность биопрепаратов на подсолнечнике в Новосибирской области / В. П. Цветкова, В. С. Масленникова, Е. В. Шелихова [и др.]. – // Вестник НГАУ (Вестник Новосибирского государственного аграрного университета). – 2025. – № 4 (77). – С. 129–137. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-129-137

18.Побеленская, А. А. Эффективность применения биопрепаратов на яровой пшенице в годы с разной влагообеспеченностью / А. А. Побеленская, Л. Н. Коробова, К. В. Павлова. – // Вестник университета биотехнологий. – 2025. – № 3. – С. 143–149. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-143-149.

19.Ламажап, Р. Р. Влияние на урожайность предпосевной обработки семян ярового ячменя биопрепаратами в условиях Республики Тыва // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2026. – № 12. – С. 30–35. URL: https://s.applied-research.ru/pdf/2025/12/13777.pdf (Дата обращения: 05.07.2026). – Текст: электронный.

20.Джалилов И. С., Айткулова Р. Э., Джалилов К. А. Штаммы грибов рода *Trichoderma* как основа для получения биопрепаратов растений // Вестник Университета им. Д. А. Кунаева (Тәшенев хабаршысы). № 3. – С. 55–62. – URL: https://tashenev.edu.kz/docs/habarsy(3).pdf#page=55 (дата обращения: 05.07.2026).

21.Бочарова, М. А. Оценка влияния комплекса биопрепаратов на рост, развитие и урожайность огурца в условиях светокультуры / М. А. Бочарова, В. И. Терехова, Т. С. Аниськина. – // Овощи России. – 2023. – № 5. – С. 73–78. – DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-73-78.

22.Абрамова, А. А. Совершенствование системы защиты яровой пшеницы с учетом динамики листостебельных микозов и применения биопрепаратов в Республике Татарстан, Россия / А. А. Абрамова, И. Х. Вафин, Н. А. Медведев, Р. И. Сафин // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2025. – № 4. – С. 57–68 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sistemy-zaschity-yarovoy-pshenitsy-s-uchetom-monitoringa-dinamiki-listostebelnyh-mikozov-i-primeneniya (дата обращения: 09.06.2026). – Текст: электронный.

23.Гурьев, Г. П. Эффективность применения на чечевице биопрепаратов, содержащих клубеньковые бактерии, в зависимости от погодных условий / Г. П. Гурьев // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2025. – № 4 (56). – С. 37–44 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-na-chechevitse-biopreparatov-soderzhaschih-klubenkovye-bakterii-v-zavisimosti-ot-pogodnyh-usloviy (дата обращения: 09.06.2026). – Текст: электронный.

24.Лукьянова, О. В. Перспективы применения биопрепаратов в сельскохозяйственной практике / О. В. Лукьянова, А. С. Ступин, О. А. Антошина, В. С. Конкина // МСХ. – 2022. – № 5. – С. 502–506 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-biopreparatov-v-selskohozyaystvennoy-praktike (дата обращения: 09.06.2026). – Текст: электронный.

25.Черепанова, О. В. Эффективность интеграции систем питания и защиты на основе биопрепаратов при возделывании картофеля по органическим стандартам / О. В. Черепанова, С. А. Дегтярева // Ответственный за выпуск: А. В. Коломейцев. – 2026. – С. 222.

26.Чиняева, Ю. З. Сравнительный анализ промышленных микоризных биопрепаратов при выращивании петрушки кудрявой / Ю. З. Чиняева, Б. С. М. Д. // Аграрная наука на Севере – сельскому хозяйству: материалы. – 2025.

27.Кишев, А. Ю. Применение новых биопрепаратов и фунгицидов против корневых гнилей озимого ячменя / А. Ю. Кишев, А. Р. Балкарова // Проблемы взаимосвязи науки и экономики: особенности современного этапа. – С. 300. –

28.Effects of the supernatant of Chlorella vulgaris cultivated under different culture modes on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth / L. Dai, P. Yu, P. Ma [et al.] // Frontiers in Nutrition. – 2024. – Vol. 11. – P. 1437374. – DOI: 10.3389/fnut.2024.1437374

29.Способ дражирования семян сельскохозяйственных культур: патент 2782430 Российская Федерация: МПК A01C 1/06 / А. В. Чистов, Е. Л. Кутузов, С. Л. Кутузов, С. Н. Зудилин, О. А. Оленин; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аграрный университет. – № 2022115161; заявл. 06.06.2022; опубл. 26.10.2022, Бюл. № 30. – 1–2 с.

30.Черепанова, О. В. Урожайность и биохимический состав сои при применении биопрепаратов НВП Башинком в органических технологиях в условиях Алтайского края / О. В. Черепанова // Ответственный за выпуск: А. В. Коломейцев. – 2026. – С. 218. –

31.Багринцева, В. Н. Кукуруза на Ставрополье. Технология возделывания и урожайность: монография / В. Н. Багринцева. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета, 2021. – 256 с.

References

1. Labutova, N. M. Al'ternativa mineral'nym udobreniyam i pestitsidam [Ehlektronnyi resurs] // Internet-zhurnal o kommercheskikh biotekhnologiyakh. – URL: http://www.cbio.ru/ (data obrashcheniya: 05.07.12.2026).

2. Golosova, M. A. Mikrobiologicheskaya zashchita rastenii: uchebnoe posobie dlya studentov spets. 260400 / M. A. Golosova. – Moskva: MGUL, 2003. – 76 s.

3. Issledovanie otrasli regenerativnogo sel'skogo khozyaistva i ehkologichnykh podkhodov k zemledeliyu: analiticheskii doklad / AO «Rossel'khozbank», Fond «Skolkovo», Dsight. – Moskva: RSKHB, 2025. – 58 s. – URL: https://rshbdigital.ru/img/issledovanie_otrasli_regenerativnogo_selskogo_khozyajstva_i_ekologichnykh.pdf (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

4. Stel'nikovich, V. V. Osobennosti vliyaniya biopreparatov na vozdelyvanie yarovogo yachmenya: teoreticheskii analiz problemy / V. V. Stel'nikovich, A. V. Akinchin // Vestnik FGOU VPO Bryanskaya GSKHA. – 2025. – № 5 (111). – S. 3–7. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vliyaniya-biopreparatov-na-vozdelyvanie-yarovogo-yachmenya-teoreticheskiy-analiz-problemy (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

5. Strel'bitskaya, E. B. Ispol'zovanie diazotrofov i biopreparatov dlya povysheniya produktivnosti agrotsenozov / E. B. Strel'bitskaya // MiVKh. – 2025. – № 5. – S. 6–13 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-diazotrofov-i-biopreparatov-dlya-povysheniya-produktivnosti-agrotsenozov (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

6. Chinyaeva, Yu. Z. Vliyanie biopreparatov na osnove bakterii roda Azotobacter na posevnye pokazateli kachestva semyan ovoshchnykh kul'tur / Yu. Z. Chinyaeva, A. A. Shchipunova // Agrarnaya nauka Na Severe – sel'skomu khozyaistvu: materialy VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem). – 2025. – S. 137 – URL: https://www.spsl.nsc.ru/FullText/KONFE/%D0%90%D0%B3%D1%80_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0_%D0%A1%D0%B5%D0%B2-2025%D1%81%D0%BE%D0%B4.pdf (data obrashcheniya: 05.07.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

7. Gur'ev, G. P. Vliyanie mikrobiologicheskikh preparatov i predshestvennika na formirovanie simbioticheskogo apparata, urozhainost' i agrokhimicheskie pokazateli pochvy pri vozdelyvanii chechevitsy, nuta i chiny / G. P. Gur'ev, M. V. Donskaya, M. M. Donskoi [i dr.] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. – 2024. – № 1 (49). – S. 10–18 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mikrobiologicheskih-preparatov-i-predshestvennika-na-formirovanie-simbioticheskogo-apparata-urozhaynost-i-agrohimicheskie (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

8. Shabaldas, O. G. Vliyanie biopreparatov na azotfiksiruyushchuyu deyatel'nost' v posevakh i produktivnost' gorokha / O. G. Shabaldas, O. I. Vlasova // Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. – 2025. – T. 3. – S. 71. URL: https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik_APK/2025371/37-42.pdf (Data obrashcheniya: 05.07.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

9. Bobrenko, I. A. Pokazateli potrebleniya ehlementov pitaniya urozhaem yarovoi pshenitsy pri ispol'zovanii biopreparatov / I. A. Bobrenko, V. P. Kormin, V. I. Popova, M. A. Chernyavskaya // Izvestiya OGAU. – 2025. – № 5 (115). – S. 9–12 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-potrebleniya-elementov-pitaniya-urozhaem-yarovoy-pshenitsy-pri-ispolzovanii-biopreparatov (data obrashcheniya: 06.09.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

10. Kubasova, E. V. Vliyanie biopreparatov na osnove assotsiativnykh diazotrofov na biologicheskie svoistva rizosfery kartofelya / E. V. Kubasova, N. N. Shuliko, A. I. Cheremisin // Plodorodie. – 2025. – № 4 (145). – S. 44–48 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-biopreparatov-na-osnove-assotsiativnyh-diazotrofov-na-biologicheskie-svoystva-rizosfery-kartofelya (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

11. Mezyukha, A. N. Biopreparaty i problemy ikh ispol'zovaniya v sel'skom khozyaistve (analiticheskii obzor) / A. N. Mezyukha, A. S. Gaizatulin, S. N. Yashchenko // Uspekhi molodezhnoi nauki v agropromyshlennom komplekse. - Sbornik trudov LVII studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. - Tyumen', 2022. - S.98-107.

12. Zakharova, M. N. Vliyanie biopreparatov na produktivnost' yarovogo yachmenya sorta Yaromir v Nechernozemnoi zone / M. N. Zakharova, L. V. Rozhkova // Agrarnaya nauka. – 2025. – № 7. – S. 146–150. – DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-146-150.

13. Semenyuk, O. V. Bakterial'nye udobreniya, urozhai i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy / O. V. Semenyuk, I. V. Neshin, O. A. Barkhatova, A. S. Bulatov // Zemledelie. – 2014. – № 6. – S. 33–34 – URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/bakterialnye-udobreniya-urozhay-i-kachestvo-zerna-ozimoy-pshenitsy (data obrashcheniya: 07.05.2026).

14. Basiev S. S., Abaev A. A., Gagieva L. Ch., Tsarikaev Z. A., Kebekov Z. V. Primenenie biostimulyatorov rosta dlya povysheniya produktivnosti i uluchsheniya fitosanitarnogo sostoyaniya kartofelya v gornykh usloviyakh RSO-Alaniya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2026. № 3 (257). S. 5–10.

15. Ivanova, Z. A. Ehffektivnost' deistviya biopreparatov i protravitelei protiv boleznei kukuruzy / Z. A. Ivanova, F. Kh. Tkhazeplova, S. A. Zhemukhova // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova. – 2025. – № 1 (47). – S. 17–23 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-deystviya-biopreparatov-i-protraviteley-protiv-bolezney-kukuruzy (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

16. Ivanova Z.A. Vliyanie biopreparatov i protravitelei na urozhainost' i kachestvo rastenii gibridov kukuruzy / Ivanova Z.A., Tkhazeplova F.Kh., Zhemukhova S.A. – // Organicheskoe sel'skoe khozyaistvo i biologizatsiya zemledeliya // Materialy VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Makhachkala, 23 oktyabrya 2025 g.). – Makhachkala: Dagestanskii GAU – C. 20–24. URL: https://xn--80aaiac8g.xn--p1ai/images/sborniki_statei/sbor_mater_23_10_2025.pdf#page=20 (Data obrashcheniya: 05.07.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

17. Tsvetkova, V. P. Ehffektivnost' biopreparatov na podsolnechnike v Novosibirskoi oblasti / V. P. Tsvetkova, V. S. Maslennikova, E. V. Shelikhova [i dr.]. – // Vestnik NGAU (Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta). – 2025. – № 4 (77). – S. 129–137. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-129-137

18. Pobelenskaya, A. A. Ehffektivnost' primeneniya biopreparatov na yarovoi pshenitse v gody s raznoi vlagoobespechennost'yu / A. A. Pobelenskaya, L. N. Korobova, K. V. Pavlova. – // Vestnik universiteta biotekhnologii. – 2025. – № 3. – S. 143–149. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-143-149.

19. Lamazhap, R. R. Vliyanie na urozhainost' predposevnoi obrabotki semyan yarovogo yachmenya biopreparatami v usloviyakh Respubliki Tyva // Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanii. – 2026. – № 12. – S. 30–35. URL: https://s.applied-research.ru/pdf/2025/12/13777.pdf (Data obrashcheniya: 05.07.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

20. Dzhalilov I. S., Aitkulova R. Eh., Dzhalilov K. A. Shtammy gribov roda Trichoderma kak osnova dlya polucheniya biopreparatov rastenii // Vestnik Universiteta im. D. A. Kunaeva (Təshenev khabarshysy). № 3. – C. 55–62. – URL: https://tashenev.edu.kz/docs/habarsy (3).pdf#page=55 (data obrashcheniya: 05.07.2026).

21. Bocharova, M. A. Otsenka vliyaniya kompleksa biopreparatov na rost, razvitie i urozhainost' ogurtsa v usloviyakh svetokul'tury / M. A. Bocharova, V. I. Terekhova, T. S. Anis'kina. – // Ovoshchi Rossii. – 2023. – № 5. – S. 73–78. – DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-73-78.

22. Abramova, A. A. Sovershenstvovanie sistemy zashchity yarovoi pshenitsy s uchetom dinamiki listostebel'nykh mikozov i primeneniya biopreparatov v Respublike Tatarstan, Rossiya / A. A. Abramova, I. Kh. Vafin, N. A. Medvedev, R. I. Safin // Agrarnyi vestnik Severnogo Kavkaza. – 2025. – № 4. – S. 57–68 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sistemy-zaschity-yarovoy-pshenitsy-s-uchetom-monitoringa-dinamiki-listostebelnyh-mikozov-i-primeneniya (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

23. Gur'ev, G. P. Ehffektivnost' primeneniya na chechevitse biopreparatov, soderzhashchikh kluben'kovye bakterii, v zavisimosti ot pogodnykh uslovii / G. P. Gur'ev // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. – 2025. – № 4 (56). – S. 37–44 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-na-chechevitse-biopreparatov-soderzhaschih-klubenkovye-bakterii-v-zavisimosti-ot-pogodnyh-usloviy (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

24. Luk'yanova, O. V. Perspektivy primeneniya biopreparatov v sel'skokhozyaistvennoi praktike / O. V. Luk'yanova, A. S. Stupin, O. A. Antoshina, V. S. Konkina // MSKh. – 2022. – № 5. – S. 502–506 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-biopreparatov-v-selskohozyaystvennoy-praktike (data obrashcheniya: 09.06.2026). – Tekst: ehlektronnyi.

25. Cherepanova, O. V. Ehffektivnost' integratsii sistem pitaniya i zashchity na osnove biopreparatov pri vozdelyvanii kartofelya po organicheskim standartam / O. V. Cherepanova, S. A. Degtyareva // Otvetstvennyi za vypusk: A. V. Kolomeitsev. – 2026. – S. 222.

26. Chinyaeva, Yu. Z. Sravnitel'nyi analiz promyshlennykh mikoriznykh biopreparatov pri vyrashchivanii petrushki kudryavoi / Yu. Z. Chinyaeva, B. S. M. D. // Agrarnaya nauka na Severe – sel'skomu khozyaistvu: materialy. – 2025.

27. Kishev, A. Yu. Primenenie novykh biopreparatov i fungitsidov protiv kornevykh gnilei ozimogo yachmenya / A. Yu. Kishev, A. R. Balkarova // Problemy vzaimosvyazi nauki i ehkonomiki: osobennosti sovremennogo ehtapa. – S. 300. –

28. Effects of the supernatant of Chlorella vulgaris cultivated under different culture modes on lettuce (Lactuca sativa L.) growth / L. Dai, P. Yu, P. Ma [et al.] // Frontiers in Nutrition. – 2024. – Vol. 11. – P. 1437374. – DOI: 10.3389/fnut.2024.1437374

29. Sposob drazhirovaniya semyan sel'skokhozyaistvennykh kul'tur : patent 2782430 Rossiiskaya Federatsiya : MPK A01C 1/06 / A. V. Chistov, E. L. Kutuzov, S. L. Kutuzov, S. N. Zudilin, O. A. Olenin ; zayavitel' i patentoobladatel' Samarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. – № 2022115161; zayavl. 06.06.2022; opubl. 26.10.2022, Byul. № 30. – 1–2 s.

30. Cherepanova, O. V. Urozhainost' i biokhimicheskii sostav soi pri primenenii biopreparatov NVP Bashinkom v organicheskikh tekhnologiyakh v usloviyakh Altaiskogo kraya / O. V. Cherepanova // Otvetstvennyi za vypusk: A. V. Kolomeitsev. – 2026. – S. 218. –

31. Bagrintseva, V. N. Kukuruza na Stavropol'e. Tekhnologiya vozdelyvaniya i urozhainost’: monografiya / V. N. Bagrintseva. – Stavropol’: AGRUS Stavropol'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2021. – 256 s.

Информация об авторах

Слепых Илья Викторович, младший научный сотрудник лаборатории «Агрохимии», ФГБНУ «ВНИИ кукурузы», donhohot@gmail.com

Вклад автора: автором проведен анализ подготовлена научная публикация

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Ilya Viktorovich Slepykh, Junior Researcher at the Agrochemistry Laboratory, All-Russian Research Institute of Corn, donhohot@gmail.com

Contribution of the authors: all authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Conflict of interest: The author declare that there is no conflict of interest

ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ | POLITICAL SCIENCE

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 159-157
ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):159-157
POLITICAL SCIENCE

Научная статья
УДК 321, 32.2
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.15

О перспективе применения математических методов в анализе политического пространства «Русского мира»

Ксения Геннадьевна Минец [1]*

[1]ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет», г. Пятигорск, Россия
k.egina@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку: **Ксения Геннадьевна Минец**

Аннотация. Данная статья посвящена вопросу расширения традиционного методологического аппарата в политической науке посредством использования математических методов анализа. Цифровая трансформация мирового пространства предопределяет необходимость развития данных инструментов анализа, которые лежат в основе создания искусственного интеллекта. На примере политического пространства «Русского мира» в работе отражен принцип построения математической модели, а также обозначены задачи, которые встречаются в процессе формализации политических процессов. Путем сравнительного анализа различных математических систем и их практического применения в области политической науки доказывается положение о том, что, несмотря на большое количество различных измерений политических единиц (лакунарный спектр), политическое пространство может быть уравнено в виде математической системы. В этой связи искусственный интеллект может стать инструментом для обработки больших данных многоуровневой структуры политического пространства. Особое внимание в статье уделяется вопросу создания отечественного продукта искусственного интеллекта, который должен стать инструментом для реализации российских национальных интересов. В период сецентрических войн обеспеченность государства таким ресурсом как искусственный интеллект позволяет обладать не только цифровым суверенитетом, но и влияет на все уровни системы политического пространства во внешней политике. В работе обосновано положение о том, что российский продукт должен базироваться на концептах политического пространства «Русского мира», что включает в себя идентификацию отечественной истории и научной школы, традиционных духовно-нравственных ценностей. Только с фундаментальными основами «Русского мира» российская система искусственного интеллекта будет иметь возможность продуцировать качественный прогнозный сценарий развития внешнеполитических действий и работать на благо России. В работе аргументирована важность конкурентного преимущества будущего цифрового мира – естественного интеллекта, – значение которого должно оставаться основополагающим в российской внешнеполитической деятельности, что позволит противодействовать кибератакам и цифровому вмешательству со стороны недружественных стран. В статье показано, что данные обстоятельства подчеркивают актуальность исследования математических методов в рамках политической науки как перспективного прикладного инструмента анализа политического пространства.

Ключевые слова: «Русский мир», математические методы, количественные методы, математическое моделирование, квантификация, политическое пространство.

Для цитирования: Минец К.Г. О перспективе применения математических методов в анализе политического пространства «Русского мира» // Современная наука и инновации. 2026. №2. С.159–157. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.15

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© Минец К.Г., 2026
Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

On the Perspective of Applying Mathematical Methods in the Analysis of the Political Space of the "Russian World"

Minets Ksenia Gennadievna[1*]

[1] [1]Pyatigorsk State University, Pyatigorsk, Russia
k.egina@yandex.ru

* Corresponding author: **Ksenia G. Minets**, k.egina@yandex.ru

Abstract. This article is devoted to the issue of expanding the traditional methodological framework in political science through the use of mathematical methods. The digital transformation of the global space determines the need to develop data analysis tools that underlie the creation of artificial intelligence. Using the example of the political space of the "Russian World", the paper reflects the principle of constructing a mathematical model, as well as identifies the tasks that occur in the process of formalizing political processes. A comparative analysis of various mathematical systems and their practical application in the field of political science proves the position that, despite the large number of different dimensions of political units (the lacunar spectrum), the political space can be equalized in the form of a mathematical system. In this regard, artificial intelligence can become a tool for processing big data of a multi-level structure of the political space. The article pays special attention to the issue of creating a domestic artificial intelligence product, which should become a tool for realizing Russian national interests. During the period of the seocentric wars, the provision of such a resource as artificial intelligence by the state makes it possible to ensure not only digital sovereignty, but also affects all levels of the political space system in foreign policy. In this regard, the Russian product should be based on the concepts of the political space of the "Russian World", which includes the identification of national history and scientific schools, traditional spiritual and moral values. Only with the fundamental foundations of the "Russian World" will the Russian artificial intelligence system be able to produce a high-quality forecast scenario for the development of foreign policy actions and work for the benefit of Russia. At the same time, it is important to take into account the competitive advantage of the future digital world – natural intelligence, the importance of which should remain fundamental in Russian foreign policy, which will make it possible to counter cyber attacks and digital interference from unfriendly countries. These circumstances once again emphasize the relevance of the study of mathematical methods in the framework of political science as a promising applied tool for analyzing the political space.

Keywords: «Russian world», mathematical methods, quantitative methods, mathematical modeling, formalization, political space.

For citation: Minets K.G. On the Prospects of Applying Mathematical Methods in the Analysis of the Political Space of the Russian World. *Modern Science and Innovations*. 2026;(2):159-157. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.15

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2025.

Введение. В эпоху глобальной цифровизации, когда искусственный интеллект активно применяется для анализа и оценки перспектив развития внешнеполитических

процессов, ценность отечественных наработок в области использования математических инструментов в поле международных отношений возрастает. Исследование «Русского мира» как политического пространства в контексте современной внешней политики России через призму математических методов открывает перспективы для создания российских систем искусственного интеллекта, в архитектуру которых должны быть заложены основы «Русского мира».

Материалы и методы исследований. В качестве методологической основы исследования выступает совокупность общенаучных и специальных исследовательских приемов, включая методы анализа, синтеза и сравнительного ознакомления с материалом. В данном исследовании с целью получения более объективных результатов, была предпринята одна из первых попыток в отечественной политологической науке использования математических методов анализа политического пространства.

Теоретической основой данного исследования послужили работы специалистов в области математического моделирования, а также междисциплинарных направлений в контексте применения математических методов в политологии [1;8;9;10].

Результаты и обсуждения. Использование математических методов анализа политического пространства является актуальным направлением в поле политической науки, так как благодаря данному инструменту результаты проводимых исследований представляются более объективными и точными с позиции количественных показателей. Одним из преимуществ математических методов также является их прогностическая функция.

Основной вопрос при использовании математических методов в контексте политической науки заключается в сопоставлении различного рода качественной информации. Разнородность данных не дает в полной мере обратиться к расчетам и составлению прогноза.

К примеру, при построении динамической модели измерения информационного уровня политического пространства «Русского мира» в современной внешней политике России через динамику «взлета и падения» или модели «хищник-жертва» Лотки-Вольтера [12:302; 4:45] за основу можно взять следующие параметры:

1) $\dot{X}$ – динамика совершения кибератак;
2) $-\dot{Y}$ – повышение информационной безопасности России;
3) $+\dot{Y}$ – скорость взлома персональных данных;
4) $\dot{Z}$– скорость изменения количества недружественных стран;
5) T– время.

Используя данные показатели, с помощью математического моделирования можно представить информационное поле политического пространства через динамическую модель «взлета и падения» с нулевым порядком.

Рисунок 1 – Динамическая модель «взлета и падения» с нулевым порядком измерения информационного уровня политического пространства «Русского мира» в современной внешней политике России/ Figure 1 – Dynamic model of "rise and fall" with zero order measurement of the information level of the political space of the "Russian World" in modern Russian foreign policy [9:69].

Однако представленная динамическая модель обладает определенной математической погрешностью: показатели экзогенных факторов влияния («$\dot{Y}$»; «$\dot{Z}$») несопоставимы в одной математической плоскости, так как содержат разное качественное определение. В этом заключается сущность метрических проблем математических методов анализа. Следовательно, представляя математическую модель без уравнивая данных, исследователи отражают только математическую зависимость определенных компонентов политического пространства.

Для решения обозначенной задачи необходимо рассмотреть лакунарный спектр политических процессов и уровнять их. И.М. Михеев обозначил, что политического пространство обладает свойством сильной лакунарности по Адамару [8:25].

Дискретное преобразование Фурье может сделать эквивалентными единицы измерения политического пространства. Однако и в данном методе существуют определенные сложности. Прежде всего проектирование фильтров перевода различных систем индикаторов (финитных функций), учитывая темпоральный показатель, представляется крайне затруднительным процессом. Также в контексте политических событий должна быть обнаружена определенная закономерность для использования фундаментального уравнения Фурье для получения N-точечного дискретного преобразования [7:116].

Использование системы Рисса в гильбертовом пространстве лишает возможности идентифицировать уникальные свойства различных политических акторов, событий, факторов, влияющих на развитие политического пространства [6:871]. Применение переместительного закона в вещественном гильбертовом пространстве: уравнение («$\dot{Y}$»; «$\dot{Z}$») – будет некорректно с позиции качественной определенности данных переменных.

Система функций Радемахера ограничит политическое пространства системой симметричных бернуллиевских случайных величин [6:871].

Б.Е. Вейнц исследовал существование лакунарных систем в пространствах Банаха (Банахово пространство - это полное нормированное векторное пространство, в котором определена норма, измеряющая расстояние между элементами [5:4]). Автор приходит к выводу о том, что если пространство Банаха будет вложено в гильбертово пространство («пространство Е»), то существование финитности данного пространства не исключается. Исходя из первой теоремы исследователя, проходим к выводу о том, что «пространство Е» с дифференцируемой по Фреше нормой, вторая производная, которой ограничена на единичной сфере, то можно выделить лакунарную подсистему [3:16].

Следовательно, преобразование политического пространства в нормированную систему также возможно, учитывая финитность его содержания.

К выводу об уравнивании политических объектов приходит И.М. Михеев. В своей работе исследователь обосновывает свойство метрической гладкости политических явлений, обладающих лакунарной функцией [8:16].

Несмотря на математическое обоснование возможности преобразования параметров политических единиц к общую систему, необходимо обозначить потенциал искусственного интеллекта в данном процессе.

Ещё в середине XX века на основании принципов системной динамики Дж. Форрестер написал язык DINAMO, который представлял пример моделирование глобальных мировых процессов [10:278]. Разработками в данной сфере заинтересовались определенные западные институты, которые активно спонсировали их развитие, осознавая их потенциал.

Отечественные исследования в минимальном количестве посвящены междисциплинарным направлениям по данной тематике. Данное обстоятельство обуславливает необходимость укрепления прежде всего теоретического аппарата применения математических методов анализа политического пространства, на базе которого будет формироваться практическое применение в виде создания математических моделей и прогнозов развития политических событий.

Необходимо подчеркнуть, что именно фундаментальное теоретическое основание должно стать базой для российского алгоритма анализа, так как степень риска использования недостоверных данных искусственным интеллекта высока. Следовательно, обращение к отечественной математической школе, исследований в области кибернетики [1] станет основой для создания надежного автоматического инструмента анализа политических событий и оценки их перспектив в контексте российской внешнеполитической деятельности.

В отличие от США, где планирование военных операций осуществляется с помощью системы «Claude», российская разработка должна стать исключительно инструментом, а не субъектом для внешнеполитических решений [11]. Однако именно формирование собственного аналитического продукта, который будет основан на базе политического пространства «Русского мира» позволит России конкурировать и в дальнейшем превосходить другие государства в новом цифровом мире.

Уникальность такой интеллектуальной системы должна выражаться в закладывании в архитектуру искусственного интеллекта традиционных духовно-нравственные ценностей, исторического прошлого русского народа, понятий «Отечество», «долг перед Родиной», «семьи» и т.д. Только с данным базисом отечественный искусственный интеллект будет надежным инструментом служения в качестве вспомогательного инструмента, а не формирования стратегических целей внешнеполитической деятельности.

Особая опасность, которую представляет искусственный интеллект, заключается в возможности совершения кибератак и в создании спрограммированных ложных результатов анализа. Именно поэтому критический анализ с учетом специфики политического пространства «Русского мира» должен стать основой в архитектуре российского алгоритма.

Следовательно, проработанная математическая система не может являться единственной базой для исследований политического пространства. Детерминизм инновационных и гуманитарных технологий являются ядром для формирования российской интеллектуальной системы [2:171]. Благодаря автоматизации просчета различных политических событий, погрешность, присутствовавшая в ранних исследованиях, нивелируется. Следовательно, проблема лакунарности политического пространства при использовании математических методов может исчезнуть при работе искусственного интеллекта с позиции транслятора качественных показателей в количественные, учитывая метрическую гладкость политических явлений.

Заключение. В период сецентрической войны и глобальной цифровой трансформации использование математических методов анализа является перспективным направлением в политической науке. Несмотря на это в российских исследованиях данная методология применяется в небольшом количестве работ, что обуславливает необходимость развития использования математических методов в контексте внешнеполитической деятельности России. Заложив в архитектуру российской системы искусственного интеллекта концепты политического пространства «Русского мира», Россия получит уникальный инструмент анализа большого количества данных и составления прогнозных сценариев. Важно подчеркнуть, что именно фундамент отечественной науки сможет сохранить ценность естественного интеллекта в базе искусственного, что является основополагающим фактором будущего лидерства человечества в эпоху цифровизации.

Таким образом, применение математических методов в анализе политического пространства «Русского мира» имеет перспективу разработки отечественных систем искусственного интеллекта, базирующимся на концептуальной основе «Русского мира», что послужит укреплению суверенитета России на всех уровнях мирового пространства.

Список литературы

1. Бондарева О.Н. Некоторые применения методов линейного программирования к теории кооперативных игр // Проблемы кибернетики. 1963. Вып. 10. С. 119-139.
2. Вартумян А.А, Левченко, М.Е., Пачина Н.Н. Цифровая политика государства: риски и возможности // Современная наука и инновации.2023. № 4(44). С. 167-173.
3. Вейнц Б.Е. Существование лакунарных систем в пространствах Банаха // Доклады Академии наук СССР. 1970.Т.190. №1. С.15-18.
4. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1976. 288 с.
5. Джумакулиевич А.Б. Функциональный анализ: основные теоремы и приложения // Наука и мировоззрение. 2025. №42. С.200-205.
6. Казакова А. Д., Плотников М. Г. О лакунарности и единственности для различных аналогов хаоса Радемахера // Сибирский математический журнал. 2025. Том 66. № 5. С. 870-881.
7. Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. М.: Техносфера, 2010. 328 с.
8. Михеев И.М. Применение математических методов при исследовании системы международных отношений с использованием функциональных пространств: автореф. дисс. … док. физико-математических наук: 05.03.16. РАН Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша. М., 1997. 37 с.
9. Панин В. Н., Минец К.Г. Обеспечение безопасности информационного пространства «Русского мира» как стратегическая цель внешней политики России // Вестник Пятигорского государственного университета. 2025. № 2. С. 67-70.
10. Форрестер Дж. Динамика развития города. М.: Прогресс, 1974. 286 с.
11. ChatGPT и Grok указали на ошибки Трампа при планировании войны в Иране // Известия. 4 марта 2026 г. [Электронный ресурс] URL: https://iz.ru/2052645/anton-belyi/bit-nebitogo-vezet-chatgpt-i-grok-ukazali-na-oshibki-trampa-pri-planirovanii-voyny-v-irane (дата обращения: 02.04.2026).
12. Lotka A. Elements of Physical Biology. Baltimore: Williams & Wilkins company, 1925. 465 p.

References

1. Bondareva O.N. Some Applications of Linear Programming Methods to the Theory of Cooperative Games // Problems of Cybernetics. 1963; (10):119-139. (In Russ.).
2. Vartumyan A.A., Levchenko, M.E., Pachina N.N. Digital State Policy: Risks and Opportunities // Modern Science and Innovation.2023. (4(44): 167-173. (In Russ.).
3. Veints B.E. The Existence of Lacunar Systems in Spaces Reports of the USSR Academy of Sciences. 1970. (190(1)):15-18. (In Russ.).
4. Volterra V. Mathematical Theory of the Struggle for Existence. Moscow: Nauka, Main Editorial Office of Physico-Mathematical Literature, 1976. 288 p. (In Russ.).
5. Dzhumakulievich A.B. Functional Analysis: Basic Theorems and Applications // Science and Worldview. 2025. (42): 200-205. (In Russ.).
6. Kazakova A.D., Plotnikov M. G. On Lacunarity and Uniqueness for Various Analogues of Rademacher Chaos // Siberian Mathematical Journal. 2025 (66)(5)):870-881. (In Russ.).
7. Kester W. Design of Digital and Mixed Signal Processing Systems. Moscow: Technosphere, 2010. 328 p. (In Russ.).
8. Mikheev I.M. Application of Mathematical Methods in the Study of the System of International Relations using Functional Spaces: abstract. diss. ...the dock. Physical and Mathematical Sciences: 05.03.16. RAS Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, 1997. 37 p. (In Russ.).
9. Panin V. N., Minets K.G. Ensuring the Security of the Information Space of the "Russian World" as a Strategic Goal of Russia's Foreign Policy // Bulletin of Pyatigorsk State University. 2025. (2):67-70. (In Russ.).
10. Forrester J. The dynamics of the City's Development. Moscow: Progress, 1974. 286 p. (In Russ.).
11. ChatGPT and Grok Pointed out Trump's Mistakes when Planning the War in Iran. Izvestia. March 4, 2026. Available from: https://iz.ru/2052645/anton-belyi/bit-nebitogo-vezet-chatgpt-i-grok-ukazali-na-oshibki-trampa-pri-planirovanii-voyny-v-irane [Accessed 2 April 2026]. (In Russ.)
12. Lotka A. Elements of Physical Biology. Baltimore: Williams & Wilkins company, 1925. 465 p.

Информация об авторах

Минец Ксения Геннадьевна, старший преподаватель кафедры ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет», 89064696982, k.egina@yandex.ru

Конфликт интересов: автору неизвестно о каком-либо потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

Information about the authors

Information about the author Minets Ksenia Gennadievna - Lecturer at the Department of Innovation, Marketing and Advertising, Pyatigorsk State University, 89064696982, k.egina@yandex.ru

Authors' contribution: Author contributed equally to the preparation of the publication.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 166-175
ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):166-175
POLITICAL SCIENCE

Научная статья
УДК 322.2
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.16

Особенности политического управления обеспечением общественной безопасности городов-курортов региона Кавказских Минеральных Вод

Дмитрий Сергеевич Чекменев[1,*], Александр Юрьевич Бородаев[2]

[1]ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет»
[1]tchekmenev@gmail.com.
[2]borodaev.07@yandex.ru.

*Автор, ответственный за переписку **Дмитрий Сергеевич Чекменев,** [1]tchekmenev@gmail.com.

Аннотация. Актуальность данной статьи обусловлена значительным повышением значимости обеспечения общественной безопасности в контексте усложнения общественно-политических отношений и системного противостояния между Российской Федерацией и странами коллективного Запада. Особое внимание в работе уделяется специфике обеспечения общественной безопасности на муниципальном уровне, что обусловлено рядом специфических характеристик.В статье систематизируются структурные и технологические особенности политического управления обеспечением общественной безопасности городов-курортов региона СКФО, конкретизируются факторы и детерминанты, определяющие проекции данных особенностей в политическом процессе.
Ключевые слова: общественная безопасность, политическое управление, муниципальное образование, город-курорт федерального значения.

Для цитирования: Чекменев Д.С., Бородаев А.Ю. Особенности политического управления обеспечением общественной безопасности городов-курортов региона Кавказских Минеральных Вод // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 166–175. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.16

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов**.**

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

Features of political management of ensuring public safety of resort towns of the Caucasian Mineral Waters region

Dmitry Sergeevich Chekmenev[1,*], Borodaev Alexander Yurievich[1,2]

[1]Pyatigorsk State University
[1]tchekmenev@gmail.com.
[2]borodaev.07@yandex.ru.

*Corresponding author **Dmitry Sergeevich Chekmenev Чекменев,** [1]tchekmenev@gmail.com.

© ЧекменевД.С., Бородаева А.Ю.., 2026

Abstract. The relevance of this article is due to the significant increase in the importance of ensuring public safety in the context of the complexity of socio-political relations and the systemic confrontation between the Russian Federation and the countries of the collective West. The article focuses on the specifics of ensuring public safety at the municipal level, which is due to a number of specific characteristics. The article systematizes the structural and technological features of the political management of ensuring public safety in the resort cities of the North Caucasus Federal District, and specifies the factors and determinants that determine the projections of these features in the political process.
Keywords: public safety, political management, municipality, resort town of federal importance.

For citation: Chekmenev D.S., Borodaev A.Yu. Features of Political Management of Public Security in Resort Cities of the Caucasian Mineral Waters Region. *Modern Science and Innovations*. 2026 ;(2):166-175. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.16

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.026;
accepted for publication 01.03.2026.

Introduction. The relevance of this article is determined by the generally increasing importance of security, which is due to the growing number of threats facing Russia in the context of increasingly complex socio-political relations and systemic confrontation with the countries of the collective West. The topic of the article is particularly relevant due to the fact that ensuring public security at the municipal level is characterized by a number of features, among which it should be noted, firstly, the participation of local governments in solving a wide range of problems in this area is associated with the absence of law enforcement units. Accordingly, local governments act in this area through certain organizations and perform a coordinating role (in this regard, the resort towns of the Caucasian Mineral Waters region, being urban districts by their legal status, are vested with all matters of local importance in the sphere of participation in ensuring public security). Secondly, the very content of the concept of "public security" has significantly expanded over the past decade, with such types of it articulated in public discourse as "civilizational security", "religious security", etc. Thirdly, the participation of local governments in ensuring public safety (the normative and legal patterns of this participation) presuppose the intensive involvement of civil society institutions in this process (here we note two types of relevant organizations: public associations with a law enforcement focus (for example, voluntary people's squads), as well as civil organizations in general associated with broad socio-political activities (for example, public councils, ethnic councils, the latter representing a significant distinctive feature of the resort towns of the Caucasian Mineral Waters region). In this context, it should be noted that at present, issues of ensuring security, including public security, are acquiring significant political significance. This, in particular, presupposes the targeted formation of appropriate reactions of society to decisions taken by public authorities [10: 80].

In this general context, the political management of public safety in the resort towns of the Caucasian Mineral Waters region (*hereinafter referred to as KMV*) takes on increased importance, which is due to the special legal status of these municipalities (resort towns of federal significance, the city of Pyatigorsk has another status - the administrative center of the North Caucasian Federal District (*hereinafter referred to as NCFD*)), which have systemically significant projections on the process of ensuring public safety on their territory.

Methodology. Institutionally, we assume that the resort towns of the Caucasian Mineral Waters region are resort towns of federal significance, urban districts, and that Pyatigorsk is the administrative center of the North Caucasus Federal District. This, taken together, creates a set of systemic characteristics that determine the process of political governance for ensuring public safety. Also, This article uses the author's approach to analyzing the structural and design

properties and technological characteristics of political governance in the area of public safety in a municipality. This approach is based on identifying five areas of political governance in this area: institutional, regulatory, functional, communicative, and cultural-ideological. Each of these areas has its own content, and we suggest that, at the present stage, the role of the political component within the actual activity component is increasing, while the significance of the public-administrative component is acquiring a purely instrumental nature.

On this basis, we identify five main types of political technologies, the implementation of which, accordingly, is aimed at ensuring the solution of problems in ensuring the above five areas of activity.

Research Material. The study was based on doctrinal documents of public authorities, materials from local government bodies, and civil society institutions operating in the area of public safety. A special section of empirical materials reflected the practice of political management of public safety in the Caucasian Mineral Waters region.

Research results and their interpretation . To clarify the structural and design features of political management of public safety in municipalities, we utilize the principles of the theory of the structural organization of the political subsystem of society, according to which it consists of the following subsystems: institutional; normative and legal; functional; communicative; and cultural-ideological. This leads us to identify the corresponding structural political management systems in this area, the content and projections of which in the resort towns of the Caucasian Mineral Waters region have their own characteristics:

- political construction of the subject composition;
- political support for the law-making process;
- political support for the functioning of governance;
- political construction of communication networks;
- political construction of the cultural and ideological component of political management of public security.

We associate the political construction of the subject composition with the institutional subsystem. We associate this property with the construction of a subject composition that meets certain requirements. Firstly, these are the requirements of the current policy for improving the administrative-public system; secondly, this is the objective necessity of incorporating civil society institutions into public administration practices. Obviously, the degree of their subjectivity varies significantly [1: 92]. This results in the formation and subsequent functioning of a public safety system.

The very political construction of the subject composition as a structural-design property consists of the formation (stimulation of the formation, and sometimes direct generation) of subjects in accordance with the requirements of the current political moment, context.

Directly related to the provision of institutional organization are political technologies aimed at ensuring the creation of appropriate institutions whose activities are aimed at ensuring public security (in whole or in part).

Considering the current specifics of organizing a unified public authority system, it should be noted that the identified technologies are focused on the creation (or ensuring the creation) of civil society institutions that participate in addressing public safety issues (and their functionality may be fully or partially focused on this activity). An example of the former—a full focus on participation—is volunteer public patrols. Examples of organizations with a partial focus on public safety include, in particular, councils created under the heads of municipalities. Here we note the projection of a significant feature of the resort towns of the Caucasian Mineral Waters region: in their structures of local government bodies, two similar councils have been created – the Public Council (for example, the Public Council of the city of Pyatigorsk [7]) and the Ethnic Council. Moreover, if the functionality of the first is to represent the interests of residents in solving general issues of a socio-economic nature, then the functionality of the Ethnic Council includes solving issues of ensuring public safety (prevention of extremism and terrorism, prevention of interethnic and interfaith conflicts), to which have recently been added issues of strengthening the all-Russian

civic identity and civic consolidation, support for traditional Russian spiritual and moral values, which represents a conceptual field of an expanded understanding of public safety [15].

Here it is worth noting a fundamental circumstance: in the new law on local self-government of 2025, the issue of local importance "ensuring public order" was removed from municipal competence; only the issue of "providing support to citizens and their associations participating in the maintenance of public order, creating conditions for the activities of public squads" remained [9]. In this regard, public squads and similar organizations are the only entities that take part in ensuring public order on behalf of the local community.

The discussion about the creation of a municipal police force, which is actively discussed in the scientific and practical literature, is significant here. The issue of creating a municipal police force has remained relevant and controversial throughout various periods, with both supporters and opponents of the creation of a municipal police force present in the scientific discourse. As S.A. Baranova and A.R. Shastina note, this idea currently appears impractical due to a number of circumstances. Firstly, the specifics of public order protection, characterized by the complex interaction between various levels of government and various law enforcement agencies, must be taken into account. Secondly, the creation of a municipal police force for the protection of public order is pointless, since the law "On Citizen Participation in the Protection of Public Order" provides for forms of participation in the protection of public order at the local level [2: 173]. At the same time, the development of these forms remains relevant in terms of their effectiveness and efficiency.

We share the presented view. We consider it necessary to add that the logic of the changed competence of local self-government under the new federal law on its organization contradicts the creation of a municipal police force – the functions of local government bodies are clearly shifting toward creating conditions, providing information and communication support, etc., for the activities of public associations in the area of maintaining public order. We note that such a practice is fully consistent with the Russian model of civil society, which presupposes the genuine involvement of its institutions in political and administrative processes, which is largely managed in nature [3: 21].

Political support for the rule-making process in the area of public safety is linked to the regulatory subsystem. This includes regulatory acts at various levels (including acts of political and socio-political organizations, and civil society institutions). In the context of political management in the area of public safety, we particularly note the target programs at the municipal level.

Here, we highlight political technologies for supporting the lawmaking process at the local level. Specifically, we include stimulating public debate, holding public hearings, informing the public, encouraging grassroots initiatives, etc.

We associate the political support for the functioning of management with the functional subsystem Ensuring public safety. It includes the forms and directions of political activity and methods of exercising power in the area of ensuring public safety.

Thus, according to the Concept of Public Security [5], in particular, the main areas of activity within the scope of their competence of entities ensuring public security are: countering terrorism: countering extremism: countering criminal attacks: countering corruption: protecting the population from natural and man-made emergencies; countering illegal migration: establishing international cooperation:

We associate the political construction of communication networks with the communication subsystem ensuring public safety. This subsystem includes a set of connections and interactions between the subsystems of the political system, between the political system and other subsystems of society (economic, social and spiritual) [12: 67].

The communicative subsystem for ensuring public safety at its core includes a set of interactions (connections) that are implemented (formed) between public authorities vested with the relevant competencies. A fundamental issue is the place and subordination of local government

bodies that are not part of the system of state authorities but are part of the unified system of public authorities of the relevant constituent entity of the Russian Federation.

We believe that it is precisely the character (structure, composition of actors, political technologies employed, etc.) that indicates the formation of a political network for ensuring public security. Here, by political network, we mean a non-hierarchical system of various organizations, not linked by direct organizational ties, whose activities are aimed at achieving a common political goal.

Thus, the structure of communication links in the system of political management of public security. Includes:

- vertical communication links within a unified system of public authorities (includes three levels); here, of particular political significance is the practice of interaction between state authorities and local authorities, an example of which is the institution of informing local authorities by heads of territorial divisions of law enforcement agencies [11]. Also worth noting here are the various coordinating bodies created to ensure effective interaction between state authorities and local government bodies [10];

- communication links between local government bodies and civil society institutions, the latter being represented by two types: public organizations with a law enforcement focus and public organizations indirectly connected with ensuring public safety. A symptomatic example here is the activities of the headquarters of people's militias [8];

- communication links between local government bodies and subordinate organizations, which are increasingly involved in the practice of ensuring public safety;

- communication links between local government bodies and international organizations (these links are extremely limited, but they have a certain potential for development in terms of preserving traditional cultural and spiritual-moral values).

To ensure the construction and subsequent functioning of these connections, political technologies are used to build channels of communication interaction, vertical or horizontal, in the public security system.

the political construction of the cultural-ideological component of political governance for ensuring public security with the cultural-ideological subsystem. This subsystem includes political ideology (a system of ideas, views, and concepts regarding political life, based on political values) and political culture (a system of established norms of political behavior based on notions of political ideals, a just state, the meaning of political life, and ways of evaluating and explaining political phenomena).

An examination of the structural and design features of political governance in the area of public safety in municipalities leads us to the conclusion that it is becoming increasingly complex, both structurally and design-wise. The Comprehensive Plan for Countering the Ideology of Terrorism in the Russian Federation for 2024–2028 [4] serves as an illustrative example here.

Thus, certain aspects of local government involvement in ensuring public safety have recently become particularly relevant due to ongoing political processes. One such aspect is the involvement of local governments in countering terrorist ideology.

A significant decision aimed at significantly increasing the systematic nature of public opposition to the ideology of terrorism was the approval in 2024 of the Comprehensive Plan for Countering the Ideology of Terrorism in the Russian Federation [4], which contains a set of measures aimed at developing in the population, based on traditional Russian spiritual and moral values [13], a rejection of the ideology of terrorism and resistance to its propaganda.

The content of the tasks of countering the ideology of terrorism reflects the process of forming a comprehensive system in that area, among the features of which two should be highlighted: firstly, civil society institutions are systematically incorporated into this activity and, secondly, the directions of activity in this area that local government bodies must implement are clearly defined.

The technological specifics of political management for ensuring public safety in municipalities of federal resorts in the Caucasian Mineral Waters region are determined by the

areas of activity in the area of public safety. For example, in the resort town of Pyatigorsk, these areas are [6]:

- expansion of the implementation and further improvement of the "Safe City" automated control system, ensuring public safety, fire safety of municipal institutions, and preventing offenses (including extremist and terrorist offenses) in the resort town of Pyatigorsk;
- strengthening interethnic and interfaith relations, countering extremist manifestations in the city;
- support of the Cossacks in the territory of the resort town;
- implementation of management activities at the municipal level aimed at ensuring the functioning of the public safety system (this includes, first of all, ensuring the implementation of programs in the area of public safety and related areas of socio-political relations).

Conclusions. The structural and design properties of political management in the area of public safety of a municipality determine the system of political technologies applied to ensure them. We have identified the following similar properties: institutional; regulatory and legal; functional; communicative; cultural and ideological. Each of them has its own inherent content and functionality.

Accordingly, the article highlights the following technologies of political management in the sphere of ensuring public safety of a municipality: technologies aimed at ensuring the institutional composition (the most significant ones are technologies for constructing entities participating in the process of ensuring public safety), technologies for political support of the rule-making process aimed at adopting norms regulating the process of ensuring public safety), technologies aimed at ensuring the functioning of political management in the sphere under consideration, technologies aimed at building communication networks, as well as technologies for constructing the cultural and ideological component of political management of ensuring public safety.

Список источников

1. Аствацатурова М.А., Чекменев Д.С. Политико-управленческий и организационно-управленческий сегменты образовательного дискурса (мотивационно-ценностные установки в локальном контексте) // Гуманитарий Юга России. 2013. № 1. С. 92-102.

2. Баранова С.А., Шастина А.Р. Особенности охраны общественного порядка в пределах территорий муниципальных образований // Право и государство: теория и практика. 2022. № 2 (206). С. 173-176.

3. Ибрагимов И.Д. Национальная российская модель гражданского общества; этноконфессиональные институты и проекции: монография. Пятигорск, ПГУ, 2024. 381 с.

4. Комплексный план противодействия идеологии терроризма в Российской Федерации на 2024 - 2028 гг. (утв. Президентом РФ 30.12.2023 N Пр-2610) // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.06.2025).

5. Концепция общественной безопасности в Российской Федерации" (утв. Президентом РФ 14.11.2013 N Пр-2685) // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.06.2025).

6. Постановление администрации г. Пятигорска от 04.09.2017 N 3735 (ред. от 28.12.2019) «Об утверждении муниципальной программы города-курорта Пятигорска «Безопасный Пятигорск» // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.09.2025).

7. Постановление администрации г. Пятигорска от 20.07.2018 N 2805 (ред. от 15.02.2022) «Об Общественном совете города Пятигорска» // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.09.2025).

8. Постановление администрации г. Пятигорска от 27.02.2015 №942 (ред. от 06.06.2019) «О муниципальном штабе народных дружин города Пятигорска»

9. Постановление Администрации города Ессентуки Ставропольского края от 24.02.2025 № 168 «Об утверждении Положения и состава Этнического совета города Ессентуки» // Справочно-

правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.09.2025).

10. Постановление администрации города-курорта Железноводска от 26.10.2009 №282 (ред. от 11.07.2011) «О межведомственной комиссии по профилактике правонарушений, противодействию терроризму, экстремизму и коррупции в городе-курорте Железноводске» // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.09.2025).

11. Решение Думы г. Железноводска Ставропольского края «Об Отчете начальника Отдела МВД России по г. Железноводску об итогах оперативно-служебной деятельности Отдела МВД России по г. Железноводску за 2024 год (выписка из протокола) // Главное Управление МВД России по Ставропольскому краю. - URL: https://26.xn--b1aew.xn--p1ai/Dejatelnost/otcheti_o_dejat/otch_terr/ (дата обращения: 11.09.2025).

12. Соловьева Е.А. Функциональные возможности PR-текста как инструмента политической коммуникации // Общественно-политический и информационный дискурс: современные сюжеты, проблемы и тенденции. Сборник научных трудов. Пятигорск, 2017. С. 67-73.

13. Указ Президента Российской Федерации от 9 ноября 2022 г. №809 "Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей" // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.06.2025).

14. Федеральный закон от 04.11.2003 г. №131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.06.2025).

15. Федеральный закон от 20.03.2025 г. №33-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в единой системе публичной власти» // Справочно-правовая система «Консультант плюс». – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 03.06.2025).

16. Чекменев Д.С. К вопросу о структуре общественно-политического дискурса // Вестник Пятигорского государственного лингвистического университета. 2015. №4. С. 208-213.

References

1. 1. Astvatsaturova M.A., Chekmenev D.S. Politiko-upravlencheskii i organizatsionno-upravlencheskii segmenty obrazovatel'nogo diskursa (motivatsionno-tsennostnye ustanovki v lokal'nom kontekste) // Gumanitarii Yuga Rossii. 2013. № 1. S. 92-102.

2. Baranova S.A., Shastina A.R. Osobennosti okhrany obshchestvennogo poryadka v predelakh territorii munitsipal'nykh obrazovanii // Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika. 2022. № 2 (206). S. 173-176.

3. Ibragimov I.D. Natsional'naya rossiiskaya model' grazhdanskogo obshchestva; ehtnokonfessional'nye instituty i proektsii: monografiya. Pyatigorsk, PGU, 2024. 381 s.

4. Kompleksnyi plan protivodeistviya ideologii terrorizma v Rossiiskoi Federatsii na 2024 - 2028 gg. (utv. Prezidentom RF 30.12.2023 N Pr-2610) // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.06.2025).

5. Kontseptsiya obshchestvennoi bezopasnosti v Rossiiskoi Federatsii" (utv. Prezidentom RF 14.11.2013 N Pr-2685) // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.06.2025).

6. Postanovlenie administratsii g. Pyatigorska ot 04.09.2017 N 3735 (red. ot 28.12.2019) «Ob utverzhdenii munitsipal'noi programmy goroda-kurorta Pyatigorska «Bezopasnyi Pyatigorsk» // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.09.2025).

7. Postanovlenie administratsii g. Pyatigorska ot 20.07.2018 N 2805 (red. ot 15.02.2022) «Ob Obshchestvennom sovete goroda Pyatigorska» // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.09.2025).

8. Postanovlenie administratsii g. Pyatigorska ot 27.02.2015 №942 (red. ot 06.06.2019) «O munitsipal'nom shtabe narodnykh druzhin goroda Pyatigorska»

9. Postanovlenie Administratsii goroda Essentuki Stavropol'skogo kraya ot 24.02.2025 № 168 «Ob utverzhdenii Polozheniya i sostava Ehtnicheskogo soveta goroda Essentuki» // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.09.2025).

10. Postanovlenie administratsii goroda-kurorta Zheleznovodska ot 26.10.2009 №282 (red. ot 11.07.2011) «O mezhvedomstvennoi komissii po profilaktike pravonarushenii, protivodeistviyu

terrorizmu, ehkstremizmu i korruptsii v gorode-kurorte Zheleznovodske» // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.09.2025).

11. Reshenie Dumy g. Zheleznovodska Stavropol'skogo kraya «Ob Otchete nachal'nika Otdela MVD Rossii po g. Zheleznovodsku ob itogakh operativno-sluzhebnoi deyatel'nosti Otdela MVD Rossii po g. Zheleznovodsku za 2024 god (vypiska iz protokola) // Glavnoe Upravlenie MVD Rossii po Stavropol'skomu krayu. - URL: https://26.xn--b1aew.xn--p1ai/Dejatelnost/otcheti_o_dejat/otch_terr/ (data obrashcheniya: 11.09.2025).

12. Solov'eva E.A. Funktsional'nye vozmozhnosti PR-teksta kak instrumenta politicheskoi kommunikatsii // Obshchestvenno-politicheskii i informatsionnyi diskurs: sovremennye syuzhety, problemy i tendentsii. Sbornik nauchnykh trudov. Pyatigorsk, 2017. S. 67-73.

13. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 9 noyabrya 2022 g. №809 "Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoi politiki po sokhraneniyu i ukrepleniyu traditsionnykh rossiiskikh dukhovno-nravstvennykh tsennostei" // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.06.2025).

14. Federal'nyi zakon ot 04.11.2003 g. №131-FZ «Ob obshchikh printsipakh organizatsii mestnogo samoupravleniya v Rossiiskoi Federatsii» // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.06.2025).

15. Federal'nyi zakon ot 20.03.2025 g. №33-FZ «Ob obshchikh printsipakh organizatsii mestnogo samoupravleniya v edinoi sisteme publichnoi vlasti» // Spravochno-pravovaya sistema «Konsul'tant plyus». – URL: https://www.consultant.ru (data obrashcheniya: 03.06.2025).

16. Chekmenev D.S. K voprosu o strukture obshchestvenno-politicheskogo diskursa // Vestnik Pyatigorskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta. 2015. №4. S. 208-213.

Информация об авторах

Дмитрий Сергеевич Чекменев – доктор политических наук, доцент, профессор кафедры креативно-инновационного управления и права ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет», +79614817951, tchekmenev@gmail.com.

Александр Юрьевич Бородаев – соискатель, старший преподаватель кафедры креативно-инновационного управления и права ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет», +79626719439, borodaev.07@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Dmitry S. Chekmenev – Dr Sci. (Pol.), Associate Professor, Professor of the Department of Creative and Innovative Management and Law, Pyatigorsk State University, +79614817951, tchekmenev@gmail.com .

Alexander Yu. Borodaev – Applicant, Senior Lecturer at the Department of Creative

Author contributions: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 174-181
ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):174-181
POLITICAL SCIENCE

Научная статья
УДК 32, 327
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.17

Современные геополитические трансформации в субрегионе Юго-Восточной Азии в условиях формирующегося нового миропорядка

Алексей Викторович Агапов [1*]

[1]ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет»
[1] AVAgapov@rambler.ru

*Автор, ответственный за переписку **Алексей Викторович Агапов,** AVAgapov@rambler.ru

Аннотация. Актуальность исследования современных геополитических трансформаций в субрегионе Юго-Восточной Азии (ЮВА) в контексте формирования нового миропорядка обусловлена их возрастающей значимостью в системе мировой политики. Эти трансформации имеют потенциал изменить фундаментальные основы архитектуры политических отношений в регионе. Для России данный регион представляет системный интерес, что обусловлено, во-первых, его ключевой ролью в реализации стратегической инициативы «разворота на Восток», и, во-вторых, его интеграцией в проект Большой Евразии, который является одним из приоритетных направлений внешнеполитического курса Российской Федерации. В рамках настоящего исследования ставится цель провести детальный анализ ключевых геополитических изменений в субрегионе ЮВА, обусловленных процессами формирования нового миропорядка. Для достижения этой цели необходимо выявить основные тенденции и факторы, влияющие на геополитическую динамику в регионе, а также оценить их возможные последствия для международной системы и региональных акторов. Особое внимание уделяется изучению роли России в этих процессах, её стратегическим интересам и возможностям для укрепления своего влияния в ЮВА. Также рассматривается взаимодействие России с другими ключевыми игроками, такими как Китай, Индия, США и страны АСЕАН, и их влияние на геополитическую конфигурацию региона. В статье выделяются особенности политических трансформационных процессов в Юго-Восточной Азии, геополитическое значение которой поступательно увеличивается. Данные процессы обусловлены формированием нового миропорядка, и в то же самое время сами формируют новую региональную политическую архитектуру. Таким образом, данное исследование направлено на углублённое понимание современных геополитических трансформаций в Юго-Восточной Азии и их влияния на глобальную и региональную политику, а также на выявление перспектив и возможностей для России в контексте этих изменений.

Ключевые слова: мировая политика, АСЕАН, новый миропорядок, политический процесс, региональное сотрудничество, Юго-Восточная Азия.

Для цитирования: Агапов А.В. Современные геополитические трансформации в субрегионе Юго-Восточной Азии в условиях формирующегося нового миропорядка // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 174–181. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.17

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

© Агапов А.В., 2026

Research article

Modern geopolitical transformations in the sub-region of Southeast Asia in the context of the emerging new world order

Alexey Victorovch Agapov[1,*]

[1]Pyatigorsk State University
AVAgapov@rambler.ru

*Corresponding author **Alexey Victorovch Agapov,** AVAgapov@rambler.ru

Abstract. The relevance of studying modern geopolitical transformations in the Southeast Asia (SEA) subregion in the context of the formation of a new world order is due to their increasing importance in the global political system. These transformations have the potential to change the fundamental foundations of the region's political architecture. For Russia, this region is of systemic interest due to its key role in the implementation of the strategic initiative of "turning to the East" and its integration into the Greater Eurasia project, which is one of the priority areas of the Russian Federation's foreign policy. To achieve this goal, it is necessary to identify the main trends and factors affecting the geopolitical dynamics in the region, as well as to assess their possible consequences for the international system and regional actors. Special attention is paid to studying Russia's role in these processes, its strategic interests, and its opportunities to strengthen its influence in Southeast Asia. The interaction between Russia and other key players, such as China, India, the United States, and the ASEAN countries, is also examined, as well as their impact on the geopolitical configuration of the region. The article highlights the features of political transformation processes in Southeast Asia, the geopolitical importance of which is steadily increasing. These processes are conditioned by the formation of a new world order, and at the same time they themselves form a new regional political architecture. Thus, this study aims to gain a deeper understanding of the current geopolitical transformations in Southeast Asia and their impact on global and regional politics, as well as to identify the prospects and opportunities for Russia in the context of these changes.

Keywords: world politics, ASEAN, new world order, political process, regional cooperation, Southeast Asia.

For citation: Agapov A.V. Modern Geopolitical Transformations in the Southeast Asia Subregion in the Context of the Emerging New World Order. *Modern Science and Innovations. 2026. No. 2*. Pp. 174–181. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.17

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.026;
accepted for publication 01.03.2026
Research article

Introduction. The relevance of contemporary geopolitical transformations in the Southeast Asian subregion *(hereinafter referred to as SEA*) in the context of the emerging new world order is determined by its growing significance in global politics. At the same time, these transformations have the potential to alter the fundamental architecture of political relations in this subregion. For Russia, this region also has systemic significance, due, firstly, to its significant role in implementing Russia's "pivot to the East" policy and, secondly, to its role (more or less hypothetically) in the Greater Eurasia project. Thus, the purpose of this study is to identify key geopolitical transformations in the Southeast Asian subregion, driven by the formation of a new world order.

The academic discourse includes studies by Russian and foreign authors devoted to the analysis of the problems of the formation of a new world order, as well as contemporary political processes in Southeast Asia. For example, V.N. Panin studied interstate cooperation in the modern system of international relations [10]. P. Parameswaran examines D. Trump's strategy in Southeast Asia in the context of the strategic confrontation between the United States and China [7]. B. Ciputra examines the role of Indonesia in strengthening Asia's influence in a changing world [1]. G. Hayes analyzes the influence of US-Australian relations on the change in Australia's security policy, which is projected in the Southeast Asian subregion [2]. The works of P.K. Gien [3] and N.T. Toan [9] examine the strengthening of Vietnam and the features of its foreign policy in the context of the formation of a new world order. M.R. Irsyad analyzes the Chinese strategy in the territorial dispute in the South China Sea, which involves Southeast Asian countries (the Philippines, Vietnam and Malaysia) [5]. The work of T.S. Maini raises the important issue of changing Malaysia's policy in the matter of its accession to BRICS [6]. L.I. Ing examines the ASEAN policy, which is formulated and implemented in the context of growing confrontation in Southeast Asia between the United States and China, with the conditions for the formation of a new world order in which there will not be one leading power [4].

At the same time, the dynamism of political processes in the Southeast Asian subregion, as well as the high degree of uncertainty of the situation, necessitate further research on issues of political transformations in Southeast Asia in the context of the formation of a new world order, the basic principles of which are receiving greater practical manifestations.

Methodology. In preparing the research presented in this article, we utilized a systemic (analyzing political processes in the Southeast Asian subregion as a whole) and a situational (specifically, scoping out their local implications in individual countries) approach. Methodologically, the use of a civilizational approach in conceptualizing the characteristics of the emerging new world order, which, in our opinion, is based on the principles of this approach, also appears significant.

Research Material. The research was based on project documents reflecting key political processes in the Southeast Asian subregion in the current geopolitical context, official statements by political leaders of countries and international organizations, and materials from analytical and expert centers and media outlets.

Research results and their interpretation. The formation of a new world order is determined by a number of factors and related processes, through which it manifests itself, transforming the system of political relations both globally and regionally. The most important of these factors include: changes in the structure of international political relations; the shift of economic growth to other regions of the world; the increasing role of new centers of power in technological progress; and the escalation of regional conflicts.

Next, we will consider the identified factors and their projections onto the process of forming a new world order.

Changes in the structure of international political relations. The traditional system of international relations, which emerged after World War II as bipolar and transformed after the collapse of the USSR into a unipolar system based on Western dominance, is undergoing fundamental changes, and it is now possible to speak of its dismantling. This is manifested in the following circumstances: new centers of power (China, Russia, India, and Brazil) are emerging and beginning to pursue independent foreign policies.

This is leading to the creation of new coalitions, as well as the intensification of existing interaction formats not included in the previous architecture of the world order. The most illustrative examples here are the SCO and BRICS. Separately, it is worth noting the projections of Russian foreign policy aimed at building a "Greater Eurasia," in which the Southeast Asian subregion could assume significant significance. Moreover, certain institutional mechanisms for this have already been created, particularly, for example, in the customs sphere [12, 168].

To a significant extent, the formats of interstate cooperation are changing in the modern system of international relations [10, 432], which should also be linked to the formation of a new

world order, which is based on the desire of states to defend exclusively their national interests, sovereignty, as well as the willingness of countries to change allies and alliances if this is required by pragmatic considerations of the policy being pursued.

The shift of economic growth to other regions of the world. Economic development has always acted as a factor of geopolitical influence. Countries have always sought to develop their own economies, develop infrastructure, and attract investment. Economic unions (or, at the local level, trade agreements) have always served as tools for strengthening positions on the international stage. These tools remain relevant in the current environment, but they are now being used by all players, not just the leading ones, reflecting the emergence of a multipolar world characterized by a high degree of variability in foreign policy relations. Systemically, Asian countries are already emerging as centers of economic growth, while the importance of Western countries is significantly diminished.

The growing role of new centers of power in technological progress. Technological advances are having a significant impact on international relations. Digital technologies, including artificial intelligence, biotechnology, and energy, are changing the nature of competition between countries, with China now joining the ranks of leading countries, and India demonstrating significant achievements. In this area, Russia is making significant efforts to ensure its technological leadership in specific industries. The preservation and development of manufacturing competencies is illustrative, as exemplified by the microchip crisis, where neither the United States nor the EU were able to quickly organize production of this strategic commodity on their own soil. Changes in energy markets are also significantly important [11, 79]. For example, the Southeast Asian subregion faces the challenge of energy resource extraction in the South China Sea, which is currently complicated by territorial disputes involving China.

Intensification of regional conflicts. Conflicts in various regions of the world are growing in both quantity and quality. Their effective resolution, which depends on the cooperation of influential states and international organizations, is becoming increasingly difficult.

These factors give rise to the complex specifics of the emerging new world order, in which traditional relations and processes are gradually being replaced by new forms of interaction and competition.

The contemporary geopolitical significance of the Southeast Asian subregion is linked to its dynamically growing, multifaceted potential. Important in this regard is the fact that it is part of the Asia-Pacific region, which is objectively the most significant in the global geopolitical space. The current stage of the formation of a new world order is characterized by changes affecting the entire system of international relations and encompasses the Southeast Asian subregion. Geopolitical transformations in this subregion are driven by the following key factors: growing regional significance, which is multifaceted; changing balances of power influencing the Southeast Asian subregion; the emergence of new threats and challenges; and intensification of multilateral interaction.

Growing regional significance. Overall, the Southeast Asian subregion and its individual countries are gaining increasing importance in the international system, driven by its geographic location, economic resources, and ongoing economic growth and prospects for further expansion.

In this regard, this subregion is the focus of attention for leading global players such as China, the United States, Russia, and Japan. At the same time, we note the intensive penetration of other countries, such as Australia, into the region. Overall, these processes are significantly intensifying competition for influence in this subregion. At the same time, individual examples of the leading global players' foreign policy implementation reflect the specific nature of the current stage of Southeast Asia's development in the context of the emergence of a new world order.

A similar example is the ASEAN summit, which took place in late October 2025 in Malaysia. This event is notable for its attendance by US President Donald Trump ahead of his talks with Chinese President Xi Jinping. The US attempted to reshape the Southeast Asian subregion and project its foreign policy success onto negotiations with China. Neither the first nor

the second US foreign policy objective was achieved. However, China and ASEAN signed an updated free trade agreement during the summit. The issue of Vietnam, which is significant for Russian foreign policy, is particularly noteworthy. This country, with which Russia has the closest relations in Southeast Asia, has demonstrated a clear rapprochement with Western countries in recent years, posing a challenge to Russian foreign policy. The 2025 summit failed to significantly strengthen US-Vietnam relations, demonstrating the overall uncertainty and unpredictability of political processes in Southeast Asia.

In this regard, it should be noted that the manifestation of independence in relation to competing major powers has occurred before in the policies of the Southeast Asian states; however, in the last few years, their traditional principle of refusing to choose between the United States and China has begun to be realized in conjunction with the more complex process of forming a new world order [7]. Thus, if previously the Southeast Asian countries simply pursued a policy of avoiding excessive rapprochement with one of these two powers, at present their integration into Southeast Asia has significantly increased, individual Southeast Asian countries (Vietnam, Indonesia, Malaysia) are demonstrating their own significant geopolitical ambitions, and competition (confrontation) between China itself and the United States is intensifying, one of the arenas of which is inevitably the Southeast Asian subregion.

The shifting balance of power influencing the Southeast Asian subregion. The growing economic potential of China and India is creating a new context for relations between countries in the subregion. The influence of these major powers encompasses regional politics, economics, security issues, and trade. A prime example is the implementation of China's "One Belt, One Road" initiative, which fosters and strengthens regional economic ties and develops regional infrastructure. This initiative, clearly underpins the political and economic structuring of the Southeast Asian subregion within the framework of the "Chinese project."

It should be emphasized that ASEAN is one of the key economic partners of the United States and ranks fourth in terms of trade volume. Bilateral trade between the United States and ASEAN reached $475 billion in 2024 and $271 billion in the first half of 2025. US foreign direct investment in ASEAN in 2023 amounted to $74.4 billion, making the United States the largest extra-regional investor in ASEAN [4]. These ties are strong and show a tendency to strengthen, which is due to the intensifying confrontation between the United States and China. However, the aggressive US tariff policy and its attempts to use secondary sanctions to force countries to abandon cooperation with Russia increase uncertainty and increase geopolitical and geoeconomic risks. For ASEAN, these consequences are obvious: American foreign policy causes serious economic and political problems.

China, in turn, remains ASEAN's largest trading partner, and the breadth and depth of integration with it continues to expand. In the first half of 2025, the total volume of exports and imports between ASEAN countries and China reached $429.8 billion, an 18.7% increase compared to 2024, with industrial goods accounting for approximately 90% of this total. From 2019 to 2024, ASEAN countries' imports from China grew by 63.1%, with three-quarters of these being manufactured and intermediate goods [4]. This deepening interdependence creates conditions for increased efficiency and effectiveness in the socio-economic development of Southeast Asian countries, but it also strengthens China's geopolitical and geo-economic influence on ASEAN.

Accordingly, it seems plausible to conclude that China and the United States are the leading external players in Southeast Asia, but other actors seeking to strengthen their positions are also making inroads. Furthermore, the position and policies of both the United States and China in Southeast Asia are undergoing significant changes.

The emergence of new threats and challenges. While traditional problems persist for this subregion, new threats are emerging, requiring intensified mechanisms for cooperation, response, and coordination between countries in the subregion and external players. These new threats are economic, political, and social in nature. A striking example of these emerging threats is the escalating confrontation between China and the Philippines over disputed territories, the threat of Japan's remilitarization, and the projection of its influence (these threats are generated by external

factors). Symptomatic in this regard is the border military conflict between Thailand and Cambodia, which reached its climax in the summer of 2025 and was resolved through the mediation of Malaysia. Significant distinguishing features of this conflict are: firstly, it has a long history and is of a prolonged nature (the last open escalation occurred in 2008); Secondly, its actualization in the spring-summer of 2025 is associated with the weakening of "international control" (the weakening of the restraining factor of international law, relative political uncertainty in the region, etc.); thirdly, it was successfully resolved by "local efforts" (mediation by Malaysia, a Southeast Asian country, along with Indonesia, one of the two leading members of ASEAN); the sharp intervention of the external player, the United States and, above all, personally D. Trump, who politically replayed the situation in such a way that he declared himself a peacemaker.

Next, we will examine in more detail the current situation in the South China Sea, which broadly encompasses territorial disputes between Brunei, Indonesia, Malaysia, the Philippines, China, and Vietnam. Key elements of the dispute concern the Spratly Islands (Chinese name: Nansha), the Paracel Islands (Chinese name: Xisha), and the Scarborough Reefs. In this study, we examine this aspect of the dispute, as China is involved.

So, the dispute is over small islands - the Spratly Islands (Nansha) The dispute over the Paracel Islands (Xisha) is not simply about territorial claims. The area around these two islands is of critical strategic and economic importance, as more than a third of global maritime trade passes through it. Control of this area could increase China's geopolitical and geoeconomic influence, as well as its ability to control key logistics routes. Furthermore, this area contains significant natural resources (oil and gas, for example), which China is keen to secure. Furthermore, China seeks to expand its influence in the Indo-Pacific region and position itself as a major maritime power, which is crucial in its standoff with the United States. Conversely, if China is forced out of this area—for example, if the Philippines (the United States' closest ally in Southeast Asia) were to establish full control over the disputed islands—this would threaten to severely restrict China's access to the South China Sea for its military vessels.

Thus, over the past two decades, the Southeast Asian subregion has been confronted with a conflict that is latent in nature but has a high potential for escalation, which does indeed occur periodically. As M.R. Irsyad notes, this tension arises from China's actions, which fall within the "gray zone" and are being implemented gradually and systematically. This strategy is used by China as a key tool for pursuing its territorial claims without the use of its official or regular forces in the South China Sea. The "gray zone" represents one of the most important factors influencing the formation of a new security space in the Indo-Pacific region [5].

Intensifying multilateral cooperation. Regional organizations, such as ASEAN (Association of Southeast Asian Nations), are being established and strengthened, improving and intensifying diplomatic and trade relations between countries in the subregion. ASEAN plays a key role in shaping the regional economic and security system.

Thus, current geopolitical transformations in the Southeast Asian subregion are occurring in conjunction with the emerging new world order, characterized by the strengthening role of regional centers of power, the emergence of new threats and challenges, and a shifting global balance of power between developed and developing countries. These processes reflect the construction of a new geopolitical reality, which requires the application of new, highly adaptive approaches and the development of effective solutions to maintain stability and ensure the development of this subregion.

Conclusions. In conclusion, we note that the formation of a new world order is significantly transforming the system of political relations both globally and regionally. Moreover, the variability of regional specifics is increasing significantly, which generally corresponds to the trend toward regionalization of political processes, which has largely become a response to the globalization trend that has dominated the last thirty years, manifested in the form of globalism. These two circumstances mean that the emerging new world order will be significantly more turbulent compared to the past thirty years, with a significantly increased risk of armed conflicts

between leading states, both directly and indirectly (proxy conflicts will be persistent). This will dictate heightened demands on the quality of state foreign policy, particularly its regional dimension. The Southeast Asian subregion will, in all likelihood, become one of the most complex in the future architecture of the new world order.

In this process, Southeast Asian countries are distinguished by a desire to pursue a more independent foreign policy and defend their sovereignty (albeit sporadically). This is due to the fact that they currently have significantly greater resources to pursue such a foreign policy. Furthermore, some countries here, particularly Vietnam, are attempting to strengthen their positions by intensifying the confrontation between China and the United States. Furthermore, the general narratives of a multipolar world resonate strongly in Southeast Asia.

Список источников

1. Ciputra B. The World Is Changing: Indonesia a Symbol of the Rise of the Asian Pivot // Modern diplomacy (08.09.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/09/08/the-world-is-changing-indonesia-a-symbol-of-the-rise-of-the-asian-pivot/ (дата обращения: 13.01.2026).
2. Hains H. Australia Faces New Tests in US Ties under Trump's Second Term // Modern diplomacy (29.08.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/08/29/australia-faces-new-tests-in-us-ties-under-trumps-second-term/ (дата обращения: 13.01.2026).
3. Hien P.Q. Vietnam's Rising Era: A Year in Review and Prospects // Modern diplomacy (26.10.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/10/26/vietnams-rising-era-a-year-in-review-and-prospects/ (дата обращения: 13.01.2026).
4. Ing L.Y. ASEAN Between China and the US: Navigating a 'No Single Power' Global Order // The diplomat (05.12.2025). URL: https://thediplomat.com/2025/12/asean-between-china-and-the-us-navigating-a-no-single-power-global-order/ (дата обращения: 13.12.2025).
5. Irsyad M.R. China's Grey-Zone Tactics Are Reshaping the South China Sea // Modern diplomacy (02.12.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/12/02/chinas-grey-zone-tactics-are-reshaping-the-south-china-sea/ (дата обращения: 13.01.2026).
6. Maini T.S. Malaysia's BRICS Dilemma: Weighing Economic Opportunity Against Geopolitical Risk // Modern diplomacy (13.11.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/11/13/malaysias-brics-dilemma-weighing-economic-opportunity-against-geopolitical-risk/ (дата обращения: 13.01.2026).
7. Parameswaran P. Trump 2.0 Southeast Asia Strategy Tests Agency Beyond the US-China Prism // The diplomat (12.12.2025). URL: https://thediplomat.com/2025/12/trump-ii-southeast-asia-strategy-tests-agency-beyond-the-us-china-prism/ (дата обращения: 15.12.2025).
8. Strangio S. Thai and Cambodian Troops Again Clash Along Disputed Border // The diplomat (08.12.2025). URL: https://thediplomat.com/2025/12/thai-and-cambodian-troops-again-clash-along-disputed-border/ (дата обращения: 15.12.2025).
9. Toan N.T. A New Asian Tiger? How US-China Rivalry Is Aiding Vietnam's National Rise // Modern diplomacy (17.12.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/12/17/a-new-asian-tiger-how-us-china-rivalry-is-aiding-vietnams-national-rise/ (дата обращения: 13.01.2026).
10. Панин В.Н. Межгосударственное сотрудничество в современной системе международных отношений // Политическая наука в меняющемся мире: новые практики и теоретический поиск. материалы Всероссийской конференции РАПН с международным участием. М., 2023. С. 432-433.
11. Соловьева Е.А. Сценарии развития мирового энергетического рынка и перспективы ТЭК России // Университетские чтения – 2019. Материалы научно-методических чтений ПГУ. Пятигорск, 2019. С. 79-85.
12. Чекменев Д.С. Современные особенности системы оценки результативности деятельности таможенных органов // Университетские чтения – 2018. Материалы научно-методических чтений ПГУ. Пятигорск, 2018. С. 167-171.

References

1. .Ciputra B. The World Is Changing: Indonesia a Symbol of the Rise of the Asian Pivot // Modern diplomacy (08.09.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/09/08/the-world-is-changing-indonesia-a-symbol-of-the-rise-of-the-asian-pivot/ (data obrashcheniya: 13.01.2026).
2. Hains H. Australia Faces New Tests in US Ties under Trump's Second Term // Modern diplomacy (29.08.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/08/29/australia-faces-new-tests-in-us-ties-under-trumps-second-term/ (data obrashcheniya: 13.01.2026).

3. Hien P.Q. Vietnam’s Rising Era: A Year in Review and Prospects // Modern diplomacy (26.10.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/10/26/vietnams-rising-era-a-year-in-review-and-prospects/ (data obrashcheniya: 13.01.2026).
4. Ing L.Y. ASEAN Between China and the US: Navigating a ‘No Single Power’ Global Order // The diplomat (05.12.2025). URL: https://thediplomat.com/2025/12/asean-between-china-and-the-us-navigating-a-no-single-power-global-order/ (data obrashcheniya: 13.12.2025).
5. Irsyad M.R. China’s Grey-Zone Tactics Are Reshaping the South China Sea // Modern diplomacy (02.12.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/12/02/chinas-grey-zone-tactics-are-reshaping-the-south-china-sea/ (data obrashcheniya: 13.01.2026).
6. Maini T.S. Malaysia’s BRICS Dilemma: weighing Economic Opportunity against Geopolitical Risk // Modern diplomacy (13.11.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/11/13/malaysias-brics-dilemma-weighing-economic-opportunity-against-geopolitical-risk/ (data obrashcheniya: 13.01.2026).
7. Parameswaran P. Trump 2.0 Southeast Asia Strategy Tests Agency Beyond the US-China Prism // The diplomat (12.12.2025). URL: https://thediplomat.com/2025/12/trump-ii-southeast-asia-strategy-tests-agency-beyond-the-us-china-prism/ (data obrashcheniya: 15.12.2025).
8. Strangio S. Thai and Cambodian Troops Again Clash Along Disputed Border // The diplomat (08.12.2025). URL: https://thediplomat.com/2025/12/thai-and-cambodian-troops-again-clash-along-disputed-border/ (data obrashcheniya: 15.12.2025).
9. Toan N.T. A New Asian Tiger? How US-China Rivalry Is Aiding Vietnam’s National Rise // Modern diplomacy (17.12.2025). URL: https://moderndiplomacy.eu/2025/12/17/a-new-asian-tiger-how-us-china-rivalry-is-aiding-vietnams-national-rise/ (data obrashcheniya: 13.01.2026).
10. Panin V.N. Mezhgosudarstvennoe sotrudnichestvo v sovremennoi sisteme mezhdunarodnykh otnoshenii // Politicheskaya nauka v menyayushchemsya mire: novye praktiki i teoreticheskii poisk. materialy Vserossiiskoi konferentsii RAPN s mezhdunarodnym uchastiem. M., 2023. S. 432-433.
11. Solov'eva E.A. Stsenarii razvitiya mirovogo ehnergeticheskogo rynka i perspektivy TEHK Rossii // Universitetskie chteniya – 2019. Materialy nauchno-metodicheskikh chtenii PGU. Pyatigorsk, 2019. S. 79-85.
12. Chekmenev D.S. Sovremennye osobennosti sistemy otsenki rezul'tativnosti deyatel'nosti tamozhennykh organov // Universitetskie chteniya – 2018. Materialy nauchno-metodicheskikh chtenii PGU. Pyatigorsk, 2018. S. 167-171.

Информация об авторах

Алексей Викторович Агапов – аспирант ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет», +79614817951, AVAgapov@rambler.ru.

Вклад автора: автор проввел исследования и привел разультаты исследований.

Information about the authors

Alexey Victorovich Agapov – graduate student, Pyatigorsk State University, +7961481795, AVAgapov@rambler.ru.

Author contributions: the author conducted research and presented the results of the research.

Современная наука и инновации. 2026. № 1. С. 182-187
ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Modern Science and Innovations. 2026;(1):182-187
POLITICAL SCIENCE

Научная статья
УДК 32, 327
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.18

Гуманитарная помощь как инструмент влияния в стратегической перспективе

Надежда Юрьевна Шумова[1,*]

Пятигорский государственный университет (д. 9, просп. Калинина, Пятигорск, 357532, Россия)
nshumova1988@gmail.com
*Автор, ответственный за переписку

Аннотация. В статье рассматривается использование гуманитарной помощи в стратегической перспективе, которое может предполагать взаимодействие как с политическими союзниками, так и с политическими противниками. В теории то или иное государство может воспользоваться стихийным бедствием, произошедшем на территории своего противника, чтобы улучшить свои стратегические позиции. Однако этого на практике не происходит, потому что подобные действия связаны с долгосрочными издержками и выходят за рамки социально приемлемого поведения в условиях стихийных бедствий. При этом государства, как правило, отказываются и бездействовать, когда их противников постигает трагедия. Наоборот, они демонстрируют готовность оказать помощь своим стратегическим противникам. Автор доказывает, что конкуренция между крупными международными игроками за благоприятное, позитивное восприятие в глобальном общественном мнении сохраняет свою остроту. Такой род конкуренции становится одной из ключевых особенностей формирующегося нового мирового порядка, основанного на принципе многообразия. Стремление создать позитивный имидж в глазах иностранной общественности объясняется тем, что он играет заметную роль в достижении государствами различных внешнеполитических целей и реализации международных инициатив. Одним из эффективных инструментов для формирования имиджа, как подчеркивается в статье, называется иностранная гуманитарная помощь. Государства могут предоставлять гуманитарную помощь на различных основаниях. Она может оказываться исходя из альтруистических соображений для улучшения социально-экономической ситуации в развивающихся странах или из экономических соображений для получения дополнительной прибыли. Вместе с тем она может рассматриваться как средство влияния на политическую элиту стран-реципиентов, которое служит продвижению внешнеполитических интересов доноров и интересам формирования благоприятного общественного мнения о стране-доноре в странах-реципиентах и на глобальной арене.

Ключевые слова: гуманитарная помощь, глобальная политика, стратегические интересы, инструменты влияния, политический гуманитаризм.

Для цитирования: Шумова Н.Ю. Гуманитарная помощь как инструмент влияния в стратегической перспективе // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. . С. 182–187. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.18

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

© Шумова Н.Ю., 2026
Research article

Humanitarian aid as an instrument of influence in a strategic perspective

Nadezhda Y. Shumova[1*,]

[1]Pyatigorsk State University (9, Kalinin Ave., Pyatigorsk, 357532, Russia)
nshumova1988@gmail.com

*Corresponding author **Nadezhda Y. Shumova,** nshumova1988@gmail.com

Abstract. This article examines the strategic use of humanitarian aid, which may involve interactions with both political allies and political adversaries. In theory, a state could exploit a natural disaster occurring on the territory of its adversary to enhance its strategic position. However, in practice, this does not occur because such actions are associated with long-term costs and go beyond the bounds of socially acceptable behavior in disaster situations. Furthermore, states typically refuse to act when their adversaries suffer a tragedy. On the contrary, they demonstrate a willingness to provide assistance to their strategic opponents. The author demonstrates that competition among major international players for favorable, positive perceptions in global public opinion remains intense. This type of competition is becoming a key feature of the emerging new world order based on the principle of diversity. The desire to create a positive image in the eyes of the foreign public is explained by the fact that it plays a significant role in the achievement of various foreign policy goals and the implementation of international initiatives. The article highlights foreign humanitarian aid as an effective tool for image-building. States may provide humanitarian aid for various reasons. It may be provided for altruistic reasons, to improve the socioeconomic situation in developing countries, or for economic reasons, to generate additional profit. At the same time, it can be seen as a means of influencing the political elite of recipient countries, which serves to advance the foreign policy interests of donors and to foster favorable public opinion of the donor country in recipient countries and on the global stage.

Keywords: humanitarian aid, global politics, strategic interests, instruments of influence, political humanitarianism.

For citation: Shumova N.Y. Humanitarian aid as an instrument of influence in a strategic perspective. *Modern Science and Innovations.* 2026 ;(2): 182-187. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.18

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Introduction. As crises in global politics intensify, the scope of humanitarian issues is expanding, not only generating the need for larger-scale humanitarian operations and missions but also creating additional risks and opportunities for political influence. In this context, it is necessary to understand these risks and opportunities, their nature, and their specific nature.

There are two main types of foreign aid: economic and humanitarian. While economic aid, as many researchers agree, almost always correlates with the interests of donor countries, the situation with humanitarian aid is less clear [6, p. 3]. The prevailing view today is that humanitarian aid, which in theory should be provided solely based on needs, is also vulnerable to the influence of the political and strategic interests of donor countries.

Materials and Methods. The research materials include official strategic planning documents, reports from international organizations specializing in humanitarian aid, press releases from humanitarian organizations, etc.

The normative theory of international relations (C. Baitz, W. Bain, N. Rengger [3; 2; 15], etc.) served as the methodological foundation. The results of the study were influenced by the concept of political humanitarianism (H. Slim, V. Taleb, Sh. Elnaqib [16; 17; 8], etc.) and the

concept of global politics (D. Bayliss, P. Owens, S. Smith, B. Whiteham, E. Heywood [13; 12], etc.). At the same time, the author turned to such methods as content analysis and case study analysis.

Literature Review. Many authors studying the practice of providing humanitarian aid conclude that it is motivated not so much by altruistic as by egoistic considerations. Aid may be motivated by the need for economic and social development in recipient countries, as well as the need to reward them for the effectiveness of their political institutions [7, pp. 2-4]. However, the economic and socio-political development of recipient countries can serve, and often does, only as a declared goal. For example, low levels of economic development in recipient countries imply increased migration flows to donor countries, so the latter are interested in increasing per capita income in the former not only for altruistic reasons, but also for purely practical ones.

Many studies show that donor countries provide more aid to their trading partners or to countries with which they have closer trade ties [7, p. 4]. This implies that the aid sender enters into an implicit agreement with the recipient, which requires that donors allocate financial resources that recipients must use to purchase their export products.

Other studies demonstrate that donor countries view aid as a tool for achieving their foreign policy objectives. Aid is used by donor countries to "buy" allies and geopolitically significant countries [5, p. 1932]. Typically, large amounts of aid are allocated to countries willing to support the donor country's position in the UN, or to countries that were once colonially dependent on the donor country.

In their study, P. Raschki and M. Schwindt concluded that donor countries, when deciding whether to provide aid after natural disasters, are guided not only by the scale of the tragedy and the needs of recipient countries, but also by their own strategic considerations. In addressing the objectives of their study, these scholars distinguish between aid delivery channels (bilateral and multilateral) and aid types (cash and in-kind). In their opinion, bilateral and cash transfers are typically used as a means to realize strategic interests, while multilateral and in-kind transfers are chosen when it is necessary to prevent the misuse of funds in recipient countries [14, p. ii].

Results and discussion. According to the realist paradigm, all foreign aid remains and will continue to be an instrument of political power. Consequently, donor countries will prioritize aid so that it serves their own strategic interests. Thus, in the event of natural disasters, donor countries, following the tenets of realism, will direct aid to their strategic allies rather than adversaries. However, if we draw on the tenets of other theories, such as the normative theory, natural disasters can be viewed as an opportunity for donor countries to improve their relations with their adversaries.

It is well known that in identical situations, an actor's behavior can differ, determined by context. Natural disasters can change the context of relations between actors, prompting donor countries to increase aid to their strategic adversaries. The loss of life and destruction of infrastructure caused by natural disasters temporarily bring the humanitarian aspects of relations to the forefront, relegating the economic, political, and military aspects that dominate in normal times to the background [4, p. 944].

There is some evidence that aid provided in the event of natural disasters can contribute to humanization and improve relations between adversaries. T. Andrabi and D. Das found that international humanitarian aid sent to Pakistan after the 2005 earthquake increased the level of trust of the affected population in Europeans and Americans [1, p. 371].

Initially, a donor country cannot know how the government and population of the recipient country will react to its humanitarian initiatives and offers of aid. A natural disaster is merely a window of opportunity, offering a chance to improve interstate relations. If this opportunity is realized, the donor country can expect the recipient country to refrain from certain actions that run counter to its interests, and the population will be more receptive to certain of its decisions and behavior.

In theory, a state could take advantage of a natural disaster occurring on its adversary's territory to improve its strategic position. However, this does not happen in practice, because such

actions are associated with long-term costs and go beyond the bounds of socially acceptable behavior in disaster situations. Moreover, states typically refuse to remain inactive when their adversaries suffer a tragedy. On the contrary, they demonstrate a willingness to provide assistance to their strategic opponents. For example, during the 1994-1998 famine in North Korea, the main suppliers of food aid were the United States, South Korea, Japan, and the EU. Taiwan was listed as one of China's largest donors after the 2008 Sichuan earthquake [4, pp. 942-943].

A. Fuchs and S. Sievers acknowledge that the degree of international political cooperation influences, to one degree or another, the speed of humanitarian aid during natural disasters [9, pp. 14-15]. On the one hand, donor countries are interested in providing assistance more quickly to their allies, which would demonstrate support and guarantee the survival of friendly governments in the event of threats to political stability caused by the scale of the disaster. On the other hand, they are also interested in giving priority to adversaries who distance themselves politically from them in this matter, with the aim of extracting certain concessions from them in the future, understanding that emergency aid is a more suitable means of obtaining political concessions than general development aid.

Competition among major international players for a favorable, positive perception in global public opinion remains intense. This type of competition is becoming one of the key features of the emerging new world order, based on the principle of diversity. The desire to create a positive image in the eyes of the foreign public is explained by the fact that it plays a significant role in the achievement of various foreign policy goals and the implementation of international initiatives by states.

Positive, favorable public opinion in a target country about a state attempting to exert influence simplifies its efforts. In other words, such opinion enhances the effectiveness of "soft power," the "currency" of which is culture, values, institutions, and past policies. B. Goldsmith and Y. Horiuchi, studying examples of the importance of public opinion, argue that public opinion about Washington's foreign policy in other countries influences the nature of their foreign policy toward the United States [10, p. 555]. In the minds of people around the world, foreign states, especially major powers, are associated with relatively stable images. Consequently, any new international political event will be interpreted in light of these already formed views. Therefore, major international players devote considerable time and resources to cultivating their positive images.

One effective tool for image-building is foreign humanitarian aid. States may provide humanitarian aid for various reasons. It may be provided for altruistic reasons, to improve the socioeconomic situation in developing countries, or for economic reasons, to generate additional profit. At the same time, it can be seen as a means of influencing the political elite of recipient countries, which serves to advance the foreign policy interests of donors and to foster favorable public opinion of the donor country in recipient countries and on the global stage.

By evoking gratitude from recipients or creating a general image of positive actions, aid can contribute to the development of a positive image of the donor country in recipient countries. However, many factors can hinder the desired results of aid. The immediate recipients may be unaware of the source of the aid; the donor country's motives may be perceived, fairly or unfairly, as selfish, positive feelings associated with aid may be incompatible with the negative associations previously formed by the donor country's foreign policy actions. Finally, aid may fail to produce the desired effects and therefore have no impact on the opinions of people who have not seen any improvement in their quality of life [11, pp. 89-91].

Conclusion. The strategic use of humanitarian aid can involve interactions with both political allies and political opponents. In the latter case, donor states hope to obtain certain concessions from recipient states in the future. States providing humanitarian aid strategically are motivated primarily by the need to foster a positive perception of themselves in global and local public opinion, as this facilitates the effective achievement of various foreign policy goals and

facilitates the implementation of various international initiatives. The political rationale for providing aid complements other rationales, such as altruism and economics.

Список источников

1. Andrabi T., Das J. In Aid We Trust: Hearts and Minds and the Pakistan Earthquake of 2005 // The Review of Economics and Statistics. 2017. Vol. 99. № 3. P. 371-386.
2. Bain W. Political Theology of International Order. Oxford: Oxford University Press, 2020. 270 p.
3. Beitz C.R. Political Theory and International Relations. Princeton: Princeton University Press, 1999. 258 p.
4. Cheng C., Minhas S. Keeping Friends Close, But Enemies Closer: Foreign Aid Responses to Natural Disasters // British Journal of Political Science. 2021. Vol. 51. № 3. P. 940-962.
5. Dreher A. et al. Bilateral or Multilateral? International Financial Flows and the Dirty-Work Hypothesis // The Journal of Politics. 2022. Vol. 84. № 4. P. 1932-1946.
6. Dreher A. When Aid Misses the Target: Competing Objectives, New Classifications, and Smarter Delivery // World Development. 2025. Vol. 196. P. 1-6.
7. Dreher A., Lang V., Reinsberg B. Aid Effectiveness and Donor Motives // World Development. 2024. Vol. 176. P. 1-20.
8. Elnakib S. et al. The Humanitarian System: Politics Cannot be Avoided // The Lancet. 2024. Vol. 404. № 10458. P. 1105-1106.
9. Fuchs A., Siewers S. The Speed of Aid: Strategic Urgency in International Emergency Relief: Kiel Working Paper № 2290. Göttingen: University of Göttingen, 2025. 56 p.
10. Goldsmith B.E., Horiuchi Y. In Search of Soft Power: Does Foreign Public Opinion Matter for U.S. Foreign Policy? // World Politics. 2012. Vol. 64. № 3. P. 555-585.
11. Goldsmith B.E., Horiuchi Y., Wood T. Doing Well by Doing Good: The Impact of Foreign Aid on Foreign Public Opinion // Quarterly Journal of Political Science. 2014. Vol. 9. № 1. P. 87-114.
12. Heywood A., Whitham B. Global Politics. London: Bloomsbury Academic, 2023. 720 p.
13. Owens P., Baylis J., Smith S. Introduction: From International Politics to World Politics // The Globalization of World Politics: An Introduction to International Relations / Ed. by J. Baylis, S. Smith, P. Owens. Oxford: Oxford University Press, 2023. P. 5-18.
14. Raschky P., Schwindt M. On the Channel and Type of International Disaster Aid: World Bank Policy Research Working Paper № 4953. Washington: World Bank, 2009. 31 p.
15. Rengger N. The Anti-Pelagian Imagination in Political Theory and International Relations: Dealing in Darkness. Abingdon: Routledge, 2017. 188 p.
16. Slim H. Humanitarianism 2.0: New Ethics for the Climate Emergency. London: C. Hurst & Co., 2024. 272 p.
17. Taleb W. Humanitarian Action Under Siege: A Comparative Study of the Algerian War of Independence and Contemporary Humanitarian Challenges in Gaza // Journal of Peacebuilding & Development. 2025. July 22. URL: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/15423166251358971 (дата обращения: 03.04.2026).

References

1. 1. Andrabi T., Das J. In Aid We Trust: Hearts and Minds and the Pakistan Earthquake of 2005. The Review of Economics and Statistics. 2017;99(3):371-386.
2. Bain W. Political Theology of International Order. Oxford: Oxford University Press, 2020. 270 p.
3. Beitz C.R. Political Theory and International Relations. Princeton: Princeton University Press, 1999. 258 p.
4. Cheng C., Minhas S. Keeping Friends Close, But Enemies Closer: Foreign Aid Responses to Natural Disasters. British Journal of Political Science. 2021;51(3):940-962.
5. Dreher A. et al. Bilateral or Multilateral? International Financial Flows and the Dirty-Work Hypothesis. The Journal of Politics. 2022;84(4):1932-1946.
6. Dreher A. When Aid Misses the Target: Competing Objectives, New Classifications, and Smarter Delivery. World Development. 2025;196:1-6.
7. Dreher A., Lang V., Reinsberg B. Aid Effectiveness and Donor Motives // World Development. 2024;176:1-20.
8. Elnakib S. et al. The Humanitarian System: Politics Cannot be Avoided // The Lancet. 2024;404(10458):1105-1106.

9. Fuchs A., Siewers S. The Speed of Aid: Strategic Urgency in International Emergency Relief: Kiel Working Paper № 2290. Göttingen: University of Göttingen, 2025. 56 p.
10. Goldsmith B.E., Horiuchi Y. In Search of Soft Power: Does Foreign Public Opinion Matter for U.S. Foreign Policy? // World Politics. 2012;64(3):555-585.
11. Goldsmith B.E., Horiuchi Y., Wood T. Doing Well by Doing Good: The Impact of Foreign Aid on Foreign Public Opinion // Quarterly Journal of Political Science. 2014;9(1):87-114.
12. Heywood A., Whitham B. Global Politics. London: Bloomsbury Academic, 2023. 720 p.
13. Owens P., Baylis J., Smith S. Introduction: From International Politics to World Politics // The Globalization of World Politics: An Introduction to International Relations / Ed. by J. Baylis, S. Smith, P. Owens. Oxford: Oxford University Press, 2023:5-18.
14. Raschky P., Schwindt M. On the Channel and Type of International Disaster Aid: World Bank Policy Research Working Paper № 4953. Washington: World Bank, 2009. 31 p.
15. Rengger N. The Anti-Pelagian Imagination in Political Theory and International Relations: Dealing in Darkness. Abingdon: Routledge, 2017. 188 p.
16. Slim H. Humanitarianism 2.0: New Ethics for the Climate Emergency. London: C. Hurst & Co., 2024. 272 p.
17. Taleb W. Humanitarian Action Under Siege: A Comparative Study of the Algerian War of Independence and Contemporary Humanitarian Challenges in Gaza. Journal of Peacebuilding & Development. 2025. July 22. Available from: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/15423166251358971 [Accessed 3 Apr 2026].

Информация об авторах

Надежда Юрьевна Шумова – соискатель, ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет» (г. Пятигорск), nshumova1988@gmail.com

Вклад автора: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Nadezhda Yur'evna Shumova – applicant, Pyatigorsk State University (Pyatigorsk), nshumova1988@gmail.com

Author contributions: the authors contributed equally to this article.

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 188-199
ПОЛИТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):188-199
POLITICAL SCIENCE

Научная статья
УДК 32, 316.614.5
https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.19

Инструменты языковой политики многонационального государства в конструировании национально-государственной идентичности

Наталья Валерьевна Сараева [1], Мария Николавена Разомазова [2*], Наталия Николаевна Пачина [3]

[1, 2,3] Липецкий государственный технический университет (д. 30, ул. Московская, Липецк, 398055, Россия)
[1] nsaraeva@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0003-8503-3476
[2] mariarazomazova@gmail.com; https://orcid.org/0009-0005-4771-1912
[3] pachina_2017@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2356-9713

*Автор, ответственный за переписку **Мария Николавена Разомазова,** mariarazomazova@gmail.com

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлено описание методологического подхода к анализу инструментов языковой политики как системообразующего фактора конструирования национально-государственной идентичности на примере Российской Федерации. Авторы обосновывают актуальность исследования принятием новых стратегических документов РФ (2025-2026 гг.), задающих векторы развития языковой сферы***Цель.*** Исследование направлено на выявление и систематизацию инструментов языковой политики, способствующих укреплению общероссийской гражданской идентичности, а также на выделение ключевых проблем и перспектив реализации этой политики в условиях сохранения этнокультурного многообразия. ***Материалы и методы.*** Исследование построено на анализе нормативно-правовых актов федерального и регионального уровней (Конституция РФ, указы Президента), международных кейсов (Казахстан, Индонезия, Индия, Чехия) и научных публикаций по социолингвистике. Комплекс методов включает документальный анализ, сравнительно-правовой метод и обобщение эмпирических данных.***Результаты и обсуждение.*** В ходе работы обнаружено, что языковая политика реализуется через четыре универсальных механизма: институциональный (закрепление статуса языка в нормативных актах), образовательный (изучение языков на уровне школьного, ВУЗовского образования), коммуникативный (регулирование публичной сферы и рекламы) и культурно-символический (через просветительские проекты). Российская модель охарактеризована как многокомпонентная, сочетающая доминирование русского языка с поддержкой языков народов РФ. При этом выявлены острые противоречия между федеральным центром и региональными элитами, а также системная проблема снижения языковой грамотности среди молодёжи.***Заключение.*** По итогам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что современная языковая политика РФ представляет собой комплексный стратегический ресурс консолидации общества. Наблюдаются институциональные успехи и рост охвата образовательными программами, а дальнейшее развитие политики требует внимания к качеству языкового образования и осторожности.

Ключевые слова: языковая политика, инструменты языковой политики, национально-государственная идентичность, российская модель языковой политики

Для цитирования: Сараева Н.В., Разомазова М. Н., Пачина Н.Н. Инструменты языковой политики многонационального государства в конструировании национально-государственной идентичности // Современная наука и инновации. 2026. № 1. С. 188–199. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.19

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Сараева Н.В., Разомазова М. Н., Пачина Н.Н, 2026

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

Language Policy Instruments of a Multinational State in the Construction of National-State Identity

Natalia N. Saraeva[1], Maria N. Razomazova[2*], Natalia N. Pachina[3]

[1, 2,3] Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya St., Lipetsk, 398055, Russia)
[1]nsaraeva@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0003-8503-3476
[2] mariarazomazova@gmail.com; https://orcid.org/0009-0005-4771-1912
[3] pachina_2017@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2356-9713

*Corresponding author **Maria N. Razomazova,** mariarazomazova@gmail.com

Abstract. ***Introduction.*** The article presents a description of a methodological approach to analyzing language policy instruments as a system-forming factor in the construction of national-state identity, using the Russian Federation as a case study. The author substantiates the relevance of the research by referencing the adoption of new strategic documents in the Russian Federation (2025–2026), which set the development vectors for the language sphere. ***Goal.*** he research is aimed at identifying and systematizing language policy instruments that contribute to strengthening all-Russian civic identity, as well as highlighting the key challenges and prospects for the implementation of this policy in the context of preserving ethnocultural diversity.***Materials and methods.*** The study is based on an analysis of federal and regional normative legal acts (the Constitution of the Russian Federation, Presidential Decrees), international cases (Kazakhstan, Indonesia, India, the Czech Republic), and scholarly publications in sociolinguistics. The methodological framework comprises documentary analysis, a comparative legal method, and the synthesis of empirical data.***Results and discussion.*** The study reveals that language policy is implemented through four universal mechanisms: institutional (establishing the legal status of languages in regulatory acts), educational (language learning at the school and higher education levels), communicative (regulating the public sphere and advertising), and cultural-symbolic (through educational and outreach projects). The Russian model is characterized as multi-component, combining the dominance of the Russian language with support for the languages of the peoples of the Russian Federation. At the same time, acute contradictions between the federal center and regional elites have been identified, along with a systemic problem of declining language literacy among young people. ***Conclusion.*** Based on the findings of the conducted research, it can be concluded that the contemporary language policy of the Russian Federation represents a comprehensive strategic resource for societal consolidation. Institutional successes and an expansion of educational program coverage are observed; however, further policy development requires attention to the quality of language education and a cautious approach.
Key words: language policy, anguage policy instruments, national-state identity, Russian model of language policy.

For citation: Saraeva N.N., Razomazova M.N., Pachina N.N. Language Policy Instruments of a Multinational State in the Construction of National-State Identity. *Modern Science and Innovations*. 2026;(2):188 -199. (In Russ.). https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.19

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Introduction. In the context of globalization, increasing migration processes, and growing intercultural interactions, language policy is becoming a key mechanism for governing multinational societies. Language is not simply a means of transmitting information, but the primary bearer of culture and national identity. In multinational states, language policy is designed to balance two conflicting objectives: ensuring national unity through a common language and protecting the rights of linguistic minorities. For the Russian Federation, home to representatives of more than 190 nationalities, the problem of developing a balanced language policy capable of simultaneously strengthening national unity and preserving ethnocultural diversity is particularly acute [21]. As researchers note, the Russian language has significant potential in shaping the civic identity of Russians and Russian ethnic self-awareness. A number of regulatory documents in recent years have identified the need to preserve and strengthen the position of the Russian language as a key task. At the same time, despite the obvious attention and extensive coverage of language issues in legislative documents, some contradictory aspects are noted [12].

The adoption of new strategic documents on language and national policy in the Russian Federation in 2025–2026 lends particular significance to this topic. Presidential Decree No. 474 of July 11, 2025, approved the Fundamentals of the State Language Policy of the Russian Federation (Decree No. 474, 2025), and Decree No. 858 of November 25, 2025, approved the Strategy for the State National Policy of the Russian Federation through 2036 (Decree No. 858, 2025). These documents set new guidelines for the formation of a pan-Russian civic identity while preserving linguistic diversity.

The aim of the study is to identify and systematize the tools of language policy of a multinational state that contribute to the construction and strengthening of national-state identity (using the example of the Russian Federation).

To achieve this goal, the following tasks are solved:

1. To reveal the theoretical and empirical foundations of the relationship between language policy and national-state identity.

2. To analyze international experience in the application of language policy instruments and, on this basis, to identify universal mechanisms of its influence on identity.

3. To characterize in detail the modern Russian model of language policy in the unity of its institutional, educational, communicative and cultural-symbolic components.

4. To identify key problems and contradictions in the implementation of language policy in the Russian Federation and outline possible ways to overcome them.

Research materials and methods. Solving the stated objectives required the use of a set of complementary methods, providing a systematic analysis of language policy instruments and their impact on national and state identity.

The primary empirical basis of the study was federal and regional regulatory legal acts. The analysis was supplemented by research on the specific topic of the relationship between language policy and national identity. The primary methods employed were documentary analysis (to identify the substantive goals and mechanisms enshrined in regulatory legal acts), comparative analysis (to examine regional cases and compare federal and regional levels of language policy implementation), and generalization and systematization of the scientific literature (to clarify conceptual frameworks and model the mechanisms by which language policy influences identity).

The reliability of the obtained results is ensured by relying on official sources, representative sociological data and cross-checking the conclusions against different types of sources.

Research results and discussion. In accordance with the Fundamentals of the State Language Policy of the Russian Federation, approved by Presidential Decree No. 474 of July 11, 2025, the state language policy is “a set of measures of a regulatory, organizational, managerial, financial, economic, scientific, personnel and other nature, implemented by federal government bodies, government bodies of the constituent entities of the Russian Federation, other government bodies and local government bodies with the participation of civil society institutions” [2]. Its goal is the formation of an all-Russian civic identity, achieved through the preservation, development

and support of the Russian language as the state language of the Russian Federation. The scientific community, represented by E. V. Kamenskaya, rightly notes that language policy is part of national policy and cannot be considered in isolation [7]. Thus, in modern Russia it is understood as a comprehensive strategic direction of public administration, inextricably linked with the tasks of national security and civic consolidation.

In academic literature, it is common to distinguish between domestic and foreign language policy. Domestic language policy is aimed at regulating linguistic relations within the country, ensuring the functioning of the state language, and supporting the languages of the peoples living within its territory. Foreign language policy is associated with promoting the language abroad and strengthening its position in the international humanitarian space [13]. Both directions are reflected in the aforementioned Decree No. 474, which lists among its goals both "ensuring the protection, support, and development of the Russian language as the state language of the Russian Federation, as the language of the nation-forming people, and as a native language," and "promoting the Russian language worldwide" [2].

National-state identity is a complex, multidimensional phenomenon. V.V. Titov summarizes that it represents "the interconnection of an individual with a national community (both ethnically homogeneous and heterogeneous), represented by the image of "We" as an imaginary community, supported by the institution of the state and the political and cultural tradition of statehood" [15]. That is, in the most general terms, it can be defined as an individual's awareness of their belonging to a particular state and people, sharing its values, history, and cultural traditions. Language, in this case, serves as the primary bearer of the culture and national identity of a people [12]. From the perspective of the subject of this work, it is necessary to note that there is a distinction between political and national identity, but in the context of examining the instruments of state language policy, this distinction will be neglected.

National and political identities are organically and inextricably linked to the level of proficiency in and respect for one's native language. I.A. Vetrenko and V.V. Dubitsky formulate the following definition: political identity is the awareness of belonging to a community of citizens, which is based on a common cultural foundation determined by the level of language proficiency and attitude toward it [4]. This thesis of this interconnection is supported by research that has become classic in modern sociology. Language, according to P. Berger and T. Luckmann, is a component that largely determines identity [26].

Empirical studies confirm the importance of language as an identity marker. Russian, as a marker of pan-Russian civic identity, is significant for almost half of Russians, second only to the common state. Moreover, for ethnic Russians, its role is significantly more significant than for people of other nationalities. This creates certain risks, as the strengthening of the Russian language's position in the legal framework could have a destabilizing effect on interethnic harmony [3].

L.V. Deriglazova and S.A. Akhromenko's study, based on a constructivist approach and discursive practices methodology, analyzed 166 essays by students at a regional university on the topic "What does it mean to be Russian?" for the period 2020-2024 using big data analysis methods. The key identity markers were culture (72.29% of the texts), language (69.88%), positive personal qualities (50.6%), history (38.55%), and the "Russian soul" (31.33%). That is, at the level of laypersons' assessments in the form of free answers, language is noted as the most important part of Russian identity [6].

Analysis shows that science has evolved from a static description of linguistic situations to dynamic modeling. While language policy was previously viewed primarily as an instrument of administrative regulation, today—due to the geopolitical and socio-cultural transformations of the early 21st century—it is understood as a system-forming element of the national brand and a factor of international influence. Language policy, focused on supporting multilingualism and the development of native languages, is a key factor in preserving linguistic diversity and strengthening national identity in the context of globalization. Preserving linguistic diversity is an

essential condition for sustainable development and the construction of a harmonious multicultural society where everyone can freely express their identity through language [5].

International experience demonstrates the diversity of tools through which language policy is linked to the formation of national and state identity. A study by the Financial University under the Government of the Russian Federation (2025) draws attention to post-Soviet practices. Enshrining Russian as the "language of interethnic communication" in Kazakhstan has enabled its widespread use in education, media, and office work. According to the 2021 census, more than half of the country's population speaks Russian, facilitating integration and the preservation of cultural ties. Similarly, the policy of official bilingualism in Belarus allows for the use of Russian and Belarusian in official documentation and everyday life, which also serves as a tool for identity balancing [25].

Language examinations are a powerful tool influencing the status of a language. In Indonesia, the National Test of Proficiency in Indonesian Language (UKBI) is promoted for use in education, employment, and immigration, reinforcing the role of the state language as the foundation of shared identity [29]. In the Czech Republic, the language examination for citizens from non-EU countries is being analyzed as a tool for managing integration processes, the effectiveness of which is being assessed more than ten years after its implementation [28].

Digital platforms and artificial intelligence technologies are opening up new possibilities. India's example with the BHASHINI platform demonstrates how digital tools can dramatically improve the language situation. BHASHINI, which contains over 350 AI models and has processed over 4 billion language interactions, systematically removes language barriers in governance and service delivery, enabling the inclusion of millions of citizens speaking different languages in the digital economy [27].

The examples provided illustrate that states use legal, assessment (certification), and digital tools both to integrate multiethnic populations and to strengthen the position of the state language as a symbol of shared identity. Moreover, the desire to communicate in a common language is a prerequisite for the comfortable coexistence of both indigenous peoples and migrants in the same territory.

Summarizing theoretical approaches and international practice, we can identify several universal mechanisms through which language policy influences the formation and maintenance of national-state identity.

The institutional mechanism is the enshrinement of language's status in the constitution and laws, which defines its symbolic role in shaping identity. The Constitution of the Russian Federation (Article 68) establishes Russian as the state language of the Russian Federation throughout its territory and as the language of the constituent people. Republics have the right to establish their own state languages, which are used alongside the state language of the Russian Federation [1].

The educational mechanism is the teaching of the state and native languages in the education system, which fosters linguistic competence and national identity. By 2025, 64 constituent entities of the Russian Federation will implement programs in 75 native languages at all levels of education. The number of Russians studying their native languages increased by 11% compared to 2024, reaching 3.4 million [24]. Of all students, 2.7 million study languages as part of their subjects in educational institutions; more than 38,000 native language teachers work in the system. More than 3 million children are studying their native languages in Russian educational institutions, of which more than 2.5 million are studying them as part of a subject cycle.

The communicative mechanism is the use of language in the public sphere, media, and the digital environment, creating a unified information space. The principles of state language policy provide for the creation of conditions for the dissemination of messages and materials in the languages of the peoples of the Russian Federation through the media.

The cultural and symbolic mechanism includes supporting literary tradition, promoting linguistic heritage, and holding cultural events. As a measure to support reading and linguistic culture, it is proposed to launch the "Children's Book Card" program starting in 2026 [22]. Cultural

and educational initiatives include supporting literary tradition, promoting linguistic heritage, holding festivals and competitions, and implementing grant programs. Particular attention is paid to promoting the Russian literary language among young people. The State National Policy Strategy to 2036 sets the goal of promoting the use of the Russian literary language by young people in professional and personal communication and discouraging the excessive use of foreign vocabulary.

In domestic and foreign sociolinguistics, various approaches to the typology of language policy have developed. Based on the criterion of the number of languages with official status, a distinction is made between a single-component model (with one state language), a two-component model (with two state languages), and a multi-component model (with several state languages) [10]. The modern Russian model of language policy can be characterized as multi-component, combining elements of the single-component model (the consolidation of Russian as the state language and the language of the state-forming people) and the multi-component model (recognition of the right of republics to establish their own state languages in accordance with the Constitution of the Russian Federation). This model reflects a complex balance between the need for pan-national integration through a single state language and the desire to preserve linguistic diversity as a national treasure. V. Yu. Mikhalchenko provides a detailed analysis of the variations in national language policy in the modern Russian Federation, emphasizing the need for compromise solutions [9].

In accordance with Decree No. 474 of the President of the Russian Federation dated July 11, 2025, the instruments and mechanisms for implementing the state language policy are set out in Section VII of the document. Let's examine them in more detail.

Tools are specific means and methods for achieving goals:

1) improvement of legislation;

2) adoption and implementation of state programs and other strategic planning documents;

3) analysis of international treaties of the Russian Federation for compliance with the goals of language policy with the possibility of making changes to them.

To sum up, we can characterize language policy in Russia today based on the universal types of mechanisms identified above.

Firstly, from an institutional perspective, the status of the Russian language is enshrined in the Constitution of the Russian Federation as the language of the constituent people [1]. It is the state language of the Russian Federation and serves as the language of interethnic communication. At the regional level, constituent entities of the Russian Federation may establish their own official languages.

Secondly, in terms of educational and cultural-enlightenment mechanisms, projects are being actively implemented that include the creation of the "Russian World" foundation, the activities of Rossotrudnichestvo, the reference and information portal "Gramota.ru", the annual "Total Dictation" campaign, and the publication of specialized magazines and radio broadcasts. These tools work both for the domestic audience, to preserve the purity of the language and improve literacy, and for the external audience, to popularize the Russian language abroad [16]. The President of the Russian Federation proposed making the Russian language the core of higher education, emphasizing that, despite the country's unique ethnocultural and religious diversity, it is the Russian language that largely determines spiritual and national identity. From September 1, 2027, schoolchildren will begin studying Russian using unified state textbooks: in the first stage, the new editions will be available for grades 5-7 and 10-11, and the remaining grades will switch to them from 2028 [19]. A special block is made up of mechanisms for promoting the Russian language abroad – holding annual events dedicated to the Day of Slavic Literature and Culture and the Day of the Russian Language.

Thirdly, the communication mechanism requires special attention in light of recent events. With regard to communication in the public sphere, everything is logical and obvious. Russian is the official language. However, we will separately address the topic of advertising as a form of

public communication. In 2023, the Law "On the Official Language of the Russian Federation" (Article 3) established a rule: advertising and information for consumers must be in Russian; when using a foreign word, a translation is required. On March 1, 2026, amendments to the Law of the Russian Federation of February 7, 1992, No. 2300-1 "On the Protection of Consumer Rights" (as amended by Federal Law of January 9, 1996, No. 2-FZ) [21] came into full force. Now, by law, all public dialogue with consumers in Russia must be conducted in Russian, which undoubtedly strengthens the position of the Russian language in the media sphere and public consciousness.

An analysis of the current language policy of the Russian Federation allows us to identify some problems and contradictions.

There is a significant and long-standing conflict between the federal center and the regions. Conflicting interests between the federal center, regional elites, and ethnic groups give rise to language policy dilemmas that require a compromise solution [11]. Case studies of regional practices show that federal center measures, in particular the transition to voluntary study of regional languages in schools, are encountering some resistance from regional ethnonational elites, who oppose the erosion of regional identities, which occurs, in part, through language policy mechanisms.

Tatarstan has updated its program through 2036, aimed at preserving the unity of the republic's multinational population and strengthening national civic consciousness. Priorities include supporting Russian as the national language and developing Tatar as the republic's official and native language [17].

The unjustified use of foreign words with commonly used Russian equivalents in official communication is considered a risk. Attempts to restrict the use of the Russian language abroad can also be considered a major threat.

There are discussions regarding the exclusion of the term “native language” from regulatory documents, which, according to a number of experts, contradicts Article 68 of the Constitution of the Russian Federation [12].

Insufficient linguistic competence in the state language (Russian) is observed among schoolchildren and students. Teachers have identified frequent errors in the use of terms, as well as typical orthoepic and grammatical errors in oral and written professional speech [14]. Russian universities are increasingly recording an alarming trend: student literacy levels are steadily declining, and this problem has become systemic.

Conclusion. The analysis confirms that the language policy of a multinational state is not a narrowly linguistic matter, but a comprehensive strategic activity aimed at regulating linguistic relations, ensuring citizens' linguistic rights, and, ultimately, shaping a pan-Russian civic identity. The relationship between language policy and national-state identity is realized through four universal mechanisms: institutional, educational, communicative, and cultural-symbolic.

Institutionally, the status of the Russian language is enshrined in the Constitution of the Russian Federation as the language of the constituent people and simultaneously the state language of the Russian Federation. The educational mechanism demonstrates significant reach: in 2025, more than 3.4 million people are studying 75 native languages, and the transition to unified state textbooks on the Russian language is planned for 2027. In addition to traditional media and the digital environment, the communication mechanism has been strengthened in recent years by legislative norms mandating public dialogue with consumers and advertising communications in Russian, which objectively strengthens its position in the media space and in the public consciousness. The cultural and symbolic mechanism is implemented through large-scale educational projects (the Russkiy Mir Foundation, Total Dictation, the Gramota.ru portal), the Children's Book Card program, and a system of events promoting the Russian language abroad.

The current Russian language policy model faces a number of contradictions. The tension between the federal center and the regions remains particularly acute. Risks associated with the unjustified use of foreign vocabulary in official communication, as well as attempts to restrict the Russian language abroad, persist. Furthermore, despite large-scale institutional efforts, a

disturbing trend has been observed: a decline in the level of actual language proficiency among schoolchildren and students, manifested in frequent spelling, grammar, and terminological errors.

Thus, the Russian Federation's language policy, structured as a balance between the integrative role of the Russian language and support for linguistic diversity, remains a tool for strengthening national and state identity. Language is an important part of civic self-awareness, both at the level of the average citizen and at the level of government. It is encouraging that creative and institutionally entrenched methods are being adopted in Russia to preserve and strengthen the position of the Russian language. Further improvement of language policy must take into account both internal and external challenges, so that language continues to serve as a reliable foundation for nationwide civic consolidation .

Список источников

1. Конституция Российской Федерации. Ст. 68, п. 1. URL: https://base.garant.ru/10103000/6cf34816dc52ae8870d524b8ed6399a5/ (дата обращения: 12.06.2026).

2. Указ Президента Российской Федерации от 11.07.2025 № 474 «Об утверждении Основ государственной языковой политики Российской Федерации». URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/52143 (дата обращения: 12.06.2026).

3. Арутюнова Е. М. Языковые проблемы в представлениях россиян: актуализация и новые контексты // Мониторинг. 2020. № 4 (158). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovye-problemy-v-predstavleniyah-rossiyan-aktualizatsiya-i-novye-konteksty (дата обращения: 12.06.2026).

4. Ветренко И. А., Дубицкий В. В. Государственная языковая политика в контексте формирования политической идентичности граждан // Вестник Омского университета. Серия «Исторические науки». 2017. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennaya-yazykovaya-politika-v-kontekste-formirovaniya-politicheskoy-identichnosti-grazhdan (дата обращения: 12.06.2026).

5. Даитова П. И. Языковой аспект в определении идентичности // Human Progress. 2025. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovoy-aspekt-v-opredelenii-identichnosti (дата обращения: 12.06.2026).

6. Дериглазова Л. В., Ахроменко С. А. «Что значит быть русским?»: опыт интерпретации студенческих эссе (2020–2024) // Полит. наука. 2025. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chto-znachit-byt-russkim-opyt-interpretatsii-studencheskih-esse-2020-2024 (дата обращения: 12.06.2026).

7. Каменская Е. В. Языковая политика в Российской Федерации: правовое регулирование, состояние, проблемы // Правовая политика и правовая жизнь. 2025. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovaya-politika-v-rossiyskoy-federatsii-pravovoe-regulirovanie-sostoyanie-problemy (дата обращения: 12.06.2026).

8. Местникова А. Е. Право на идентичность: социально-правовые аспекты языковой политики Российской Федерации // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 3-3. С. 412–414. URL: https://expeducation.ru/ru/article/view?id=7183 (дата обращения: 12.06.2026).

9. Михальченко В. Ю. Варьирование национально-языковой политики в современной Российской Федерации // Языковая политика и языковые конфликты в современном мире. М., 2014. С. 24–29.

10. Орешкина М. В. Языковое законодательство // Социолингвистика. 2021. № 4 (8). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovoe-zakonodatelstvo (дата обращения: 12.06.2026).

11. Сидоров В. В., Зиннатуллина З. Р., Ашрапова А. Х. Дилеммы языковой политики в современной России (на материале языковой ситуации в Республике Татарстан) // Политическая лингвистика. 2019. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dilemmy-yazykovoy-politiki-v-sovremennoy-rossii-na-materiale-yazykovoy-situatsii-v-respublike-tatarstan (дата обращения: 12.06.2026).

12. Соколова Т. И. Правовые и социокультурные аспекты языковой политики Российской Федерации // Society and Security Insights. 2023. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-i-sotsiokulturnye-aspekty-yazykovoy-politiki-rossiyskoy-federatsii (дата обращения: 12.06.2026).
13. Сулейманов А. А. Языковая политика в Российской Федерации // Молодой ученый. 2019. № 23 (261). С. 551–553. URL: https://moluch.ru/archive/261/60149 (дата обращения: 12.06.2026).
14. Сушинская И. М. Формирование языковой культуры личности у студентов технических вузов. URL: https://scipress.ru/philology/articles/formirovanie-yazykovoj-kultury-lichnosti-u-studentov-tekhnicheskikh-vuzov.html (дата обращения: 12.06.2026).
15. Титов В. В. Национально-государственная идентичность: проблема интерпретации понятия в политической науке // Локус: люди, общество, культуры, смыслы. 2016. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/natsionalno-gosudarstvennaya-identichnost-problema-interpretatsii-ponyatiya-v-politicheskoy-nauke (дата обращения: 12.06.2026).
16. Юдаева О. В. Инструменты реализации языковой политики в Российской Федерации // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 2: Гуманитарные науки. 2021. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-realizatsii-yazykovoy-politiki-v-rossiyskoy-federatsii (дата обращения: 12.06.2026).
17. В Татарстане обновили программу по сохранению и изучению госязыков. URL: https://www.tatar-inform.ru/news/v-tatarstane-obnovili-programmu-po-soxraneniyu-i-izuceniyu-gosyazykov-6029457 (дата обращения: 12.06.2026).
18. День славянской письменности и культуры отметили в России. URL: https://www.1tv.ru/news/2026-05-24/542965 (дата обращения: 12.06.2026).
19. Единые учебники русского языка появятся в школах с 2027 года. URL: https://www.kommersant.ru/doc/8227384 (дата обращения: 12.06.2026).
20. Национальный состав России. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Национальный_состав_России (дата обращения: 12.06.2026).
21. Какие правила действуют до 01 марта 2026 года. URL: https://www.klerk.ru/blogs/fedresurs/682077/ (дата обращения: 12.06.2026).
22. Путин поручил запустить программу «Детская книжная карта» с 2026 года. URL: https://www.1tv.ru/news/2025-06-05/511704-putin_poruchil_zapustit_programmu_detskaya_knizhnaya_karta_s_2026_goda (дата обращения: 12.06.2026).
23. Утверждены Основы государственной языковой политики Российской Федерации. URL: http://russian.gov.ru/news/23/ (дата обращения: 12.06.2026).
24. Число изучающих родные языки в России выросло на 11%. URL: https://www.kommersant.ru/doc/8272731 (дата обращения: 12.06.2026).
25. Языковая политика в многонациональных государствах: между интеграцией и сохранением идентичности. URL: https://www.fa.ru/university/structure/university/uso/press-service/press-releases/yazykovaya-politika-v-mnogonatsionalnykh-gosudarstvakh-mezhdu-integratsiey-i-sokhraneniem-identichno (дата обращения: 12.06.2026).
26. Berger P. L., Luckmann T. The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge. [S. l.], 1966. 323 p.
27. Multilingualism as strategy – AI-enabled STP for inclusive market development in emerging economies // Marketing Strategy Journal. 2025. Vol. 4. 100011. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2950308625000110 (дата обращения: 12.06.2026).
28. Sherman T, Homoláč J, Macurová J, Cvetkovič J. Language exams as a policy instrument: Managing the language acquisition of non-EU nationals in the Czech Republic. European Journal of Language Policy. 2024;16(1):59-78. DOI: https://doi.org/10.3828/ejlp.2024.4 [Accessed 12 June 2026].
29. Wijaya R. A., Frost K. Evaluating the logic of a policy-driven national language test in Indonesia: A critical discursive investigation of the Test of Indonesian Proficiency (UKBI) // Language Testing. 2025. Vol. 43. P. 119–140. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluating-the-logic-of-a-policy-driven-national-in-Wijaya-Frost/bad0a14b7b811b234dca013b8149e0dc207a8849 (дата обращения: 12.06.2026).

References

1. Konstitutsiya Rossiiskoi Federatsii. St. 68, p. 1. URL: https://base.garant.ru/10103000/6cf34816dc52ae8870d524b8ed6399a5/ (data obrashcheniya: 12.06.2026).
2. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 11.07.2025 № 474 «Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoi yazykovoi politiki Rossiiskoi Federatsii». URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/52143 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
3. Arutyunova E. M. Yazykovye problemy v predstavleniyakh rossiyan: aktualizatsiya i novye konteksty // Monitoring. 2020. № 4 (158). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovye-problemy-v-predstavleniyah-rossiyan-aktualizatsiya-i-novye-konteksty (data obrashcheniya: 12.06.2026).
4. Vetrenko I. A., Dubitskii V. V. Gosudarstvennaya yazykovaya politika v kontekste formirovaniya politicheskoi identichnosti grazhdan // Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Istoricheskie nauki». 2017. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennaya-yazykovaya-politika-v-kontekste-formirovaniya-politicheskoy-identichnosti-grazhdan (data obrashcheniya: 12.06.2026).
5. Daitova P. I. Yazykovoi aspekt v opredelenii identichnosti // Human Progress. 2025. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovoy-aspekt-v-opredelenii-identichnosti (data obrashcheniya: 12.06.2026).
6. Deriglazova L. V., Akhromenko S. A. «Chto znachit byt' russkim?»: opyt interpretatsii studencheskikh ehsse (2020–2024) // Polit. nauka. 2025. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chto-znachit-byt-russkim-opyt-interpretatsii-studencheskih-esse-2020-2024 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
7. Kamenskaya E. V. Yazykovaya politika v Rossiiskoi Federatsii: pravovoe regulirovanie, sostoyanie, problemy // Pravovaya politika i pravovaya zhizn'. 2025. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovaya-politika-v-rossiyskoy-federatsii-pravovoe-regulirovanie-sostoyanie-problemy (data obrashcheniya: 12.06.2026).
8. Mestnikova A. E. Pravo na identichnost': sotsial'no-pravovye aspekty yazykovoi politiki Rossiiskoi Federatsii // Mezhdunarodnyi zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya. 2015. № 3-3. S. 412–414. URL: https://expeducation.ru/ru/article/view?id=7183 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
9. Mikhal'chenko V. Yu. Var'irovanie natsional'no-yazykovoi politiki v sovremennoi Rossiiskoi Federatsii // Yazykovaya politika i yazykovye konflikty v sovremennom mire. M., 2014. S. 24–29.
10. Oreshkina M. V. Yazykovoe zakonodatel'stvo // Sotsiolingvistika. 2021. № 4 (8). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovoe-zakonodatelstvo (data obrashcheniya: 12.06.2026).
11. Sidorov V. V., Zinnatullina Z. R., Ashrapova A. Kh. Dilemmy yazykovoi politiki v sovremennoi Rossii (na materiale yazykovoi situatsii v Respublike Tatarstan) // Politicheskaya lingvistika. 2019. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dilemmy-yazykovoy-politiki-v-sovremennoy-rossii-na-materiale-yazykovoy-situatsii-v-respublike-tatarstan (data obrashcheniya: 12.06.2026).
12. Sokolova T. I. Pravovye i sotsiokul'turnye aspekty yazykovoi politiki Rossiiskoi Federatsii // Society and Security Insights. 2023. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-i-sotsiokulturnye-aspekty-yazykovoy-politiki-rossiyskoy-federatsii (data obrashcheniya: 12.06.2026).
13. Suleimanov A. A. Yazykovaya politika v Rossiiskoi Federatsii // Molodoi uchenyi. 2019. № 23 (261). S. 551–553. URL: https://moluch.ru/archive/261/60149 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
14. Sushinskaya I. M. Formirovanie yazykovoi kul'tury lichnosti u studentov tekhnicheskikh vuzov. URL: https://scipress.ru/philology/articles/formirovanie-yazykovoj-kultury-lichnosti-u-studentov-tekhnicheskikh-vuzov.html (data obrashcheniya: 12.06.2026).
15. Titov V. V. Natsional'no-gosudarstvennaya identichnost': problema interpretatsii ponyatiya v politicheskoi nauke // Lokus: lyudi, obshchestvo, kul'tury, smysly. 2016. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/natsionalno-gosudarstvennaya-identichnost-problema-interpretatsii-ponyatiya-v-politicheskoy-nauke (data obrashcheniya: 12.06.2026).
16. Yudaeva O. V. Instrumenty realizatsii yazykovoi politiki v Rossiiskoi Federatsii // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2: Gumanitarnye nauki. 2021. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-realizatsii-yazykovoy-politiki-v-rossiyskoy-federatsii (data obrashcheniya: 12.06.2026).
17. V Tatarstane obnovili programmu po sokhraneniyu i izucheniyu gosyazykov. URL: https://www.tatar-inform.ru/news/v-tatarstane-obnovili-programmu-po-soxraneniyu-i-izuceniyu-gosyazykov-6029457 (data obrashcheniya: 12.06.2026).

18. Den' slavyanskoi pis'mennosti i kul'tury otmetili v Rossii. URL: https://www.1tv.ru/news/2026-05-24/542965 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
19. Edinye uchebniki russkogo yazyka poyavyatsya v shkolakh s 2027 goda. URL: https://www.kommersant.ru/doc/8227384 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
20. Natsional'nyi sostav Rossii. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Natsional'nyi_sostav_Rossii (data obrashcheniya: 12.06.2026).
21. Kakie pravila deistvuyut do 01 marta 2026 goda. URL: https://www.klerk.ru/blogs/fedresurs/682077/ (data obrashcheniya: 12.06.2026).
22. Putin poruchil zapustit' programmu «Detskaya knizhnaya karta» s 2026 goda. URL: https://www.1tv.ru/news/2025-06-05/511704-putin_poruchil_zapustit_programmu_detskaya_knizhnaya_karta_s_2026_goda (data obrashcheniya: 12.06.2026).
23. Utverzhdeny Osnovy gosudarstvennoi yazykovoi politiki Rossiiskoi Federatsii. URL: http://russian.gov.ru/news/23/ (data obrashcheniya: 12.06.2026).
24. Chislo izuchayushchikh rodnye yazyki v Rossii vyroslo na 11%. URL: https://www.kommersant.ru/doc/8272731 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
25. Yazykovaya politika v mnogonatsional'nykh gosudarstvakh: mezhdu integratsiei i sokhraneniem identichnosti. URL: https://www.fa.ru/university/structure/university/uso/press-service/press-releases/yazykovaya-politika-v-mnogonatsionalnykh-gosudarstvakh-mezhdu-integratsiey-i-sokhraneniem-identichno (data obrashcheniya: 12.06.2026).
26. Berger P. L., Luckmann T. The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge. [S. l.], 1966. 323 p.
27. Multilingualism as strategy – AI-enabled STP for inclusive market development in emerging economies // Marketing Strategy Journal. 2025. Vol. 4. 100011. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2950308625000110 (data obrashcheniya: 12.06.2026).
28. Sherman T, Homoláč J, Macurová J, Cvetkovič J. Language exams as a policy instrument: Managing the language acquisition of non-EU nationals in the Czech Republic. European Journal of Language Policy. 2024;16(1):59-78. DOI: https://doi.org/10.3828/ejlp.2024.4 [Accessed 12 June 2026].
29. Wijaya R. A., Frost K. Evaluating the logic of a policy-driven national language test in Indonesia: A critical discursive investigation of the Test of Indonesian Proficiency (UKBI) // Language Testing. 2025. Vol. 43. P. 119–140. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluating-the-logic-of-a-policy-driven-national-in-Wijaya-Frost/bad0a14b7b811b234dca013b8149e0dc207a8849 (data obrashcheniya: 12.06.2026).

Информация об авторах

Наталья Валерьевна Сараева – старший преподаватель иностранных языков ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет ВО «Липецкий государственный технический университет», e-mail: 30, ул. Московская, Липецк, 398055, Россия) [1]nsaraeva@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0003-8503-3476

Мария Николаевна Разомазова, студентка 4 курса, направление подготовки социология ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» mariarazomazova@gmail.com; https://orcid.org/0009-0005-4771-1912

Наталия Николаевна Пачина – доктор психологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», e-mail: pachina_2017@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2356-9713

Вклад авторов:

Наталия Николаевна Пачина – концептуализация и общее руководство, разработка методологии, общее научное руководство исследованием, редактирование текста, критический пересмотр рукописи, формирование её окончательного варианта.

Наталья Валерьевна Сараева – проведение исследования, сбор и анализ эмпирических данных, работа с источниками, подготовка таблиц и графиков, написание черновика, составление первоначального текста разделов.

Мария Николаевна Разомазова проведение исследования, сбор и анализ эмпирических данных, работа с источниками

Information about the authors

Natalia Valeryevna Saraeva is a Senior Lecturer in Foreign Languages at Lipetsk State Technical University, Lipetsk State Technical University, e-mail: 30 Moskovskaya St., Lipetsk, 398055, Russia) 1nsaraeva@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0003-8503-3476

Maria Nikolaevna Razomazova, 4th year student, Sociology Department, Lipetsk State Technical University mariarazomazova@gmail.com; https://orcid.org/0009-0005-4771-1912

Natalia Nikolaevna Pachina – Doctor of Psychology, Professor, Lipetsk State Technical University, e-mail: pachina_2017@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2356-9713

Author contributions:

Natalia N. Pachina – conceptualization and general management, development of methodology, general scientific management of the study, text editing, critical review of the manuscript, formation of its final version.

Natalia Valerievna Saraeva – conducting research, collecting and analyzing empirical data, working with sources, preparing tables and graphs, writing a draft, and composing the initial text of the sections.

Maria Nikolaevna Razomazova – conducting research, collecting and analyzing empirical data, working with sources

ДИСКУССИОННЫЕ СТАТЬИ | DISCUSSION PAPERS

Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 200-212
ДИССКУСИОННЫЕ СТАТЬИ

Modern Science and Innovations. 2026;(2):200-212
DISCUSSION ARTICLES

Научная статья
УДК 004.934: 616.28-008.14

https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.20

Диагностика речевых нарушений в психолого-логопедической практике: кросс-языковая валидация модели SLOWFAST

Саглар Алексеевна Манкаева [1,*], Герел Батровна Болаева [1,2], Ангелина Викторовна Муева [1,3], Хечеев Бембя Валерьевич [1,4]

[1,] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул.Пушкина, д. 11
[1] mankaeva.saglar@yandex.ru
[2] gbbolaeva@gmail.com
[3] hecheev84@mail.ru
*Автор, ответственный за переписку **Саглар Алексеевна Манкаева,** mankaeva.saglar@yandex.ru

Аннотация В предыдущем исследовании авторов двухпоточная архитектура SlowFast продемонстрировала высокую эффективность при диагностике дислалии на русскоязычных данных (точность 98,0% на реальных клинических записях). Однако вопрос о кросс-языковой устойчивости модели оставался открытым. Настоящая работа посвящена оценке способности модели SlowFast, обученной на русском языке, корректно классифицировать речевые нарушения у детей, говорящих на польском языке. В качестве целевого корпуса использован открытый датасет PAVSig (N=201 ребёнок, 66 781 аудиосегмент с двойной экспертной диагностикой сигматизма). В режиме zero-shot evaluation (без какого-либо дообучения на польских данных) модель достигла accuracy 87,3%, precision 86,8%, recall 88,1%, F1-score 87,4% и AUC-ROC 0,92. Минимальная адаптация (fine-tuning на 10% данных) повысила accuracy до 91,8%, а на 25% данных — до 94,2%. Анализ ошибок показал, что основные трудности связаны с акустическими различиями польских шипящих звуков (sz, cz, ż), составляющими 58% всех ошибок в zero-shot режиме, а также с фоновым шумом (27%) и короткой длительностью сегментов (15%). После fine-tuning на 25% данных доля ошибок, обусловленных межъязыковыми акустическими различиями, снизилась до 22%. Полученные результаты подтверждают высокую кросс-языковую переносимость архитектуры SlowFast и открывают перспективы создания мультиязычных систем автоматизированной диагностики речевых нарушений без необходимости сбора больших размеченных корпусов для каждого нового языка.
Ключевые слова: кросс-языковая валидация, SlowFast, сигматизм, PAVSig, дислалия, перенос обучения, zero-shot evaluation, fine-tuning, мел-спектрограммы, автоматическая диагностика.

Для цитирования: Манакаева С.А., Рожкова Т. П.Болаева Г.Б., Муева А.В., Хечеев Б.В. Диагностика речевых нарушений в психолого-логопедической практике: кросс-языковая валидация модели SLOWFAST // Современная наука и инновации. 2026. № 2. С. 200–212. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.20

Благодарности. Авторы выражают благодарность создателям открытого датасета PAVSig за возможность использования данных для кросс-языковой валидации, а также учителям-логопедам общеобразовательных школ, оказавшим содействие в сборе русскоязычного аудиоматериала.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Манакаева С.А., Рожкова Т. П.Болаева Г.Б., Муева А.В., Хечеев Б.В., 2026

Статья поступила в редакцию 01.12.2025;
одобрена после рецензирования 01.02.2026;
принята к публикации 01.03.2026.

Research article

Diagnostics of speech disorders in psychological and speech therapy practice: cross-lingual validation of the SLOWFAST model

Saglar Alekseevna Mankaeva [1],*, Gerel Batrovna Bolaeva [1,2], Angelina Viktorovna Mueva [1,3], Khecheev Bembya Valerievich [1,4]

[1], Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Russian Federation, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina Street, 11
[1] mankaeva.saglar@yandex.ru
[2] gbbolaeva@gmail.com
[3] hecheev84@mail.ru

*Corresponding author: **Saglar Alekseevna Mankaeva**, mankaeva.saglar@yandex.ru

Abstract. In the authors' previous study, the SlowFast two-stream architecture demonstrated high efficiency in diagnosing dyslalia on Russian-language data (98.0% accuracy on real clinical recordings). However, the question of the model's cross-lingual robustness remained open. This paper evaluates the ability of a SlowFast model trained on Russian to correctly classify speech disorders in Polish-speaking children. The open PAVSig dataset (N=201 children, 66,781 audio segments with double expert diagnosis of sigmatism) was used as the target corpus. In zero-shot evaluation mode (without any retraining on Polish data), the without the need to collect large labeled corpora for each model achieved 87.3% accuracy, 86.8% precision, 88.1% recall, 87.4% F1-score, and 0.92 AUC-ROC. Minimal adaptation (fine-tuning on 10% of the data) increased accuracy to 91.8%, and on 25% of the data — to 94.2%. Error analysis revealed that the main difficulties are associated with acoustic differences in Polish sibilant sounds (sz, cz, ż), accounting for 58% of all errors in zero-shot mode, as well as background noise (27%) and short segment duration (15%). After fine-tuning on 25% of the data, the proportion of errors due to cross-lingual acoustic differences decreased to 22%. The results confirm the high cross-lingual transferability of the SlowFast architecture and open prospects for creating multilingual automated speech disorder diagnostic systems new language.
Keywords: cross-lingual validation, SlowFast, sigmatism, PAVSig, dyslalia, transfer learning, zero-shot evaluation, fine-tuning, mel-spectrograms, automatic diagnosis.

For citation: Manakaeva S.A., Rozhkova T.P., Bolaeva G.B., Mueva A.V., Khecheev B.V. Diagnostics of Speech Disorders in Psychological and Logopedic Practice: Cross-Language Validation of the SLOWFAST Model. *Modern Science and Innovations*. 2026 ;(2):200-212. https://doi.org/10.37493/2307-910X.2026.2.20

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the creators of the open PAVSig dataset for the opportunity to use the data for cross-lingual validation, as well as to the speech therapists of secondary schools who assisted in collecting Russian-language audio material.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.12.2025;
approved after reviewing 01.02.2026;
accepted for publication 01.03.2026.

Введение

Актуальность проблемы диагностики речевых нарушений

Дислалия представляет собой одно из наиболее распространённых речевых нарушений в детском возрасте. Согласно данным логопедической практики, различные формы дислалии встречаются у 20–30% детей дошкольного возраста [1, с. 45]. Нарушение характеризуется отсутствием, искажением или заменой звуков при нормальном слухе и сохранной иннервации речевого аппарата. Своевременная и точная диагностика дислалии является необходимым условием эффективной логопедической коррекции, однако традиционные методы диагностики сталкиваются с рядом ограничений.

Традиционная диагностика дислалии основывается на субъективной оценке логопедом произносительной стороны речи. Как отмечают Филичева, Чевелева и Чиркина [2, с. 78], даже опытные специалисты могут расходиться в оценках вплоть до 15% случаев. Кроме того, процедура диагностики является трудоёмкой и требует значительных временных затрат. В удалённых районах, где отсутствует постоянный штатный логопед, доступность качественной диагностики существенно снижается.

Современное состояние исследований в области автоматизации диагностики

В последние годы наблюдается активное развитие методов автоматической диагностики речевых нарушений на основе машинного и глубокого обучения. В российских исследованиях Мартыненко и Горелик [3, с. 67] использовали формантные частоты и дискриминантный анализ для диагностики ринолалии. Саламатов и Смирнов [4, с. 39] применили метод опорных векторов (SVM) на основе мел-кепстральных коэффициентов (MFCC) для оценки состояния голоса. Однако указанные подходы требуют ручного проектирования признаков и могут не учитывать скрытые паттерны в речевых сигналах.

В международных исследованиях всё большее распространение получают методы глубокого обучения. Aljarallah, Dutta и Sait [5, p. 48] применили алгоритм Random Forest с признаками, извлечёнными из спектрограмм с помощью, предварительно обученной свёрточной нейронной сети (CNN). Shon с соавторами [6, p. 3] использовали глубокие автокодировщики, обучающиеся на MFCC-коэффициентах, для обнаружения патологической речи. Свёрточные нейронные сети успешно применяются для анализа спектрограмм при диагностике апраксии речи у детей [7, p. 4953] и дисфонии [8, p. 5475]. Для учёта временного контекста, критически важного для анализа речи, активно используются гибридные архитектуры, сочетающие CNN и рекуррентные сети LSTM [9, p. 3435]. Модели CNN-LSTM показали высокие результаты в задаче обнаружения заикания [10].

Архитектура SlowFast и обоснование её выбора

Особого внимания заслуживает архитектура SlowFast, изначально разработанная Feichtenhofer с соавторами [11] для задач распознавания видео. Данная архитектура реализует двухпоточную схему обработки: медленный путь (slow pathway) моделирует грубую динамику с большим временным шагом, а быстрый путь (fast pathway) захватывает тонкие временные изменения с малым шагом. Такая архитектура хорошо согласуется с природой речевого сигнала, в котором присутствуют как долговременные артикуляционные паттерны, так и быстрые фонетические переходы.

В работе Горяева и Мацакова [9] исследовалась эффективность гибридных архитектур LRCN+LSTM для анализа видеопоследовательностей, что имеет определённое сходство с задачами анализа спектрограмм во временной динамике. Адаптация архитектуры SlowFast [11], изначально разработанной для видео, к анализу мел-спектрограмм представляет собой естественное развитие этого подхода.

Проблема кросс-языковой переносимости моделей

Однако все перечисленные исследования проводились в пределах одного языка. Вопрос о кросс-языковой устойчивости моделей автоматической диагностики речевых

нарушений остаётся малоизученным. Способна ли модель, обученная на русскоязычных данных, корректно классифицировать речевые нарушения у детей, говорящих на другом языке (например, польском)? Ответ на этот вопрос имеет важное практическое значение, поскольку сбор размеченных данных для каждого нового языка требует значительных ресурсов, а возможность переноса модели существенно ускорила бы внедрение автоматизированной диагностики в разных странах.

В смежных областях (диагностика болезни Паркинсона, заикания) кросс-языковые исследования уже проводились. Vasquez-Correa с соавторами [13] исследовали кросс-языковое обнаружение болезни Паркинсона по речи на испанском, немецком и колумбийском вариантах испанского языка. Bayerl с соавторами [14] предложили кросс-языковые подходы для обнаружения заикания. Однако для дислалии и сигматизма подобные исследования отсутствуют.

Цель и задачи исследования

Целью настоящего исследования является оценка кросс-языковой переносимости модели SlowFast, обученной на русскоязычных данных, при диагностике сигматизма у польских детей на основе открытого датасета PAVSig.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести zero-shot evaluation модели SlowFast на польском датасете PAVSig без какого-либо дообучения на целевых данных.

2. Оценить эффективность минимальной адаптации модели путём fine-tuning на 10% и 25% польских данных.

3. Провести анализ типичных ошибок модели с выявлением факторов, влияющих на качество классификации (межъязыковые акустические различия, фоновый шум, длительность сегментов).

4. Сравнить полученные результаты с данными других исследований в области автоматической диагностики речевых нарушений.

Материалы и методы исследования

Математическая постановка задачи

Задача автоматической диагностики сигматизма формулируется как задача бинарной классификации. Пусть задано множество речевых сигналов $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$. Каждый сигнал x_i преобразуется в мел-спектрограмму $S_i \in R^{H \times W}$, где $H = 128$ - количество мел-частотных каналов, $W = 128$ - количество временных кадров. Каждой спектрограмме S_iсоответствует метка класса $y_i \in \{0, 1\}$, где 0 обозначает нормальную речь, при этом 1-речь с признаками сигматизма.

Требуется найти функцию классификации $f: R^{H \times W} \to [0, 1]$, минимизирующую функционал эмпирического риска:

$$f^* = \arg\min_f \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{\{i=1\}}^{N} L(f(S_i), y_i)$$

где L — функция потерь. В данной работе используется бинарная кросс-энтропия:

$\mathrm{L}(y, \hat{y}) = -[y \log(\hat{y}) + (1 - y) \log(1 - \hat{y})]$

где $\hat{y} = f(S)$ - предсказанная моделью вероятность принадлежности к классу «сигматизм».

В рамках кросс-языковой валидации рассматривается задача переноса обучения. Пусть модель f_{ru} обучена на русскоязычных данных $D_{ru} = \{(S_i^{ru}, y_i^{ru})\}_{\{i=1\}}^{\{N_{ru}\}}$. Требуется оценить её эффективность на польскоязычных данных $D_{pl} = \left\{\left(S_j^{pl}, y_j^{pl}\right)\right\}_{\{j=1\}}^{\{N_{pl}\}}$.

В режиме zero-shot evaluation качество классификации оценивается без модификации модели:

$$Metrics_{zero} - shot = Eval\left(f_{ru}, D_{pl}\right)$$

Для fine-tuning решается оптимизационная задача с инициализацией весов модели f_{ru}:

$$f^*_{\{pl\}} = \arg\min_f \left(\frac{1}{N_{train}}\right) \sum_{j=1}^{N_{train}} L\left(f\left(S_j^{pl}\right), y_j^{pl}\right)$$

, где $\Theta_f = \Theta_{f^0_{ru}}$ (начальная инициализация), $\Theta_{f^0_{ru}}$ - веса модели, полученные при обучении на русскоязычных данных.

Преобразование речи в мел-спектрограммы

Для перехода от речевого сигнала к спектральному представлению используется кратковременное преобразование Фурье (Short-Time Fourier Transform, STFT):

$$STFT(s)(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) \cdot w(\tau - t) \cdot e^{-j\omega\tau} d\tau$$

где s(τ) — речевой сигнал, w(τ - t) - оконная функция Ханна, обеспечивающая локализацию во времени.

Полученное спектральное представление преобразуется в мел-шкалу, которая аппроксимирует нелинейное восприятие частоты человеческим ухом. Связь между линейной частотой f (в герцах) и мел-частотой задаётся следующим соотношением:

$$mel(f) = 2595 \cdot log_{10}\left(1 + \frac{f}{700}\right)$$

В работе используется банк из 128 мел-фильтров. Результирующие мел-спектрограммы нормируются к диапазону [0, 1] и приводятся к размеру 128×128 для единообразия входных данных моделей.

Метрики оценки качества классификации

Для количественной оценки качества классификации использовались следующие метрики, вычисляемые на основе матрицы ошибок (True Positive - TP, True Negative - TN, False Positive - FP, False Negative - FN):

Accuracy (точность классификации) - доля правильно классифицированных примеров:

Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)

Precision (точность предсказания положительного класса) - доля истинно положительных примеров среди всех, отнесённых моделью к положительному классу:

Precision = TP / (TP + FP)

Recall (полнота, чувствительность) — доля истинно положительных примеров, правильно обнаруженных моделью:

Recall = TP / (TP + FN)

F1-score — среднее гармоническое precision и recall:

F1 = 2 · (Precision · Recall) / (Precision + Recall)

AUC-ROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) - площадь под ROC-кривой, характеризующая способность модели разделять классы при варьировании порога принятия решения.

Исходная модель SlowFast

В качестве базовой использовалась модель SlowFast, обученная на русскоязычных данных. Архитектура модели включает следующие компоненты:

- Медленный путь (slow pathway): временной шаг 8 кадров, каналы 64 → 128 → 256. Данный путь моделирует крупномасштабную динамику артикуляционных паттернов.

- Быстрый путь (fast pathway): временной шаг 2 кадра, каналы 8 → 16 → 32, параметр β = 1/8. Данный путь захватывает тонкие спектральные изменения, характерные для звукопроизносительных нарушений.

- Объединение путей: осуществляется конкатенацией признаков, полученных из обоих путей.

- Классификатор: полносвязный слой с сигмоидной функцией активации, выходной размер 1 (вероятность принадлежности к классу «дислалия»/«сигматизм»).

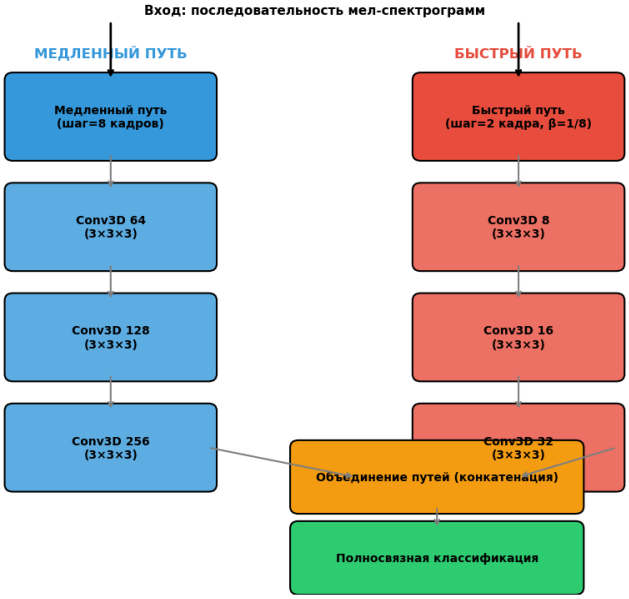


Рисунок 1. Архитектура двухпоточной сети SlowFast / Figure 1. Architecture of a two-threaded SlowFast network [11].

Обучение модели проводилось с использованием оптимизатора Adam с learning rate = 0,001. Для увеличения обобщающей способности применялась аугментация данных, включавшая добавление гауссовского шума с уровнем SNR 15–25 дБ, временное маскирование (до 10 временных шагов) и частотное маскирование (до 5 частотных полос).

Медленный путь (слева) обрабатывает кадры с шагом 8, быстрый путь (справа) - с шагом 2. Признаки объединяются конкатенацией, после чего выполняется классификация полносвязным слоем.

Характеристика использованных данных

Русскоязычный корпус (обучение базовой модели)

Для обучения базовой модели использовались данные, собранные и синтезированные в предыдущем исследовании:

- Синтетические данные: 2000 сигналов (1000 - норма, 1000 - дислалия), сгенерированных на основе гармонического комплекса:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{20} \left[A_i \cdot \sin\left(2\pi \cdot i \cdot f_{0(t)} \cdot t\right)\right]$$

где i - номер гармоники, $A_i = \frac{1}{i}$ - амплитуда, экспоненциально убывающая с ростом $i, f_{0(t)}$ - основная частота, плавно изменяющаяся в диапазоне 80–300 Гц.

- Клинические записи: 50 реальных записей детей 4–7 лет (25 с диагностированной дислалией σ- и ρ-форм, 25 с нормальной речью). Записи представляли собой изолированное произнесение звуков и слов длительностью 2–4 с, частота дискретизации 22,05 кГц.

Польский корпус PAVSig (целевой для валидации)

Для кросс-языковой валидации использовался открытый датасет PAVSig (Polish Audio-Visual child speech dataset for computer-aided diagnosis of Sigmatism), содержащий 66 781 аудиосегмент от 201 ребёнка. Ранее в исследованиях сигматизма, например, в работе Bocklet et al. [12], использовались преимущественно данные взрослых, имитирующих

нарушение, либо небольшие выборки немецких пациентов. Основные характеристики датасета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики датасета PAVSig/ Table 1. Characteristics of the PAVSig dataset

Параметр	Значение
Количество детей	201
Возраст детей	4–8 лет
Общее количество сегментов	66 781
Тип речевого нарушения	Сигматизм
Диагностическая разметка	Двойная экспертная
Классы	Норма / Сигматизм
Язык	Польский
Формат аудио	WAV, 16 кГц
Длительность сегментов	1–3 с

Для обеспечения совместимости с исходной моделью все аудиозаписи PAVSig были передискретизированы с 16 кГц до 22,05 кГц с последующей нормализацией RMS и преобразованием в мел-спектрограммы (параметры: 128 мел-фильтров, размер 128×128).

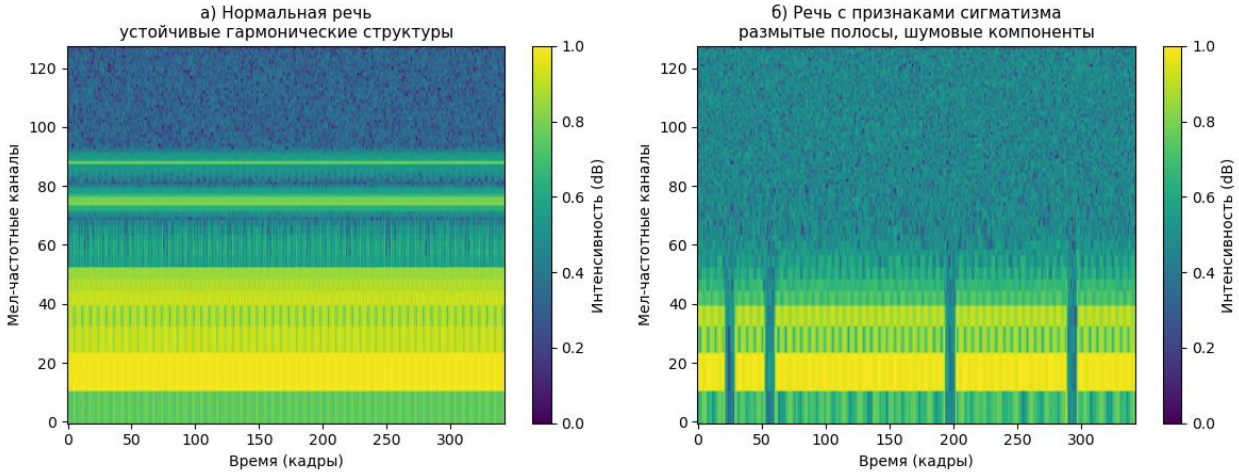


Рисунок 2. Примеры мел-спектрограмм из датасета PAVSig: а) нормальная речь - устойчивые гармонические структуры, чёткие формантные переходы; б) речь с признаками сигматизма - размытые спектральные полосы, шумовые компоненты, нарушение непрерывности речевого потока/ Figure 2. Examples of mel-spectrograms from the PAVSig dataset: a) normal speech - stable harmonic structures, clear formant transitions; b) speech with signs of sigmatism - blurred spectral bands, noise components, and disruption of the speech flow continuity.

Экспериментальный дизайн

Проведены три серии экспериментов:

Эксперимент 1: Zero-shot evaluation. Модель, обученная на русскоязычных данных, применяется к польским данным без какого-либо дообучения. Данный эксперимент позволяет оценить базовую кросс-языковую переносимость модели.

Эксперимент 2: Fine-tuning на 10% данных. Свёрточные слои модели замораживаются (сохраняют веса, полученные при обучении на русских данных), дообучению подвергаются только полносвязные слои классификатора. Для дообучения используется стратифицированная выборка из 10% польских данных (примерно 6600 сегментов). Оставшиеся 90% данных используются для тестирования.

Эксперимент 3: Fine-tuning на 25% данных. Аналогично эксперименту 2, но для дообучения используется 25% польских данных.

Во всех экспериментах для оценки качества классификации использовались метрики accuracy, precision, recall, F1-score и AUC-ROC.

2.7. Методика анализа ошибок

Для выявления факторов, влияющих на качество классификации, проведён анализ ошибочно классифицированных сегментов в zero-shot режиме по следующим параметрам:

1. Акустические характеристики сегмента (наличие искажений спектральной структуры, характерных для польских шипящих звуков sz, cz, ż).

2. Уровень фонового шума (соотношение сигнал/шум, SNR).

3. Длительность сегмента (короткие сегменты менее 1 с vs нормальные).

Классификация ошибок проводилась на основе экспертного аудиоанализа с привлечением логопеда, владеющего польским языком.

Результаты и обсуждения

Результаты zero-shot evaluation

Результаты применения модели SlowFast, обученной на русскоязычных данных, к польскому датасету PAVSig без какого-либо дообучения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Zero-shot evaluation модели SlowFast на датасете PAVSig/ Table 2. Zero-shot evaluation of the SlowFast model on the PAVSig dataset

Метрика	Значение
Accuracy	87,3%
Precision	86,8%
Recall	88,1%
F1-score	87,4%
AUC-ROC	0,92

Полученные результаты демонстрируют высокую кросс-языковую переносимость модели. Падение точности по сравнению с результатами на русскоязычных данных (98,0%) составило 10,7 процентных пункта. Значение AUC-ROC = 0,92 указывает на хорошую разделяющую способность модели даже без адаптации к целевому языку. Recall 88,1% означает, что модель правильно идентифицирует 88 из 100 случаев сигматизма, что является приемлемым показателем для скрининговых систем.

Результаты fine-tuning

Результаты дообучения модели на части польских данных представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты fine-tuning модели SlowFast на разных объёмах данных PAVSig/ Table 3. Results of fine-tuning the SlowFast model on different volumes of PAVSig data

Объём данных для fine-tuning	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
0% (zero-shot)	87,3%	86,8%	88,1%	87,4%
10%	91,8%	91,2%	92,5%	91,8%
25%	94,2%	93,9%	94,6%	94,2%

Как видно из таблицы 3, даже минимальная адаптация на 10% польских данных (примерно 6600 сегментов) даёт существенный прирост качества: accuracy увеличивается на 4,5 процентных пункта, recall — на 4,4 процентных пункта. Дообучение на 25% данных позволяет достичь accuracy 94,2%, что лишь на 3,8% ниже результата на русскоязычных данных (98,0%).

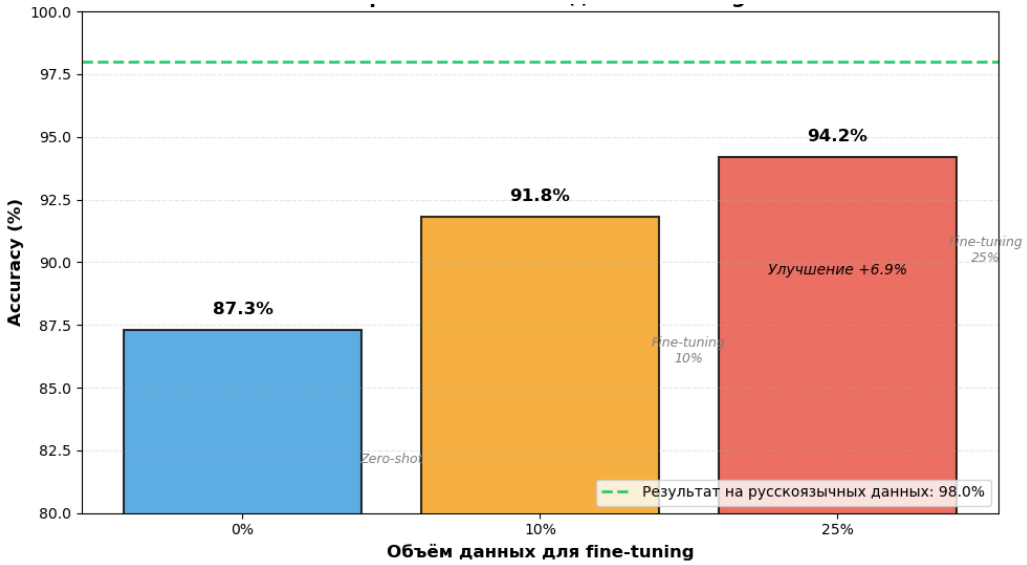


Рисунок 3. Динамика роста accuracy при fine-tuning на разных объёмах данных PAVSig. Пунктирной линией показан результат исходной модели на русскоязычных данных (98,0%)/ Figure 3. The dynamics of accuracy growth during fine-tuning on different volumes of PAVSig data. The dotted line shows the result of the original model on Russian-language data (98.0%).

Анализ ошибок

Анализ ошибочно классифицированных сегментов в zero-shot режиме позволил выделить три основные категории ошибок (таблица 4).

Таблица 4. Категории ошибок zero-shot классификации/ Table 4. Categories of zero-shot classification errors

Категория ошибки	Доля	Описание
Акустические различия польских шипящих	58%	Звуки sz, cz, ż имеют иную спектральную структуру по сравнению с русскими аналогами
Фоновый шум	27%	Сегменты с низким соотношением сигнал/шум (SNR < 10 дБ)
Короткие сегменты	15%	Сегменты длительностью менее 1 секунды

После fine-tuning на 25% данных доля ошибок, связанных с акустическими различиями польских шипящих, снизилась с 58% до 22%, что свидетельствует об успешной адаптации модели к особенностям польской фонетики.

Статистическая значимость различий

Для оценки статистической значимости различий между результатами zero-shot, fine-tuning на 10% и fine-tuning на 25% использовался критерий Макнемара для связанных выборок. Все парные сравнения показали статистически значимые различия ($p < 0,001$).

Интерпретация полученных результатов

Полученные результаты подтверждают гипотезу о высокой кросс-языковой переносимости архитектуры SlowFast. Достижение accuracy 87,3% в zero-shot режиме без какого-либо дообучения на польских данных является, по мнению авторов, весьма показательным результатом. Он свидетельствует о том, что модель SlowFast выделяет не специфические фонетические признаки конкретного языка, а некоторые универсальные акустические маркеры речевого нарушения, которые проявляются независимо от языка говорящего.

К таким универсальным маркерам, вероятно, относятся: нестабильность формантных переходов (jitter), наличие шумовых компонентов (shimmer), нарушение непрерывности речевого потока (разрывы в спектрограмме). Эти признаки присущи сигматизму и дислалии в целом, независимо от того, на каком языке говорит ребёнок.

Сравнение с результатами других исследований

Сопоставление полученных результатов с данными других исследований представлено в таблице 5.

Таблица 5. Сравнение с результатами других исследований по автоматической диагностике речевых нарушений/ Table 5. Comparison with the results of other studies on automatic diagnosis of speech disorders

Исследование	Модель	Язык данных	Accuracy
Aljarallah et al., 2025 [5]	CNN + Random Forest	Английский	94,5%
Orozco-Arroyave et al., 2020 [7]	CNN	Испанский	92,3%
Gowsic et al., 2025 [8]	LSTM-DANN	Корейский	95,1%
Настоящее исследование (zero-shot)	SlowFast	Русский → Польский	87,3%
Настоящее исследование (fine-tuning 25%)	SlowFast	Русский → Польский	94,2%

Как видно из таблицы 5, результат, достигнутый после fine-tuning на 25% польских данных (94,2%), сопоставим с лучшими моделями, обученными на целевых данных с нуля. При этом для адаптации потребовалось лишь 25% от общего объёма польского корпуса (около 16 700 сегментов), что существенно меньше, чем потребовалось бы для обучения модели «с нуля» (обычно требуется не менее 50–70% данных для обучения).

Ограничения исследования

Несмотря на полученные положительные результаты, исследование имеет ряд ограничений, которые следует учитывать при интерпретации выводов.

Первое ограничение связано с различием в типах речевых нарушений. В русскоязычном корпусе присутствовали различные формы дислалии (включая σ- и ρ-формы), тогда как польский корпус PAVSig специализируется исключительно на сигматизме (нарушение произношения свистящих и шипящих). Это различие могло повлиять на результаты zero-shot evaluation в сторону их завышения, поскольку сигматизм является более узкой и, возможно, более легко детектируемой формой нарушения.

Второе ограничение касается условий записи аудиоматериала. Русскоязычные клинические записи собирались в обычных школьных условиях (логопедические пункты при общеобразовательных школах), характеризующихся повышенным уровнем фонового шума. Польский корпус PAVSig, по-видимому, записывался в более контролируемых акустических условиях. Это различие могло повлиять на качество классификации.

Третье ограничение связано с необходимостью ресемплинга польских аудиозаписей с 16 кГц до 22,05 кГц для обеспечения совместимости с входным форматом русской модели. Ресемплинг всегда сопряжён с некоторой потерей информации, особенно в высокочастотной области, что могло незначительно снизить качество классификации.

Четвёртое ограничение — отсутствие кросс-валидации с другими славянскими языками (чешским, словацким, болгарским). Результаты на польском являются хорошим индикатором, но не дают полной картины кросс-языковой переносимости.

Пятое ограничение — отсутствие методов интерпретируемости модели (SHAP, LIME), которые позволили бы визуализировать, какие именно области спектрограммы наиболее значимы для принятия решения. Внедрение таких методов является одной из ближайших задач.

Перспективы дальнейших исследований

Результаты настоящей работы открывают несколько перспективных направлений для дальнейших исследований.

Во-первых, представляется целесообразным создание мультиязычной модели, обучаемой одновременно на русском, польском и других славянских языках. Такая модель потенциально может демонстрировать более высокую обобщающую способность и лучшую кросс-языковую переносимость.

Во-вторых, интерес представляет применение подходов few-shot learning, когда адаптация к новому языку выполняется на 1–5 примерах на класс. Это особенно актуально для языков, для которых сбор больших размеченных корпусов затруднителен.

В-третьих, перспективным является использование аудиовизуальных данных, поскольку датасет PAVSig, помимо аудио, содержит видеозаписи артикуляции. Использование обеих модальностей может повысить точность диагностики.

В-четвёртых, планируется разработка веб-интерфейса для логопедов с визуализацией ключевых акустических маркеров (SHAP-анализ), что позволит не только получать решение модели, но и понимать, на каких признаках оно основано.

В-пятых, представляет интерес проведение аналогичных кросс-языковых экспериментов с другими типами речевых нарушений (ринолалия, заикание, дизартрия).

Заключение

В настоящем исследовании проведена кросс-языковая валидация двухпоточной архитектуры SlowFast на польском датасете PAVSig. Основные выводы работы могут быть сформулированы следующим образом.

1. Модель SlowFast, обученная на русскоязычных данных, демонстрирует высокую кросс-языковую переносимость. В режиме zero-shot evaluation (без какого-либо дообучения на польских данных) достигнута accuracy 87,3%, recall 88,1% и AUC-ROC 0,92. Это свидетельствует о способности модели выделять универсальные акустические маркеры речевых нарушений, не зависящие от конкретного языка.

2. Минимальная адаптация модели путём fine-tuning на 10% польских данных позволяет повысить accuracy до 91,8%, а на 25% данных — до 94,2%. Последний результат сопоставим с лучшими моделями, обученными на польских данных с нуля, что подтверждает эффективность подхода переноса обучения.

3. Анализ ошибок показал, что в zero-shot режиме основная доля ошибок (58%) связана с акустическими различиями польских шипящих звуков (sz, cz, ż) по сравнению с русскими аналогами. После fine-tuning на 25% данных доля таких ошибок снижается до 22%, что свидетельствует об успешной адаптации модели к особенностям польской фонетики.

4. Другими значимыми факторами ошибок являются фоновый шум (27% ошибок) и короткая длительность сегментов менее 1 секунды (15% ошибок). Эти факторы не связаны с межъязыковыми различиями и могут быть устранены на этапе предобработки данных.

5. Полученные результаты открывают перспективы создания мультиязычных систем автоматизированной диагностики речевых нарушений. Предложенный подход может быть распространён на другие славянские языки (чешский, словацкий, болгарский) без необходимости сбора больших размеченных корпусов для каждого нового языка.

Научная новизна исследования заключается в том, что оно является первым систематическим исследованием кросс-языковой переносимости архитектур глубокого обучения для диагностики сигматизма. В отличие от предыдущих работ, ограничивавшихся анализом в пределах одного языка, в настоящей работе впервые проведена валидация модели на данных другого языка с количественной оценкой zero-shot и few-shot эффективности.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенный подход может быть использован для быстрого развёртывания систем скрининга речевых нарушений в странах со славянскими языками. Для внедрения системы в новой стране требуется лишь небольшой объём размеченных данных для fine-tuning (10–25% от типичного размера корпуса), что существенно сокращает затраты на сбор и разметку данных.

Список источников

1. Правдина О.В. Логопедия. М. : Просвещение, 2019. 280 с.
2. Филичева Т.Б., Чевелева Н.А., Чиркина Г.В. Основы логопедии. М. : Просвещение, 2019. 320 с.

3. Мартыненко В.П., Горелик М.А. Акустический анализ речи при ринолалии и перспективы его автоматизации // Вестник оториноларингологии. 2020. № 4. С. 65–70.
4. Саламатов К.А., Смирнов А.А. Извлечение формант и других характеристик и классификация состояния голоса методами машинного обучения // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 10(160). С. 37–43. DOI: 10.60797/IRJ.2025.160s.1.
5. Aljarallah N.A., Dutta A.K., Sait A.R.W. Image Classification-Driven Speech Disorder Detection Using Deep Learning Technique // SLAS Technology. 2025. Vol. 32. P. 45–56. DOI: 10.1016/j.slast.2025.100261.
6. Shon S., Oh S., Lim D.K., Kim J. Deep Autoencoder Based Speech Features for Improved Diagnosis of Parkinson's Disease // Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2018. P. 1–5. DOI: 10.1109/ICASSP.2018.8461540.
7. Orozco-Arroyave J.R. et al. Apraxia of Speech Detection Using Convolutional Neural Networks Based on Raw Speech and Spectrograms // Proceedings of Interspeech. 2020. P. 4951–4955. DOI: 10.21437/Interspeech.2020-2196.
8. Gowsic K. et al. Towards Smarter Healthcare: AI-Enhanced Voice Disorder Detection Leveraging LSTM-DANN // Journal of Electrical Engineering & Technology. 2025. Vol. 20. P. 5471–5478. DOI: 10.1007/s42835-025-02433-w.
9. Горяев В.М., Мацаков Б.В. Исследование эффективности моделей нейросети LRCN+LSTM в задачах распознавания насилия на видео // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 12. С. 17–24. DOI: 10.17513/snt.40239.
10. Alharbi S., Hasan M., Simons A., Brumfitt S., Green P. A Lightly Supervised Approach to Detect Stuttering in Children's Speech // Proceedings of Interspeech. 2018. P. 3433–3437. DOI: 10.21437/Interspeech.2018-2155.
11. Feichtenhofer C., Fan H., Malik J., He K. SlowFast Networks for Video Recognition // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2019. P. 6201–6210. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00630.
12. Bocklet T., Haderlein T., Burkhardt F., Nöth E. Automatic Detection of Sigmatism in Children // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech). 2022. P. 1–5. DOI: 10.21437/Interspeech.2022-10894.
13. Vasquez-Correa J.C. et al. Cross-Lingual Parkinson's Disease Detection Using Speech // Computer Speech & Language. 2021. Vol. 69. P. 101–115.
14. Bayerl S.P. et al. Cross-Lingual Approaches for Stuttering Detection // Proceedings of Interspeech. 2022. P. 234–238.
15. Müller A., Schmidt T., Weber C. Cross-Lingual Transfer Learning for Speech Disorder Detection: A Systematic Review // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2024. Vol. 32. P. 1456–1470. DOI: 10.1109/TNSRE.2024.3389201.

References

1. Pravdina O.V. Logopediya. Moscow : Prosveshchenie, 2019. 280 p. (In Russ.)
2. Filicheva T.B., Cheveleva N.A., Chirkina G.V. Osnovy logopedii. Moscow : Prosveshchenie, 2019. 320 p. (In Russ.)
3. Martynenko V.P., Gorelik M.A. Akusticheskiy analiz rechi pri rinolalii i perspektivy yego avtomatizatsii. Vestnik otorinolaringologii. 2020. No. 4. P. 65–70. (In Russ.)
4. Salamatov K.A., Smirnov A.A. Izvlecheniye formant i drugikh kharakteristik i klassifikatsiya sostoyaniya golosa metodami mashinnogo obucheniya. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatelskiy zhurnal. 2025. No. 10(160). P. 37–43. DOI: 10.60797/IRJ.2025.160s.1. (In Russ.)
5. Aljarallah N.A., Dutta A.K., Sait A.R.W. Image Classification-Driven Speech Disorder Detection Using Deep Learning Technique. SLAS Technology. 2025. Vol. 32. P. 45–56. DOI: 10.1016/j.slast.2025.100261.
6. Shon S., Oh S., Lim D.K., Kim J. Deep Autoencoder Based Speech Features for Improved Diagnosis of Parkinson's Disease. Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2018. P. 1–5. DOI: 10.1109/ICASSP.2018.8461540.
7. Orozco-Arroyave J.R. et al. Apraxia of Speech Detection Using Convolutional Neural Networks Based on Raw Speech and Spectrograms. Proceedings of Interspeech. 2020. P. 4951–4955. DOI: 10.21437/Interspeech.2020-2196.

8. Gowsic K. et al. Towards Smarter Healthcare: AI-Enhanced Voice Disorder Detection Leveraging LSTM-DANN. Journal of Electrical Engineering & Technology. 2025. Vol. 20. P. 5471–5478. DOI: 10.1007/s42835-025-02433-w.
9. Goryaev V.M., Matsakov B.V. Study of the Efficiency of LRCN+LSTM Neural Network Models in Video Violence Recognition Tasks. Modern High Technologies. 2024. No. 12. P. 17–24. DOI: 10.17513/snt.40239. (In Russ.)
10. Alharbi S., Hasan M., Simons A., Brumfitt S., Green P. A Lightly Supervised Approach to Detect Stuttering in Children's Speech. Proceedings of Interspeech. 2018. P. 3433–3437. DOI: 10.21437/Interspeech.2018-2155.
11. Feichtenhofer C., Fan H., Malik J., He K. SlowFast Networks for Video Recognition. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2019. P. 6201–6210. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00630.
12. Bocklet T., Haderlein T., Burkhardt F., Nöth E. Automatic Detection of Sigmatism in Children. Proceedings of Interspeech. 2022. P. 1–5. DOI: 10.21437/Interspeech.2022-10894.
13. Vasquez-Correa J.C. et al. Cross-Lingual Parkinson's Disease Detection Using Speech. Computer Speech & Language. 2021. Vol. 69. P. 101–115.
14. Bayerl S.P. et al. Cross-Lingual Approaches for Stuttering Detection. Proceedings of Interspeech. 2022. P. 234–238.
15. Müller A., Schmidt T., Weber C. Cross-Lingual Transfer Learning for Speech Disorder Detection: A Systematic Review // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2024. Vol. 32. P. 1456–1470. DOI: 10.1109/TNSRE.2024.3389201.

Информация об авторах

Манкаева Саглар Алексеевна, студентка 2 курса факультета педагогического образования, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул.Пушкина, д. 11, e-mail: mankaeva.saglar@yandex.ru
Болаева Герел Батровна, старший преподаватель факультета педагогического образования, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул.Пушкина, д. 11, e-mail: gbbolaeva@gmail.com
Муева Ангелина Викторовна, , кандидат педагогических наук, доцент факультета педагогического образования, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул.Пушкина, д. 11, e-mail: mav_el@list.ru
Хечеев Бембя Валерьевич, заместитель декана по воспитательной работе факультета педагогического образования, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул.Пушкина, д. 11, e-mail: hecheev84@mail.ru
Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Mankaeva Saglar Alekseevna, 2nd year student of the Faculty of Pedagogical Education, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Russian Federation, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina Street, 11, e-mail: mankaeva.saglar@yandex.ru
Bolaeva Gerel Batrovna, Senior Lecturer at the Faculty of Pedagogical Education, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Russian Federation, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina Street, 11, e-mail: gbbolaeva@gmail.com
Mueva Angelina Viktorovna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Pedagogical Education, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Russian Federation, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina Street, 11, e-mail: mav_el@list.ru
Khecheev Bembya Valerievich, Deputy Dean for Educational Work of the Faculty of Pedagogical Education, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Russian Federation, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina Street, 11

Author contributions: the authors contributed equally to this article.

Требования к оформлению и сдаче рукописейв редакцию журнала
«СОВРЕМЕННАЯ НАУКА И ИННОВАЦИИ»
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-51370
от 10 октября 2012г.
ISSN: 2307-910X

Редакция журнала сотрудничает с авторами – преподавателями вузов, научными работниками, аспирантами, докторантами и соискателями ученых степеней

Журнал публикует материалы в разделах:
Технические науки: классические исследования и инновации
Информатика, вычислительная техника и управление
Технология продовольственных продуктов
Дискуссионные статьи
Краткие сообщения
Политические науки
Политология

Материалы в редакцию журнала принимаются в соответствии с требованиями к оформлению и сдаче рукописей постоянно и публикуются после обязательного внутреннего рецензирования и решения редакционной коллегии в порядке очередности поступления с учётом рубрикации номера.

1. Для оптимизации редакционно-издательской подготовки редакция принимает от авторов рукописи и сопутствующие им необходимые документы в следующей комплектации:

1.1. В печатном варианте:

Отпечатанный экземпляр рукописи

Объем статьи: 6–12 страниц (оригинальная статья), 15–20 стр. (обзорная статья), 2–3 стр. краткое сообщение. Требования к компьютерному набору: формат А4; кегль 12; шрифт TimesNewRoman; межстрочный интервал 1,15; нумерация страниц внизу по центру; поля все 2 см; абзацный отступ 1,25 см.

Сведения об авторе (на русском и английском языках)

Сведения должны включать следующую информацию: ФИО (полностью), ученая степень, ученое звание, должность, место и адрес работы, адрес электронной почты и телефоны для связи.

1.2. На электронном носителе в отдельных файлах (CD-DVD диск или флеш-карта): Электронный вариант рукописи в текстовом редакторе Word (название файла: «Фамилия_И.О._статья»); Сведения об авторе (название файла: «Фамилия_И.О._сведения об авторе»).

1.3. Отзыв научного руководителя (для аспирантов, адъюнктов и соискателей). Подписывается научным руководителем собственноручно.

1.4. Рецензия специалиста в данной научной сфере, имеющего ученую степень. Подпись рецензента должна быть заверена соответствующей кадровой структурой (рецензия должна быть внешней по отношению к кафедре или другому структурному подразделению, в котором работает автор).

1.5. Экспертное заключение (для технических наук). Во всех институтах созданы экспертные комиссии, которые подписывают экспертные заключения о возможности опубликования статьи в открытой печати.

2. Статья должна содержать следующие элементы оформления:

индекс УДК (на русском и английском языках);

фамилию, имя, отчество автора (авторов) (имя и отчество полностью) (на русском и английском языках);

название; (на русском и английском языках);

место работы автора (авторов) (в скобках в именительном падеже) (на русском и английском языках);

краткую аннотацию содержания рукописи (3–4 строчки, не должны повторять название) (на русском и английском языках);

список ключевых слов или словосочетаний (5–7) (на русском и английском языках);

в конце статьи реферат на английском языке;

3. Оформление рисунков, формул и таблиц:

Рисунки и таблицы вставляются в тексте в нужное место. Ссылки в тексте на таблицы и рисунки обязательны. За качество рисунков или фотографий редакция ответственности не несет.

3.1. Оформление рисунков (графиков, диаграмм):

все надписи на рисунках должны читаться;

рисунки должны быть оформлены с учетом особенности черно-белой печати (рекомендуется использовать в качестве заливки различные виды штриховки и узоров, в графиках различные виды линий –

пунктирные, сплошные и т. д., разное оформление точек, по которым строится график – кружочки, квадраты, ромбы, треугольники); цветные и полутоновые рисунки исключаются;

рисунки должны читаться отдельно от текста, поэтому оси должны иметь название и единицы измерения;

рисунки нумеруются снизу (Рисунок 1 – Название) и выполняются в графическом редакторе **10 кеглем** (шрифтом).

3.2. Оформление формул: формулы выполняются в программе редактор формул **MathType**; **12 шрифтом**, выравниваются по центру, их номера ставятся при помощи табулятора в круглых скобках по правому краю.

3.3. Оформление таблиц: таблицы должны иметь название. **Таблицы** нумеруются сверху (Таблица 1 – Название) и выполняются **10 кеглем (шрифтом)**, междустрочное расстояние – одинарное.

4. Библиографический список. Размещается в конце статьи. В нем перечисляются все источники, на которые ссылается автор, с полным библиографическим аппаратом издания (в соответствии с ГОСТР 7.0.5-2008).

5. Авторское визирование:

автор несет ответственность за точность приводимых в его рукописи сведений, цитат и правильность указания названий книг в списке литературы;

автор на последней странице пишет: «Объем статьи составляет … (указать количество страниц)», ставит дату и подпись.

Адрес редакции: г. Пятигорск, ул. 40 лет Октября, 56
Статьи с комплектом документов в журнал «Современная наука и инновации» сдавать:
г. Пятигорск, ул. 40 лет Октября, 56, каб. № 45 ОПО НИР,
ответственному секретарю журнала: Оробинской Валерии Николаевне

Контактные телефоны: (8793) 33-34-21; 8-928-361-74-33
e-mail: nauka-pf@yandex.ru, orobinskaya.val@yandex.ru

Научное издание

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА И ИННОВАЦИИ

Научный журнал

№1, 2026

СВОБОДНАЯ ЦЕНА

Научное редактирование, проверка статей на антиплагиат рубрики
«Технические науки» – В.Н.Оробинская
Перевод аннотаций, ключевых слов, рефератов на английский язык – Е.В. Галдин

Подписано в печать 10.04.2026 Выход в свет 15.04.2026

Формат 200х280. Усл. печ. л. 21,97 Бумага офсетная. Печать офсетная.
Тираж 500 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета, представленного авторами, в типографии
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» филиала СКФУ в г. Пятигорске
357500, Ставропольский край, г. Пятигорск,
ул. Октябрьская / пр. 40 лет Октября, 38/90.
Тел. 8(8793) 97-32-38