



ISSN 2072-0920 (Print)
ISSN 2713-0029 (Online)

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / NEW TECHNOLOGIES

TOM 22 № 3 2026
VOL 22 No. 3 2026

ISSN 2072-0920 (Print)
ISSN 2713-0029 (Online)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МАЙКОПСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / NEW TECHNOLOGIES

Том 22, № 3, 2026

MAYKOP STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

NEW TECHNOLOGIES / NOVYE TEHNOLOGII

Vol. 22, No.3, 2026

История издания журнала:	Журнал издается с 2005 года
Наименование:	Новые технологии/New Technologies Том 22 № 3 2026
Периодичность:	4 выпуска в год
Префикс DOI:	10.47370
ISSN: eISSN:	ISSN 2072-0920 (Print) ISSN 2713-0029 (Online)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации:	Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ №ФС77-79835 от 31 декабря 2020
Условия распространения материалов:	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Подписка на журнал «Новые технологии / New Technologies»:	Подписку на журнал «Новые технологии / New Technologies» можно оформить по индексу 65035 в электронном каталоге УРАЛ-ПРЕСС https://www.ural-press.ru/
Учредитель / издатель:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191
Редакция:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191 тел.: 8(8772)52 30 03 e-mail: nov_teh@mkgtu.ru https://newtechnology.mkgtu.ru/jour/index
Типография:	Индивидуальный предприниматель Кучеренко Вячеслав Олегович 385008, г. Майкоп, ул. Пионерская, дом 403, офис 33 e-mail: slv01@yandex.ru
Дата выхода:	30.09.2026
Тираж:	500 экз.
Стоимость одного выпуска:	Цена свободная

Journal publishing history:	The journal has been published since 2005
Title:	New technologies / Novye tehnologii Volume 22 No.3, 2026
Frequency:	4 issues a year
DOI prefix:	10.47370
ISSN: eISSN:	2072-0920 (Print) 2713-0029 (Online)
Mass media registration certificate:	Registered with the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor). Certificate PI No. FS77-79835 dated December 31, 2020
Content distribution terms:	Content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License
Subscription to New technologies / Novye tehnologii journal:	Subscription to the «New Technologies» journal in the electronic catalog of the Ural Press under the 65035 index.
Founder/Publisher:	Maykop State Technological University 385000, Maykop, 191, Pervomayskaya str.
Editorial office:	Maykop State Technological University 385000, Maikop, 191, Pervomayskaya str. tel.: 8(8772)52 30 03 e-mail: nov_teh@mkgtu.ru https://newtechnology.mkgtu.ru/jour/index
Printing house:	Kucherenko Vyacheslav Olegovich sole proprietorship 385008, Maikop, 403 Pionerskaya str., office 33 e-mail: slv01@yandex.ru
Publication date:	30.09.2026
Circulation:	500 copies
The cost of one issue:	Free price

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Научный журнал «Новые технологии / New technologies» ориентирован на освещение актуальных вопросов в области пищевой промышленности и сельского хозяйства. Журнал публикует результаты оригинальных исследований в сфере разработки современных технологий производства продовольственных продуктов, получения пищевых добавок и функциональных ингредиентов, а также перспективные исследования в области земледелия и растениеводства, селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений, садоводства и овощеводства и их применения в агропромышленном комплексе.

Научная концепция издания предполагает публикацию материалов в следующих областях знаний: агрономии, технологии продовольственных продуктов.

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

Асхад Хазретович Шеуджен, академик РАН, доктор биологических наук, профессор (ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора:

Татьяна Анатольевна Овсянникова, доктор философских наук, профессор, проректор по научной работе и инновационному развитию ФГБОУ ВО «МГТУ», Майкоп, Российская Федерация

Научный редактор:

Юрий Иванович Сухоруких, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры экологии и защиты окружающей среды ФГБОУ ВО «МГТУ», Майкоп, Российская Федерация

Лесик Якович Айба, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Академии наук Абхазии, Сухум, Абхазия)

Ирина Анатольевна Бандурко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (ФГБОУ ВО «МГТУ», Майкоп, Российская Федерация)

Солтан Сосланбекович Басиев, доктор сельскохозяйственных наук (ФГБОУ ВО Горский ГАУ, Владикавказ, Российская Федерация)

Елена Павловна Викторова, доктор технических наук, профессор (ФГБНУ «Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции», Краснодар, Российская Федерация)

Римма Шамсудиновна Заремук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация)

Сергей Викторович Зеленцов, член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук (ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», Краснодар, Российская Федерация)

Закир Аббас оглы Ибрагимов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Азербайджанский государственный аграрный университет, Гянджа, Азербайджанская Республика)

Дмитрий Анатольевич Иванов, член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (ВНИИМЗ – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Тверская область, Российская Федерация)

Надежда Викторовна Коцарева, доктор сельскохозяйственных наук (ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Белгородская область, Российская Федерация)

Константин Николаевич Кулик, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, Российская Федерация)

Вячеслав Михайлович Лукомец, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко», Краснодар, Российская Федерация)

Людмила Степановна Малюкова, доктор биологических наук (ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Сочи, Российская Федерация)

Маркарт Герхард Отто, доктор естественных наук, профессор (Австрийский научно-исследовательский центр лесных культур, Вена, Австрия)

Раух Ханс Петер, доктор естественных наук, профессор (Венский университет природных ресурсов и прикладных наук, Вена, Австрия)

Алексей Владимирович Рындин, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук (ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Сочи, Российская Федерация)

Саверио Маннино, доктор химических наук, профессор, научный консультант в области нанобиотехнологий пищевой промышленности (Миланский университет и Университет Бальзано, Милан, Италия)

Аслан Владимирович Сатибалов, доктор сельскохозяйственных наук (ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства», Нальчик, Российская Федерация)

Хазрет Русланович Сиюхов, доктор технических наук, доцент (ФГБОУ ВО «МГТУ», Майкоп, Российская Федерация)

Анзаур Адамович Схалыхов, доктор технических наук, доцент (ФГБОУ ВО «МГТУ», Майкоп, Российская Федерация)

Майя Юрьевна Тамова, доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар, Российская Федерация)

Виктор Иванович Турусов, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук (ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева», Воронежская область, Российская Федерация)

Елена Владимировна Ульяновская, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Российская Федерация)

Зурет Нурбиевна Хатко, доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВО «МГТУ», Майкоп, Российская Федерация)

Хеннинг Гюнтер, доктор естественных наук, профессор (Университет прикладных наук, Дрезден, Германия)

Сергей Семенович Чумаков, доктор сельскохозяйственных наук (ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация)

Штангль Роземари, доктор естественных наук, профессор (Венский университет природных ресурсов и прикладных наук, Вена, Австрия)

Виктор Петрович Якушев, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Aims and Scope

The scientific journal “Novye Tehnologii /New Technologies” aims to cover current issues in the Food industry and Agriculture. The Journal publishes the results of original research in the field of developing modern technologies for the production of food products, obtaining food additives and functional ingredients, as well as promising research in the field of Agriculture and Plant growing, Selection and Seed production of agricultural plants, Horticulture and Vegetable growing and their application in the Agro-industrial complex.

The scientific concept of the journal involves the publication of materials in the following fields of science: Agronomy, Food technology.

Editorial board:

Chief Editor:

Askhad Kh. Sheudzhen, Dr. Sci. (Biol.), Prof. (Kuban State Agrarian University, Krasnodar, the Russian Federation)

Deputy Chief Editor:

Tatyana A. Ovsyannikova, Dr. Sci. (Philosophy), Prof., Vice Rector for research and innovative development of MSTU (Maikop, the Russian Federation)

Scientific Editor:

Yury I. Sukhorukikh, Dr. Sci. (Agr.), Prof., Leading Researcher of the Department of Ecology and Environmental Protection of MSTU (Maikop, the Russian Federation)

Lesik Y. Aiba, Dr. Sci. (Agr.), Prof. (Scientific Research Institute of Agriculture of the Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Abkhazia)

Irina A. Bandurko, Dr. Sci. (Agr.), Prof. (MSTU, Maikop, the Russian Federation)

Soltan S. Basiev, Dr. Sci. (Agr.), Prof. (Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, the Russian Federation)

Elena P. Victorova, Dr. Sci. (Eng.), Prof. (Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products, Krasnodar, the Russian Federation)

Rimma S. Zaremuk, Dr. Sci. (Agr.), Prof. (Kuban State Agrarian University, Krasnodar, the Russian Federation)

Sergey V. Zelentsov, Dr. Sci. (Agr.), Corresponding Member of the RAS (Federal Scientific Centre All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit, Krasnodar, the Russian Federation)

Zakir A. Ibragimov, Dr. Sci. (Agr.), Prof. (Azerbaijan State Agrarian University, Ganja, The Azerbaijan Republic)

Dmitry A. Ivanov, Dr. Sci. (Agr.), Prof., Corresponding member of the RAS (VNIIMZ – a branch of the Soil Science Institute named after V.V. Dokuchaev, the Tver region, the Russian Federation)

Nadezhda V. Kotsareva, Dr. Sci. (Agr.), Prof. (Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, the Belgorod region, the Russian Federation)

Konstantin N. Kulik, Dr. Sci. (Agr.), Prof., Academician of the RAS (FSC of Agroecology of the RAS, Volgograd, the Russian Federation)

Vyacheslav M. Lukomets, Dr. Sci. (Agr.), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences (National Grain Centre named after P.P. Lukyanenko, Krasnodar, the Russian Federation)

Lyudmila S. Malyukova, Dr. Sci. (Biol.), Prof. (All-Russian Scientific Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops, Sochi, the Russian Federation)

Markarth Gerhard Otto, Dr. Sci. (Nat), Prof., (Austrian Forestry Research Centre, Vienna, Austria)

Rauch Hans Peter, Dr. Sci. (Nat), Prof. (Vienna University of Natural Resources and Applied Sciences, Vienna, Austria)

Alexey V. Ryndin, Dr. Sci. (Nat), Prof., Corresponding Member of the RAS (All-Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops, Sochi, the Russian Federation)

Saverio Mannino, Dr. Sci. (Chem.), Prof., Scientific Consultant in the field of Nanobiotechnology of Food industry (University of Milan and University of Balzano, Milan, Italy)

Aslan V. Satibalov, Dr. Sci. (Agr.) (The North Caucasian Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture, Nalchik, the Russian Federation)

Khazret R. Siyukhov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof. (MSTU, Maikop, the Russian Federation)

Anzaur A. Skhalyakhov Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof. (MSTU, Maikop, the Russian Federation)

Maya Yu. Tamova Dr. Sci. (Eng.), Prof. (Kub STU, Krasnodar, the Russian Federation)

Victor I. Turusov, Dr. Sci. (Agr.), Academician of the RAS (Voronezh FACS named after V.V. Dokuchaev, the Voronezh region, the Russian Federation)

Elena V. Ulyanovskaya, Dr. Sci. (Agr.), (Federal State Budgetary Scientific Institution Federal State Budget Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Centre of Horticulture, Viticulture, Wine-making", the Russian Federation)

Zuret N. Khatko, Dr. Sci. (Eng.), Prof. (MSTU, Maikop, the Russian Federation)

Henning Gunther, Dr. Sci. (Nat), Prof. (University of Applied Sciences, Dresden, Germany)

Sergey S. Chumakov, Dr. Sci. (Agr.), Prof. (Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, the Russian Federation)

Stangl Rosemarie, Dr. Sci. (Nat), Prof. (Vienna University of Natural Resources and Applied Sciences, Vienna, Austria)

Victor P. Yakushev, Dr. Sci. (Agr.), Prof., Academician of the RAS (Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, the Russian Federation)

Содержание

Пищевые системы и биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (Технические науки)

Алексаночкин Д.И., Керимова Г.М., Кореньков С.А., Фоменко И.А. Обзор получения биологически активных пептидов из растительного сырья методом микробной ферментации	10
Арапова З.М., Нугманов А.Х.-Х., Алексанян И.Ю., Одинцова А.И., Осмоловский П.Д., Фоменко Е.В. Комбинированная дезодорация сухих белковых продуктов из вторичного рыбного сырья	28
Бетехтин К.Э., Большев Н.А., Ядерец В.В., Машенцева Н.Г. Антиоксидантные свойства гидролизатов куриного пера	40
Васюкова А.Т., Любимова К.В., Эдварс Р.А., Иванов А.Ф., Меретукова Ф.Н. Влияние составных компонентов рецептуры на формирование структуры и пищевую ценность мясных полуфабрикатов	56

Сельскохозяйственные науки

Бишенов Х.З., Варквасова М.А., Канукова Ж.О., Хачетлов А.Х. Оптимизация минерального питания яблони сорта Флорина на выщелоченном черноземе предгорной зоны Кабардино-Балкарии	71
Благополучная О.А., Мамсиров Н.И. Влияние различных способов обработки почвы на агрофизические свойства выщелоченного слитого чернозема и урожайность сельскохозяйственных культур	83
Девтерова Н.И. Влияние приёмов возделывания на агрофизические свойства чернозёмных почв и продуктивность полевых культур	94
Ефремова И.Г., Семин Д.С., Куколева С.С., Подгорнов Е.В., Светлов В.В. Оценка коллекционных образцов зернового сорго для селекции сортов многоцелевого назначения в условиях Нижневолжского региона	105
Загиров Н.Г., Сатибалов А.В., Керимханова Р.Н., Буттаева З.М. Оценка адаптивности и устойчивости продуктивности сортов алычи и сливы в условиях сухих субтропиков Южного Дагестана	118
Тедеева А.А., Мамиев Д.М., Тедеева В.В. Применение биологических препаратов при возделывании озимой пшеницы в условиях Северной Осетии	137
Тропина Н.С., Быкова О.А., Иванченко Н.О. Приемы усиления приживаемости и развития лапчатки белой первого года вегетации в условиях Краснодарского края	149
Тютюма Н.В., Бондаренко А.Н., Тютюма А.В. Адаптивность сортов озимой пшеницы к почвенно-климатическим условиям Астраханской области	162

Food systems and biotechnology of food and bioactive substances (Food Engineering)

Aleksanochkin D.I., Kerimova G.M., Korenkov S.A., Fomenko I.A. An overview of the production of biologically active peptides from plant materials using microbial fermentation	10
Arabova Z.M., Nugmanov A.Kh.-Kh., Aleksanyan I.Yu., Odintsova A.I., Osmolovsky P.D., Fomenko E.V. Combined deodorization of dry protein products from secondary fish raw materials	28
Betekhtin K.E., Bolshev N.A., Yaderets V.V., Mashenzeva N.G. Antioxidant properties of chicken feather hydrolysates	40
Vasyukova A.T., Lyubimova K.V., Edvars R.A., Ivanov A.F., Meretukova F.N. The influence of recipe components on the structure and nutritional value of semi-finished meat products	56

Agricultural sciences

Bishenov Kh.Z., Varkvasova M.A., Kanukova Zh.O., Khachetlov A.Kh. Optimization of mineral nutrition for the Florina apple tree variety on the leached chernozems in the foothill zone of the Kabardino-Balkaria	71
Blagopoluchnaya O.A., Mamsirov N.I. The effect of different soil tillage methods on the agrophysical properties of leached compact chernozem and crop yields	83
Devterova N.I. The effect of cultivation practices on the agrophysical properties of chernozem soils and the productivity of field crops	94
Efremova I.G., Semin D.S., Kukoleva S.S., Podgornov E.V., Svetlov V.V. Evaluation of grain sorghum accessions for breeding multipurpose varieties in the Lower Volga Region...	105
Zagirov N.G., Satibalov A.V., Kerimkhanova R.N., Buttaeva Z.M. Assessing the adaptability and productivity resilience of cherry plum and plum varieties in the dry subtropics of the Southern Dagestan	118
Tedeeva A.A., Mamiev D.M., Tedeeva V.V. Application of biological preparations in the cultivation of winter wheat in the North Ossetia	137
Tropina N.S., Bykova O.A., Ivanchenko N.O. Methods for enhancing the survival rate and development of white cinquefoil in the first year of vegetation in the Krasnodar Territory ...	149
Tyutyuma N.V., Bondarenko A.N., Tyutyuma A.V. Adaptability of winter wheat varieties to soil and climatic conditions of the Astrakhan region	162

Обзорная статья / Review article

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-10-27>

УДК 577.115:663.952.14



Обзор получения биологически активных пептидов из растительного сырья методом микробной ферментации

Д.И. Алексаночкин✉, Г.М. Керимова,
С.А. Кореньков, И.А. Фоменко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»;
г. Москва, Российская Федерация,
✉aleksanochkindi@list.ru

Аннотация. Введение. Биологически активные пептиды (БАП) обладают высокой физиологической активностью и представляют ценность для создания функциональных продуктов питания. Микробная ферментация является щадящей и эффективной альтернативой химическому и ферментативному гидролизам для получения БАП из растительного сырья. **Цель исследования.** Проведение систематического обзора современных данных о получении БАП из высокобелкового растительного сырья методом микробной ферментации для их последующего применения в пищевой промышленности. **Объекты и методы исследования.** Объекты – высокобелковое растительное сырье (злаковые, бобовые, масличные культуры) и протеолитические системы молочнокислых бактерий. Методы заключались в систематическом поиске и анализе научных публикаций (2021–2026 гг.) в базах Web of Science, Scopus, PubMed и eLibrary по профилю микробной ферментации растительных белков. **Результаты и обсуждение.** Проанализированы ресурсы и химический состав перспективных масличных, бобовых и злаковых культур. Детально рассмотрена трехкомпонентная протеолитическая система молочнокислых бактерий (клеточно-оболочечные протеиназы, транспортные системы, внутриклеточные пептидазы), обеспечивающая деструкцию устойчивых глобулярных белков. Систематизированы сведения об идентифицированных пептидах, демонстрирующих антиоксидантную, гипотензивную (ингибирование АПФ) и противовоспалительную активность. Показано, что микробная ферментация не только высвобождает целевые пептиды, но и улучшает органолептические свойства, выступая эффективным технологическим приемом модификации растительного сырья без использования жестких химических реагентов. **Заключение.** Микробная ферментация подтверждена как высокоэффективный метод получения БАП с широким спектром физиологического действия. Результаты обзора обосновывают перспективность использования ферментированных растительных субстратов в качестве функциональных ингредиентов и служат теоретической базой для разработки технологии получения БАП из семян и изолята конопля с целью создания новых альтернативных растительных напитков с заданными функциональными свойствами.

Ключевые слова: растительное сырье, биологически активные пептиды, микробная ферментация, молочнокислые микроорганизмы, пищевая промышленность, белковые ингредиенты

Для цитирования: Алексаночкин Д.И., Керимова Г.М., Кореньков С.А., Фоменко И.А. Обзор получения биологически активных пептидов из растительного сырья методом микробной ферментации. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3):10-27. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-10-27>

Финансирование: исследование проводилось в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» FSMF-2026-0002. Original article

An overview of the production of biologically active peptides from plant materials using microbial fermentation

D.I. Aleksanochkin✉, G.M. Kerimova, S.A. Korenkov, I.A. Fomenko

*Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH);
Moscow, the Russian Federation,
✉aleksanochkindi@list.ru*

Abstract. Introduction. Biologically active peptides (BAPs) possess high physiological activity and are valuable for the creation of functional foods. Microbial fermentation is a gentle and effective alternative to chemical and enzymatic hydrolysis for obtaining BAPs from plant materials. The goal of the research was to review current data on the production of BAPs from high-protein plant materials using microbial fermentation for their subsequent use in the food industry. **The objective.** The objects of the study were high-protein plant raw materials (cereals, legumes, oilseeds) and the proteolytic systems of lactic acid bacteria. The methods included a systematic search and analysis of scientific publications (2021–2026) in the Web of Science, Scopus, PubMed, and eLibrary databases on the profile of microbial fermentation of plant proteins. **The results and discussion.** The resources and chemical composition of promising oilseeds, legumes, and cereals were analyzed. The three-component proteolytic system of lactic acid bacteria (cell-envelope proteinases, transport systems, intracellular peptidases), which ensured the destruction of stable globular proteins, was considered in detail. Information on the identified peptides demonstrating antioxidant, hypotensive (ACE inhibition), and anti-inflammatory activities was systematized. Microbial fermentation was shown not only to release target peptides but also to improve organoleptic properties, serving as an effective technological method for modifying plant materials without the use of harsh chemical reagents. **Conclusion.** Microbial fermentation was confirmed to be a highly effective method for producing bioactive pharmaceutical ingredients with a broad spectrum of physiological effects. The review results substantiated the potential of using fermented plant substrates as functional ingredients and served as a theoretical basis for developing a technology for producing bioactive pharmaceutical ingredients from hemp seeds and isolates to create new alternative plant-based beverages with targeted functional properties.

Keywords: plant materials, biologically active peptides, microbial fermentation, lactic acid microorganisms, food industry, protein ingredients

For citation: Aleksanochkin D.I., Kerimova G.M., Korenkov S.A., Fomenko I.A. An overview of the production of biologically active peptides from plant materials using microbial fermentation. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):10-27. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-10-27>

Funding: The research was conducted within the state assignment FSMF-2026-0002 of ROSBIOTEKH. Original article

Введение. Биологически активные пептиды (БАП) – это органические соединения, образующиеся в процессе расщепления белков, они обладают низкой молекулярной массой, легко перевариваются и усваиваются организмом человека [1]. БАП проявляют высокую физиологическую активность, которая определяется их специфической аминокислотной последовательностью. Механизм их действия часто связан с

ингибированием белков-мишеней/рецепторов (например, ангиотензинпревращающего фермента, дипептидилпептидазы-4, ренина, альфа-глюкозидазы и др.). Также БАП способны проявлять антиоксидантные, иммуномодулирующие, антимикробные, противоопухолевые, противотуберкулезные свойства [2-3]. Высокая биодоступность пептидов обусловлена способностью всасываться через кишечник и попадать в

кровеносную систему без разрушения аминокислотных цепей [4]. Это делает их ценными ингредиентами для функциональных пищевых продуктов и фармацевтических препаратов с направленным физиологическим действием.

Наиболее распространенными методами получения пептидов являются химический и ферментативный гидролиз белка, а также микробная ферментация. Химический протеолиз подразделяется на кислотный и щелочной гидролиз, проводимые при высокой температуре в течение длительного времени. Данный подход характеризуется низкой воспроизводимостью и сложностью контроля, что часто приводит к модификации аминокислотных последовательностей пептидов. Кроме того, кислотный гидролиз способен вызывать деградацию молекул триптофана, тогда как щелочная обработка приводит к разрушению цистина, аргинина, треонина, серина, изолейцина и лизина с образованием таких специфических остатков, как лизиноаланин и лантионин [5].

Ферментативный гидролиз проводится в более щадящих условиях. В данном подходе могут использоваться ферментные препараты (ФП) животного, растительного и микробного происхождения, путем подбор для каждого из них оптимальных значений pH и температур. Данный метод позволяет контролировать степень гидролиза белка, которая напрямую зависит от субстратной специфичности (аминокислотного состава, последовательности, длины цепи, гидрофобности и суммарного заряда субстрата) [2]. В связи с этим ключевым этапом оптимизации процесса гидролиза является подбор протеазы с необходимой эндо- и экзопептидазной специфичностью [6]. Так, применение Alcalase 2,4 L, папаина, бромелаина и Flavourzyme 1000 L для расщепления соевого белка приводило к высвобождению пептидов с высокой ингибирующей активностью в отношении ангиотензинпревращающего фермента [7].

Кроме того, в исследовании Osman A. и соавт. при гидролизе белка нута ФП Alcalase 2.4 L были идентифицированы пептиды, обладающие антиоксидантной и антибактериальной активностью [8].

Микробная ферментация также относится к щадящим методам получения БАП. Многие культуры микроорганизмов обладают высоким протеолитическим потенциалом, что позволяет расщеплять молочный, животный и растительный белок до пептидов различной молекулярной массы. Примерами таких протеолитических систем являются лактобактерии (*Lactobacillales*), в частности, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus helveticus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* [9, 2]. Так, при ферментации соевого молока штаммы *Lactobacillus* продемонстрировали высокую протеолитическую и АПФ-ингибирующую активность [10]. Протеолиз белка нута с использованием *L. bulgaricus* способствует высвобождению пептидов, обладающих ингибирующей активностью в отношении АПФ и альфа-глюкозидазы, антиоксидантными, антитромботическими и нейропептидными свойствами [11]. На рисунке 1 представлена инфографика методов получения БАП с использованием химического, ферментативного и микробного гидролиза.

Цель данной работы заключается в обзоре получения БАП с использованием технологии микробной ферментации растительного сырья для последующего применения в пищевой промышленности.

Объекты и методы исследований. Осуществлялся поиск научной литературы, по ключевым словам: *microbial fermentation*, *high-protein plant raw materials*, *lactic acid microorganisms*, *peptides from plant raw materials* и др. Поиск осуществлялся в международных библиографических базах (Web of Science, Scopus, PubMed) и через академические поисковые системы (Google Scholar, eLibrary). На первом этапе по названию и аннотациям отобрано более 100 публикаций.

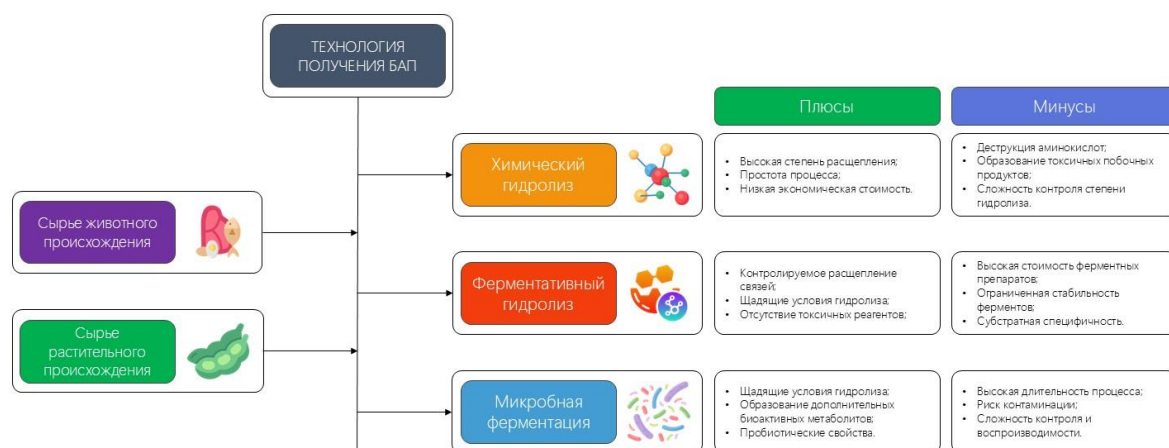


Рис. 1. Методы получения биоактивных пептидов

Fig. 1. Methods for obtaining bioactive peptides

Критерии включения:

- публикации, выпущенные в период 2021-2026 гг., за исключением наиболее значимых работ;
- публикации на русском и английском языках;
- оригинальные исследовательские научные статьи или обзорные статьи, индексируемой в крупнейших научных базах данных (Scopus, Web of Science и т.д.).

Критерии исключения:

- публикации, вышедшие ранее 2005 г.;
- публикации на других языках;
- публикации, не соответствующие тематике настоящего обзора.

Высокобелковое растительное сырье

Растительное сырье является одним из самых перспективных сырьевых ресурсов для получения гидролизатов и БАП. В качестве субстрата могут выступать как семена, так жмыхи и шроты (отходы масло-жировой промышленности) [12]. Растительные белки, в отличие от животных аналогов, не содержат холестерина и насыщенных жиров. Использование отходов производства для получения белка дополнительно снижает экологическую нагрузку и себестоимость конечных продуктов [13]. Злаковые, бобовые и масличные являются основными источниками пептидов растительного происхождения за счет высокого

содержания белка и относительно сбалансированного аминокислотного состава (за исключением лимитирующего содержания лизина). Особое внимание в вопросе получения растительных белков представляют такие культуры, как подсолнечник, соя, рапс, конопля, горох, нут, амарант, кунжут, овес и т.д. Эти культуры отличаются относительной простотой в возделывании и универсальностью применения (в пищевой, текстильной, целлюлозно-бумажной промышленности и сельском хозяйстве), что способствует расширению посевных площадей и росту рынка товаров [14].

Зерновые культуры (рис, пшеница, овес, ячмень и др.) широко применяются в качестве источников растительного белка. Особую пищевую и технологическую ценность представляет овсяный белок. Общее содержание белка в зернах овса варьируется в пределах 12-24%, в его составе преобладают глобулины и альбумины. На долю глобулинов приходится 70-80% от общего количества белка, что обуславливает высокую растворимость и функциональную активность данного сырья. Однако, в отличие от бобовых культур, где лизин присутствует в избытке, в составе злаковых белков он является лимитирующей аминокислотой [15].

Бобовые культуры (горох, нут, соя) являются экономически доступными источ-

никами полноценного белка. Данные культуры характеризуются высоким содержанием лизина и богатым аминокислотным профилем. В семенах гороха преобладают два класса запасных глобулинов: вицилин и легумин. Нут отличается высокой биодоступностью незаменимых аминокислот и низким содержанием антипитательных факторов. Соевые бобы содержат около 36% белка, 15% углеводов (растворимых и нерастворимых) и 18% липидов. Благодаря уникальному биохимическому составу бобовые представляют значительную пищевую и технологическую ценность [16].

Масличные культуры представляют собой растительное сырье с богатым липидным и белковым составом. Наиболее распространенными масличными культурами являются подсолнечник, рапс, кунжут, лен, хлопок и промышленная конопля. Кроме того, побочные продукты переработки масличных культур являются универсальными источниками макронутриентов [17]. Рапс – одна из масличных культур с самым высоким содержанием белка в количестве 25-30%. Основными фракциями белка рапса являются глобулины (70% от общего содержания) и альбумин. Глобулины рапса представлены крцеферином, а альбумины – напином. Помимо двух резервных белков в составе рапса присутствует олеозин – структурный белок, ассоциированный с липидными соединениями [18]. Цельные се-

мена подсолнечника содержат от 10 до 27 % белка. Основной белок подсолнечника представлен гелиантинином (11S глобулин) и олигомерным белком, имеющим структуру, схожую с бобовыми. Он состоит из субъединиц, включающих альфа- (крупные) и бета-дисульфидных (малые) полипептидные цепи. За исключением лизина, состав аминокислот белков подсолнечника соответствует критериям ФАО ВОЗ и характеризуется большим содержанием серосодержащих аминокислот (метионин и цистеин) [19]. Семена промышленной конопли содержат около 25% белка, 35% масла и высокий уровень антиоксидантов. Основным белком ядра конопли является эдестин, который составляет около 70% от общего белка. Эдестин представляет собой гексамер из идентичных субъединиц и относится к семейству глобулинов. Каждая субъединица состоит из кислой (34 кДа) и основной (18-20 кДа) полипептидных цепочек. Вторым по значимости белком конопли выступает альбумин, содержащий меньше дисульфидных связей по сравнению с эдестином, поэтому обладает гибкой структурой с большей растворимостью белка [20]. На рисунке 2 представлен анализ химического состава высокобелкового растительного сырья, перспективного для использования в пищевой промышленности с целью получения БАП (приведены средние значения по диапазонам содержания).

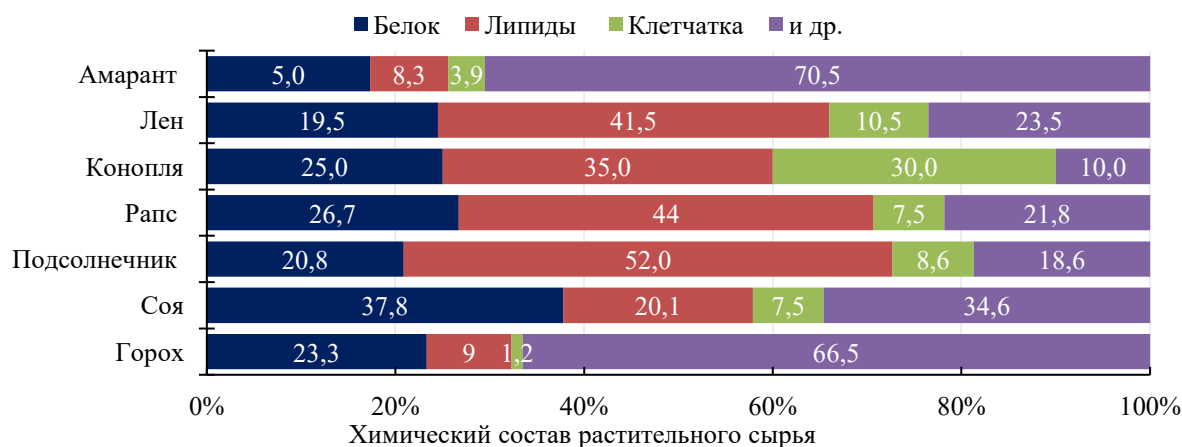


Рис. 2 Химический состав растительного сырья [21, 24-25]

Fig. 2 Chemical composition of plant materials [21, 24-25]

Структура посевных площадей сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в период 2014-2023 годов оставалась неизменной. Доминирующей группой являются зерновые и зернобобовые культуры (около 60% от общей площади посевов) [22]. По данным РОССТАТ в 2025 году посевные площади составляют 80506,0 тыс. Га, из них зерновые и зернобобовые составляют 57,3%, а масличные культуры – 23,6% (рис. 3).

Таким образом, масличные культуры представляют собой стратегически важный ресурс для обеспечения продовольственной безопасности страны и развития высокотехнологичных производств в области переработки растительного сырья в белковые ингредиенты.

Идентифицированные пептиды, полученные микробной ферментацией

Механизм ферментации аналогичен механизму ферментативного гидролиза, однако в данном случае расщепление белков происходит за счет жизнедеятельности микроорганизмов и секретируемых ими протеаз. Выбор штамма-продуцента и уровень его протеолитической активности

определяют эффективность высвобождения целевых биологически активных пептидов. В настоящее время для получения гидролизатов белка чаще всего применяются молочнокислые бактерии (преимущественно виды рода *Lactobacillus*).

Так, в работе Jakubczyk А. и соавт. описан процесс получения пептидов из белка фасоли в процессе микробной ферментации *Lactobacillus plantarum*. После 12 ч замачивания очищенные от оболочки семена бобов измельчали и ферментировали с *L. plantarum* 299v. Через 3 ч после сквашивания сырья высвобождалась низкомолекулярная фракция пептидов с молекулярной массой от 3,5 до 7,0 кДа. После 72 ч ферментации с помощью LC-MS/MS были идентифицированы пептиды INEGSLLLPH, FVVAEQAGNEEGFE, SGSGGGGGVAGAATASR, GSOGGGGGGGFGGPRR, GGYQGGGYGGNSGGGYGNRG, GGSOGGGGGSSGRRP и GDTVTVFEFDTFLSR, обладающие ингибирующей активностью в отношении АПФ и ДПП4 [30].

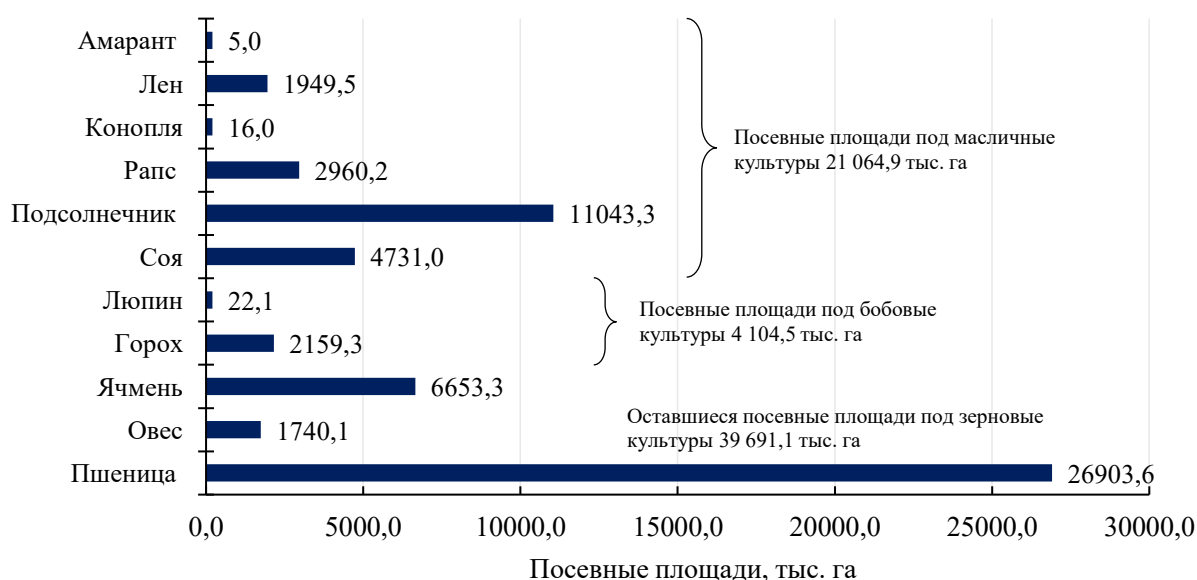


Рис. 3 Анализ посевных площадей высокобелкового растительного сырья за 2025 г. по данным РОССТАТ [23]

Fig. 3 Analysis of areas under high-protein plant materials for 2025 according to ROSSTAT data [23]

Также с помощью микробной ферментации получали пептиды из рапсового шрота. Для этого использовали штамм *Bacillus subtilis*, процесс проводили 72 ч, в результате образовались фракции пептидов с молекулярной массой в диапазоне 180-5500 Да. Данный гидролизат обладал ингибирующей активностью в отношении DPPH-радикала (достигая 80% при концентрации 350 мкг/мл) и восстанавливающей активностью по методу FRAP (80% при концентрации 25 мг/мл) [31].

Уникальные антиоксидантные пептиды (PFGAGRRICAGLSLGLQMVQLLT, HFDSEVVFF, LFGDKPVTIF, MLHIPVSVSTPGKF и VVDMNEGALFLPH) были идентифицированы в ферментированном соевом шроте с помощью LC-MS/MS. Процесс ферментации проводили с использованием *B. subtilis* KN36D, который продемонстрировал наибольшее разнообразие пептидов (1837 последовательностей). Данные пептиды обладали высокой антиоксидантной активностью, определенной методом молекулярного докинга (*in silico*) [32]. В исследовании Liu D. и соавт. описан процесс получения пептидов из соевого шрота путем твердофазной ферментации с использованием *Bacillus subtilis* SBM-1 в течение 12 ч. Выход пептидов в процессе сквашивания увеличился до 220,93 мг/г, что соответствовало 47,74% степени гидролиза белка. Протеолиз способствовал улучшению структурных характеристик ферментированного соевого шрота, включая деградацию соевого глобулина и аллергенных белков [33].

Известно исследование, в котором высушенные и измельченные семена томатов были ферментированы при помощи *B. subtilis* A14h. Ферментацию проводили в условиях глубинного культивирования в течение 24 ч, после чего проводили центрифугирование, а надосадочную жидкость лиофилизировали. Гидролизат фракционировали и идентифицировали пептиды методом tandemной масс-спектрометрии. Было

идентифицировано 13 пептидов, антиоксидантные и антигипертензивные свойства которых изучались отдельно. Особого внимания исследователей заслужили пептид GQVPP, поглощающий 97% радикалов DPPH при 0,4 мМ, и пептид DGVVYY, обладающий ингибирующей активностью в отношении АПФ ($IC_{50} = 2$ мкМ [34].

Известен способ получения ферментированной суспензии семян конопли с использованием штамма *L. plantarum*. В процессе ферментации были идентифицированы пептиды AAELIGVP, AAVPYRQ, VFPEVAR, DVIGVPLG и PVPKVL, обладающие биологической активностью. Так, данный ферментированный продукт проявлял ингибирующее воздействие на цитокины, включая TNF- α (фактора некроза опухолей), IL-1 β (интерлейкина-1 β) и IL-10 (интерлейкин-10). Антиоксидантные и противовоспалительные свойства данных пептидов были подтверждены с использованием базы данных "BioPer-UWM" [35]. В работе Feng X. и соавт. доказана биологическая активность пептидов белка конопли, полученных твердофазной ферментацией с использованием *Aspergillus niger*, *B. subtilis* и *Lactobacillus rhamnosus*. *In silico* прогнозирование и молекулярный докинг выявили ингибирующую активность в отношении АПФ и ДПП4, а также антиоксидантные свойства. Полученные пептиды (LDVSP и LVSP) демонстрировали высокое ингибирование АПФ, при этом значения IC_{50} составляли $107,47 \pm 6,57$ и $127,06 \pm 12,11$ мкМ соответственно, а LVSP также ингибировал ДПП4 ($IC_{50} = 2,21 \pm 0,04$ мМ). Ферментация *B. subtilis* дала наиболее высокую антиоксидантную и ингибиторную активность АПФ, тогда как *A. niger* показал наивысшую ингибиторную активность в отношении ДПП4 [36].

Известно исследование, в котором в пасте из ферментированных бобов мунг идентифицированы антиоксидантные пептиды (VSRRFIYYL, SPAIPLP, PVPPPPGG, KKDGYYWAKFK, LAWY, LGFMQF и LPGCP). Данные аминокислотные последо-

вательности изучены методом молекулярного докинга. Было показано, что они могут образовывать стабильные связи с ключевыми аминокислотными остатками белка Keap1, тем самым потенциально модулируя сигнальный путь Keap1-Nrf2, отвечающий за антиоксидантную защиту организма. Кроме того, пептиды обладали высокой клеточной антиоксидантной активностью и защищали клетки HepG2 от окислительного

повреждения, вызванного алкилирующими агентами за счет снижения активности активных форм кислорода и накопления малонового диальдегида. Наибольший эффект имели пептиды LAWY, LPGCP и VSRRFIYYL [37].

В таблице 1 представлена информация о полученных пептидах из растительного сырья в процессе ферментации молочно-кислыми микроорганизмами.

Таблица 1. Биологически активные пептиды, полученные в процессе микробной ферментации растительного сырья

Table 1. Biologically active peptides obtained during microbial fermentation of plant materials

Растительное сырье	Микроорганизм	Пептиды	Биологическая активность	Ссылка
Соя <i>Glycine max</i>	<i>B. subtilis</i> KN36D	PFGAGRRICAGLSLGLQMVQLLT, HFDSEVVFF, LFGDKPVTIF, MLHIPVSVSTPGKF и VVDMNEGALFLPH	Антиоксидантные свойства	[32]
Папс <i>Brassica napus</i>	<i>B. subtilis</i> YY-112	Пептиды с фракцией 180-5500 Да	Антиоксидантные свойства	[31]
Кунжут <i>Sesamum indicum</i>	<i>L. plantarum</i> NCU116	ALIPSF, ALIPSF, LAPDAPLAP, AYHNAPIL, VAGPFRTF, ITAPHW	Антиоксидантные свойства, ингибирование АПФ	[39]
Конопля <i>Cannabis sativa</i> L.	<i>L. plantarum</i>	AAELIGVP, AAVPYPQ, VFPEVAP, DVIGVPLG, PVPKVL	Антиоксидантные и противовоспалительные свойства	[35]
	<i>A. niger</i> , <i>B. subtilis</i> и <i>L. rhamnosus</i>	SGFDTRL, DLVSP, DDRNSLLR, LDVSP, GVADW, LFNP, GNLF, LVSP	Антиоксидантные свойства, ингибирование АПФ и ДПП4	[36]
Нут <i>Cicer arietinum</i>	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Пептиды с фракцией от 3 до 10 кДа	Ингибирование альфа-гликозидазы	[40]
	<i>Cordyceps militaris</i> SN-18	—	Антиоксидантные свойства	[1]
Подсолнечник <i>Helianthus annuus</i>	<i>L. lactis</i> B12	DVAMPVPK, VETGVKPG, TTHTNPPEAE, LTHPQQQQQQGPSTG и PADVTPEEKPEEV,	Антиоксидантные и противовоспалительные свойства	[41]
Фасоль <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	<i>L. plantarum</i> 299v	INEGSLLLPH, FVVAEQAGNEEGFE, SGGGGGGVAGAATASR, GSGGGGGGFGGPRR, INEGSLLLPH, GGYQGGGYGGNSGGGYGNRG, GSGGGGGSSGRRP и GDTVTFEFDTLR	Ингибирование АПФ и ДПП4	[30]
Фасоль <i>Vicia faba</i> L.	Спонтанная ферментация	VSRRFIYYL, SPAIPLP, PVPPPPGG, KKDGYWWAKFK, LAWY, LGFMQF и LPGCP	Антиоксидантные свойства	[37]
Брокколи <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	<i>L. plantarum</i> A3 и <i>L. rhamnosus</i> ATCC7469	SIWYGPDPR, GDRW, ADLAHLPF, ADLAHLPF, FGDFNPGGRL, CKVWPPLH, KASFAFAGL и RFR	Противовоспалительные свойства	[38]

Согласно литературным данным, большинство изученных пептидов обладают

антиоксидантными свойствами, при этом ингибиторы АПФ, ДПП4 и альфа-гликози-

дазы встречались в меньшем количестве. Это свидетельствует о том, что ферментация растительного сырья молочнокислыми бактериями и другими микроорганизмами является эффективным методом получения биоактивных пептидов с широким спектром физиологического действия. Количество исследований по данной тематике ограничено, что открывает перспективы для фундаментальных работ, направленных на получения БАВ микробной ферментацией.

Протеолитическая система молочнокислых бактерий

В процессе ферментации микроорганизмы (в частности, бактерии) культивируют на белковом субстрате. За счет действия их эндогенных ферментов происходит гидролиз белков с образованием коротких пептидов и свободных аминокислот. Эффективность ферментации растительного сырья зависит от выбора штамма-продуцента, температуры культивирования и pH среды. Глобулярные растительные белки обладают плотной третичной и четвертичной структурой, что делает их устойчивыми к действию многих эндогенных ферментов [43].

Современные исследования протеолитических систем молочнокислых бактерий (МКБ) характеризуются присутствием в их геномах предполагаемых протеолитических ферментов (около 40) на каждый вид, однако функциональная роль большинства из них до сих пор не известна [44]. Однако именно протеолитическая система является одним из основных факторов, определяющих эффективность МКБ в процессах ферментации пищевых продуктов [45].

Большинство представителей данной группы бактерий являются ауксотрофными. Они не способны синтезировать некоторые аминокислоты (валин, гистидин, метионин, глутаминовую кислоту, глицин, лейцин, изолейцин). В результате для обеспечения метаболических потребностей им необходимо утилизировать экзогенные белки, используя собственную протеолитическую систему [44, 46].

Примером служит *Lactobacillus helveticus*; при секвенировании штамма DPC 4571 было установлено отсутствие генов, кодирующих биосинтез 16 аминокислот. Аналогичные данные были для *L. acidophilus* и *L. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, тогда как *L. plantarum* WCFS1 способен синтезировать практически все аминокислоты, за исключением валина, лейцина и изолейцина. Таким образом, рост *L. helveticus* в молоке зависит от наличия сложной протеолитической системы, обеспечивающей гидролиз казеинов молока, которые составляют около 80 % всех белков коровьего молока [47].

В литературе протеолитическая система МКБ традиционно описывается как трехкомпонентная модель, включающая:

- клеточно-оболочечные протеиназы (Cell-Envelope Proteinases, CEPs) – крупные сериновые протеазы подсемейства S8A (субтилизин-подобные), осуществляющие первичное расщепление нативных белков до олигопептидов;
- транспортные системы – мембранные переносчики, обеспечивающие импорт олигопептидов и коротких пептидов внутрь бактериальной клетки;
- внутриклеточные пептидазы – ферменты, катализирующие дальнейший гидролиз пептидов до свободных аминокислот и ди-/трипептидов, доступных для метаболизма [45, 47, 48].

Большинство молочнокислых бактерий обладают, как правило, одним типом CEP протеиназы. На сегодняшний день идентифицировано шесть основных типов: (a) PrtP – охарактеризованный у *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*, *L. lactis* subsp. *cremoris* и *L. lactis* subsp. *lactis*; (b) PrtB, обнаруженный у *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*; (c) PrtH, обнаруженный у *L. helveticus*; (d) PrtS, обнаруженный у *Streptococcus thermophilus*; (e) PrtR от *L. rhamnosus*; и (f) PrtL, обнаруженный у *L. delbrueckii* subsp. *lactis* [44, 47, 49]. Кроме них наличие CEP отмечено у штаммов *L. acidophilus*, *L. casei* и *L. plantarum* [49-50].

Гены СЕР демонстрируют разную хромосомную или плазмидную локализацию. Например, PrtP и PrtM у штамма *L. lactis* SK11 локализованы на плазмиде pSK111 (участок 10 т.п.н.), которая может интегрироваться в хромосому, а у большинства лактобацилл гены СЕР закреплены в геноме [51, 52].

Наличие и уровень экспрессии СЕР могут значительно различаться между видами и даже штаммами. У *S. thermophilus* частота встречаемости PrtS разная: по одним данным – лишь у 3 из 97 штаммов, по другим – у 35 из 47 промышленных культур, тогда как масштабный анализ 135 штаммов показал наличие гена у 21 изолята [53-54]. Кроме того, при оценке протеолитической активности необходимо принимать во внимание, что в ряде случаев она может быть обусловлена не СЕР, а внутриклеточными протеазами, попадающими в среду в результате лизиса клеток [45, 55].

Экспрессия СЕР может зависеть от условий окружающей среды, особенно когда соответствующий штамм выращивается в средах, богатых белками или пептидами, как это наблюдается у *L. helveticus* CRL 1062. Ген prtH2 присутствует во всех 29 проанализированных штаммах, тогда как prtH обнаружен только у 18 [44]. В отличие от этого, prtR у *L. rhamnosus* встречается повсеместно (20 из 20 штаммов).

Большинство СЕР сохраняют активность в слабокислой и нейтральной среде с оптимальным диапазоном pH от 5,5 до 7,0. Однако некоторые ферменты, например, из *L. delbrueckii* CRL 581, *L. helveticus* CNRZ303 и *S. thermophilus* CNRZ 385 проявляют активность в слабощелочной зоне (pH 7,0-8,0). При этом оптимум pH может сдвигаться в зависимости от природы гидролизуемого белка-субстрата [50].

Применение пептидов в пищевой промышленности

В ходе жизнедеятельности микроорганизмов образуются аминокислоты, органические кислоты, короткоцепочечные жирные кислоты и биоактивные пептиды.

Именно эти соединения определяют функциональные свойства ферментированных продуктов, их потенциальную биологическую активность и органолептические свойства [26]. Данный способ получения биоактивных пептидов позволяет снизить затраты на этапы выделения и обеспечивает высокую степень чистоты получаемого вещества. Пищевые продукты, такие как йогурт, сыр, кефир, квашенные овощи и ферментированные соевые продукты, например, темпе, тофу и т.д., содержат БАП, накапливающиеся в процессе ферментации. Водорастворимые пептиды, извлеченные из сыра чеддер, а также буйволиного и коровьего молока, обладают антиоксидантной активностью и могут защищать ткани кишечника человека от окислительного повреждения [27].

Гидролизаты и БАП, используемые в составе пищевых продуктов, получают главным образом с помощью ферментативного гидролиза. Микробная ферментация отличается высокой специфичностью, поэтому в пищевой промышленности она применяется не в качестве ингредиента, а как технологический процесс, позволяющий модифицировать свойства готового продукта.

Гидролизаты соевого белка применяли в приготовлении мучных кондитерских изделий. В результате содержание незаменимых аминокислот в продукте увеличилось на 9,8%. Кроме того, гидролизат проявлял значительную антиоксидантную активность, в том числе в тесте ABTS и по способности хелатировать ионы железа [42]. Гидролизат белка красной фасоли добавляли в натуральный йогурт в концентрации 3 г/л. За три дня хранения при комнатной температуре образование продуктов окисления снизилось на 45,8% по сравнению с контрольным образцом. Это позволяет рассматривать такой гидролизат как антиоксидантный функциональный ингредиент для кисломолочных молочных продуктов [28]. В работе Ozón B. и соавт. пшеничный хлеб обогащали гидролизатом семян чиа в кон-

центрации до 10 мг/г муки. Авторы рассматривали данный подход как способ переработки отходов масличного производства и создания функционального продукта с растительными биоактивными пептидами. Полученный гидролизат обладал антиоксидантной активностью (ингибирование на $55,8 \pm 0,4\%$) после 6 ч инкубации при 25 °C [29].

Следует отметить, что пептиды, полученные микробной ферментацией, демонстрируют широкий спектр биологической активности, включая антимикробную, антиоксидантную, гипотензивную и иммуномодулирующую активности. Дополнительным преимуществом ферментированных продуктов является их характерные вкусоароматические и пробиотические свойства, что отличает их от гидролизатов, полученных ферментативным или химическим гидролизом [9].

Заключение. По результатам работы был проанализирован обзор литературных данных по получению биологически активных пептидов из высокобелкового расти-

тельного сырья методом микробной ферментации. В процессе работы были изучены уже идентифицированные пептиды, обладающие биологической активностью, а также протеолитические системы молочнокислых микроорганизмов, способствующих деструкции белка. Данный обзор является частью проекта по получению БАП в процессе микробной ферментации изолята белка и семян конопли. Для получения пептидов планируется: 1) провести скрининг МКБ на белковом изоляте и суспензии семян конопли; 2) подобрать оптимальную концентрацию изолята конопли в молочной основе; 3) разработать технологию получения растительной суспензии из семян конопли; 4) определить протеолитическую активность МКБ; 5) идентифицировать аминокислотные последовательности и оценить их биологическую активность с использованием методов *in silico* и *in vitro*. Планируемый в рамках проекта продукт станет альтернативой уже имеющимся растительным напиткам с высокой биологической активностью.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fermentation affects the antioxidant activity of plant-based food material through the release and production of bioactive components / Zhao Y.-S. [et al.] // *Antioxidants*. 2021. Vol. 10, No 12, Art. 2004. DOI: 10.3390/antiox10122004.
2. Bioactive peptides: synthesis, sources, applications, and proposed mechanisms of action / Akbarian M. [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, No. 3. Art. 1445. DOI: 10.3390/ijms23031445.
3. Review on plant-derived bioactive peptides: biological activities, mechanism of action and utilizations in food development / Fan H. [et al.] // *Journal of Future Foods*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 143-159. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.03.003.
4. Hong, H., Wu, J., Yan, X. Bioavailability of bioactive peptides derived from food proteins across the intestinal epithelial membrane: a review / Xu Q. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 86. P. 399-411. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.02.050.
5. Tavano O.L. Protein hydrolysis using proteases: an important tool for food biotechnology // *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 2013. Vol. 90. P. 1-11. DOI: 10.1016/j.molcatb.2013.01.011.
6. Mora L., Toldrá F. Advanced enzymatic hydrolysis of food proteins for the production of bioactive peptides // *Current Opinion in Food Science*. 2023. Vol. 49. Art. 100973. DOI: 10.1016/j.cofs.2022.100973.

7. High angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity of Alcalase-digested green soybean (*Glycine max*) hydrolysates / Hanafi M.A. [et al.] // *Food Research International*. 2018. Vol. 106. P. 589-597. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.01.030.
8. Antibacterial peptides produced by Alcalase from cowpea seed proteins / Osman A. [et al.] // *Antibiotics*. 2021. Vol. 10, No. 7. Art. 870. DOI: 10.3390/antibiotics10070870.
9. Research progress on fermentation-produced plant-derived bioactive peptides / Zhao L. [et al.] // *Frontiers in Pharmacology*. 2024. Vol. 15. Art. 1438947. DOI: 10.3389/fphar.2024.1438947.
10. Bioactivities and ACE-inhibitory peptides releasing potential of lactic acid bacteria in fermented soy milk / Undhad Trupti J. [et al.] // *Food Production, Processing and Nutrition*. 2021. Vol. 3, No. 1. Art. 10. DOI: 10.1186/s43014-021-00056-y.
11. Investigating structure, biological activity, peptide composition and emulsifying properties of pea protein hydrolysates obtained by cell envelope proteinase from *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* / Zhang X. [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. Vol. 24. Art. 125375. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125375.
12. Красноштанова А.А., Шульц Л.В. Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья // *Химия растительного сырья*. 2022. № 4. С. 299-309. DOI: 10.14258/jcpim.20220410952.
13. The rise of processed meat alternatives: a narrative review of the manufacturing, composition, nutritional profile and health effects of newer sources of protein, and their place in healthier diets / Gastaldello A. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 127. P. 263-271. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.07.005.
14. Biopeptides from vegetable proteins: new scientific evidences / Montesano D. [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. 2020. Vol. 31. P. 31-37. DOI: 10.1016/j.cofs.2019.10.008.
15. Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition / Mäkinen O.E. [et al.] // *Sustainable Protein Sources*. Academic Press. 2024. P. 121-141. DOI: 10.1016/B978-0-323-91652-3.00006-X.
16. Chandran A.S., Suri S., Choudhary P. Sustainable plant protein: an up-to-date overview of sources, extraction techniques and utilization // *Sustainable Food Technology*. 2023. Vol. 1, No. 4. P. 466-483. DOI: 10.1039/D3FB00003F.
17. Oilseed proteins: properties and application as a food ingredient / Kotecka-Majchrzak K. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 106. P. 160-170. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.10.004.
18. Rodrigues I.M., Coelho J.F., Carvalho M.G.V. Isolation and valorisation of vegetable proteins from oilseed plants: methods, limitations and potential // *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 109, No. 3. P. 337-346. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.027.
19. Kaur R., Ghoshal G. Sunflower protein isolates: composition, extraction and functional properties // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2022. Vol. 306. Art. 102725. DOI: 10.1016/j.cis.2022.102725.
20. Yano H., Fu W. Hemp: a sustainable plant with high industrial value in food processing // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 3, Art. 651. DOI: 10.3390/foods12030651.
21. Oilseeds beyond oil: press cakes and meals supplying global protein requirements / Arrutia F. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 100. P. 88-102. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.03.044.
22. Антонов Е. В. Посевные площади в России в 2014-2023 гг.: структура и факторы динамики // *Региональные исследования*. 2025. № 1 (87). С. 29-51. DOI: 10.5922/1994-5280-2025-1-3.
23. Сельское хозяйство в России. 2025: статистический сборник [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. URL: [https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226] (https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226) (дата обращения: 31.05.2026).
24. Amaranth seed oil composition / Nasirpour-Tabrizi P. [et al.] // *Nutritional Value of Amaranth*. London: IntechOpen, 2020. P. 131-164. DOI: 10.5772/intechopen.91381.
25. Production of plant protein from seeds and cake of industrial hemp: overview of processing methods for food industry / Aleksanochkin D.I. [et al.] // *Food Systems*. 2024. Vol. 7, No. 2. P. 188-197. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197.

26. Bioactive peptides from fermented foods: production approaches, sources, and potential health benefits / Peres Fabbri L. [et al.] // *Foods*. 2024. Vol. 13, No. 21. Art. 3369. DOI: 10.3390/foods13213369.
27. Guo Q., Chen P., Chen X. Bioactive peptides derived from fermented foods: preparation and biological activities // *Journal of Functional Foods*. 2023. Vol. 101. Art. 105422. DOI: 10.1016/j.jff.2023.105422.
28. Sarker A., Chakraborty S., Roy M. Dark red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates inhibit the growth of oxidizing substances in plain yogurt // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2020. Vol. 2. Art. 100062. DOI: 10.1016/j.jafr.2020.100062.
29. Development of fortified breads enriched with plant-based bioactive peptides derived from the chia (*Salvia hispanica* L.) expeller / Ozón B. [et al.] // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 18. Art. 3382. DOI: 10.3390/foods12183382.
30. Identification of potential inhibitory peptides of enzymes involved in the metabolic syndrome obtained by simulated gastrointestinal digestion of fermented bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds / Jakubczyk A. [et al.] // *Food Research International*. 2017. Vol. 100. P. 489-496. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.07.046.
31. Antioxidant activities of rapeseed peptides produced by solid state fermentation / He R. [et al.] // *Food Research International*. 2012. Vol. 49, No. 1. P. 432-438. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.08.023.
32. Production and characterization of bioactive peptides in fermented soybean meal produced using proteolytic *Bacillus* species isolated from kinema / Kumari R. [et al.] // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 421. Art. 136130. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136130.
33. Peptide production through enhanced solid-state fermentation of soybean meal with *Bacillus subtilis* SBM_1: fermentation process and product characteristics / Liu D. [et al.] // *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 219. Art. 119184. DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.119184.
34. Peptidomic analysis of antioxidant and ACE-inhibitory peptides obtained from tomato waste proteins fermented using *Bacillus subtilis* / Moayed A. [et al.] // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 250. P. 180-187. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.01.033.
35. Biopeptide-rich fermented hemp seeds: boosting anti-inflammatory and immune responses through *Lactiplantibacillus plantarum* probiotic fermentation / Shan L [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 290. Art. 138782. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.138782.
36. Peptidomics reveals enhanced bioactivities of hempseed cake induced by solid-state fermentation / Feng X. [et al.] // *Food Chemistry*. 2026. Art. 149243. DOI: 10.1016/j.foodchem.2026.149243.
37. Identification and molecular mechanisms of novel antioxidant peptides from fermented broad bean paste: a combined in silico and in vitro study / Lin H. [et al.] // *Food Chemistry*. 2024. Vol. 450. Art. 139297. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.139297.
38. Identification and virtual screening of novel anti-inflammatory peptides from broccoli fermented by *Lactobacillus* strains / Li Y. [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. 2023. Vol. 9. Art. 1118900. DOI: 10.3389/fnut.2022.1118900.
39. Effects of fermentation with *Lactiplantibacillus plantarum* NCU116 on the antihypertensive activity and protein structure of black sesame seed / Du T. [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 262. Art. 129811. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129811.
40. Study on preparation of chickpea peptide and its effect on blood glucose / Ma X. [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Art. 988628. DOI: 10.3389/fnut.2022.988628.
41. Fermented blend from sunflower seed press-cake and bovine sweet whey: protein breakdown during in vitro gastrointestinal digestion / Mendo S. [et al.] // *Food Chemistry: X*. 2024. Vol. 23. Art. 101745. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101745.
42. Impact of different enzymatic processes on antioxidant, nutritional and functional properties of soy protein hydrolysates incorporated into novel cookies / Knežević-Jugović Z. [et al.] // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 1. Art. 24. DOI: 10.3390/foods12010024.
43. Bioactive peptides / Daliri E.B.-M. [et al.] // *Foods*. 2017. Vol. 6, No. 5. Art. 32. DOI: 10.3390/foods6050032.
44. Juillard V., Lopez-Kleine L., Monnet V. Proteolytic systems of lactic acid bacteria (LAB) // *Reference Module in Food Science*. Amsterdam: Elsevier, 2021.

45. Ma, J., Xu, M., Agyei, D. Cell-envelope proteinases from lactic acid bacteria: biochemical features and biotechnological applications / Ji D. [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. Vol. 20, No. 1. P. 369-400. DOI: 10.1111/1541-4337.12676.
46. Comparative genomics of the lactic acid bacteria / Makarova K. [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2006. Vol. 103, No. 42. P. 15611-15616. DOI: 10.1073/pnas.0607117103.
47. Original features of cell-envelope proteinases of *Lactobacillus helveticus*: a review / Sadat-Mekmene L. [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. 2011. Vol. 146, No. 1. P. 1-13. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.039.
48. Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria / Harper A.R. [et al.] // *Microbial Biotechnology*. 2022. Vol. 15, No. 5. P. 1404-1421. DOI: 10.1111/1751-7915.14008.
49. Prevalence, genetic diversity, and technological functions of the *Lactobacillus sanfranciscensis* in sourdough: a review / Zhang G. [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18, No. 4. P. 1209-1226. DOI: 10.1111/1541-4337.12459.
50. Study of extraction and enzymatic properties of cell-envelope proteinases from a novel wild *Lactobacillus plantarum* LP69 / Chen H. [et al.] // *Catalysts*. 2018. Vol. 8, No. 8. Art. 325. DOI: 10.3390/catal8080325.
51. The proteolytic system of lactic acid bacteria revisited: a genomic comparison / Liu M. [et al.] // *BMC Genomics*. 2010. Vol. 11. Art. 36. DOI: 10.1186/1471-2164-11-36.
52. Complete sequences of four plasmids of *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* SK11 reveal extensive adaptation to the dairy environment / Siezen R. J. [et al.] // *Applied and Environmental Microbiology*. 2005. Vol. 71, No. 12. P. 8371-8382. DOI: 10.1128/AEM.71.12.8371-8382.2005.
53. Technological and genomic analysis of roles of the cell-envelope protease PrtS in yoghurt starter development / Tian H. [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. 2018. Vol. 19, No. 4. Art. 1068. DOI: 10.3390/ijms19041068.
54. Emergence of a cell wall protease in the *Streptococcus thermophilus* population / Delorme C. [et al.] // *Applied and Environmental Microbiology*. 2010. Vol. 76, No. 2. P. 451-460. DOI: 10.1128/AEM.01018-09.
55. Survey on proteolytic activity and diversity of proteinase genes in mesophilic lactobacilli / Vukotić G. [et al.] // *Microbiology*. 2016. Vol. 85, No. 1. P. 33-41. DOI: 10.1134/S002626171601015X.
56. *prtH2*, not *prtH*, is the ubiquitous cell wall proteinase gene in *Lactobacillus helveticus* / Genay M. [et al.] // *Applied and Environmental Microbiology*. 2009. Vol. 75, No. 10. P. 3238-3249. DOI: 10.1128/AEM.02395-08.

REFERENCES

1. Fermentation affects the antioxidant activity of plant-based food material through the release and production of bioactive components / Zhao Y.-S. [et al.] // *Antioxidants*. 2021. Vol. 10, No 12. Art. 2004. DOI: 10.3390/antiox10122004.
2. Bioactive peptides: synthesis, sources, applications, and proposed mechanisms of action / Akbarian M. [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, No 3. Art. 1445. DOI: 10.3390/ijms23031445.
3. Review on plant-derived bioactive peptides: biological activities, mechanism of action and utilizations in food development / Fan H. [et al.] // *Journal of Future Foods*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 143-159. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.03.003.
4. Hong, H., Wu, J., Yan, X. Bioavailability of bioactive peptides derived from food proteins across the intestinal epithelial membrane: a review / Xu Q. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 86. P. 399-411. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.02.050.
5. Tavano O.L. Protein hydrolysis using proteases: an important tool for food biotechnology // *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 2013. Vol. 90. P. 1-11. DOI: 10.1016/j.molcatb.2013.01.011.
6. Mora L., Toldrá F. Advanced enzymatic hydrolysis of food proteins for the production of bioactive peptides // *Current Opinion in Food Science*. 2023. Vol. 49. Art. 100973. DOI: 10.1016/j.cofs.2022.100973.

7. High angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity of Alcalase-digested green soybean (*Glycine max*) hydrolysates / Hanafi M.A. [et al.] // *Food Research International*. 2018. Vol. 106. P. 589-597. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.01.030.
8. Antibacterial peptides produced by Alcalase from cowpea seed proteins / Osman A. [et al.] // *Antibiotics*. 2021. Vol. 10, No. 7. Art. 870. DOI: 10.3390/antibiotics10070870.
9. Research progress on fermentation-produced plant-derived bioactive peptides / Zhao L. [et al.] // *Frontiers in Pharmacology*. 2024. Vol. 15. Art. 1438947. DOI: 10.3389/fphar.2024.1438947.
10. Bioactivities and ACE-inhibitory peptides releasing potential of lactic acid bacteria in fermented soy milk / Undhad Trupti J. [et al.] // *Food Production, Processing and Nutrition*. 2021. Vol. 3, No. 1. Art. 10. DOI: 10.1186/s43014-021-00056-y.
11. Investigating structure, biological activity, peptide composition and emulsifying properties of pea protein hydrolysates obtained. Art. 125375. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125375.
12. Krasnoshtanova A.A., Shults L.V. Obtaining and evaluating functional properties of protein isolates and hydrolysates from plant raw materials // *Chemistry of plant raw materials*. 2022. No. 4. P. 299-309. DOI: 10.14258/jcpim.20220410952. [In Russ.]
13. The rise of processed meat alternatives: a narrative review of the manufacturing, composition, nutritional profile and health effects of newer sources of protein, and their place in healthier diets / Gastaldello A. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 127. P. 263-271. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.07.005.
14. Biopeptides from vegetable proteins: new scientific evidences / Montesano D. [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. 2020. Vol. 31. P. 31-37. DOI: 10.1016/j.cofs.2019.10.008.
15. Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition / Mäkinen O.E. [et al.] // *Sustainable Protein Sources*. Academic Press. 2024. P. 121-141. DOI: 10.1016/B978-0-323-91652-3.00006-X.
16. Chandran A.S., Suri S., Choudhary P. Sustainable plant protein: an up-to-date overview of sources, extraction techniques and utilization // *Sustainable Food Technology*. 2023. Vol. 1, No. 4. P. 466-483. DOI: 10.1039/D3FB00003F.
17. Oilseed proteins: properties and application as a food ingredient / Kotecka-Majchrzak K. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 106. P. 160-170. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.10.004.
18. Rodrigues I.M., Coelho J.F., Carvalho M.G.V. Isolation and valorisation of vegetable proteins from oilseed plants: methods, limitations and potential // *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 109, No. 3. P. 337-346. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.027.
19. Kaur R., Ghoshal G. Sunflower protein isolates: composition, extraction and functional properties // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2022. Vol. 306. Art. 102725. DOI: 10.1016/j.cis.2022.102725.
20. Yano H., Fu W. Hemp: a sustainable plant with high industrial value in food processing // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 3, Art. 651. DOI: 10.3390/foods12030651.
21. Oilseeds beyond oil: press cakes and meals supplying global protein requirements / Arrutia F. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 100. P. 88-102. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.03.044.
22. Антонов Е. В. Посевные площади в России в 2014-2023 гг.: структура и факторы динамики // *Региональные исследования*. 2025. № 1 (87). С. 29-51. DOI: 10.5922/1994-5280-2025-1-3.
23. Agriculture in Russia. 2025: statistical digest [Electronic resource] / Federal State Statistics Service. URL: [<https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226>] (<https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226>) (date of access: 31.05.2026). [In Russ.]
24. Amaranth seed oil composition / Nasirpour-Tabrizi P. [et al.] // *Nutritional Value of Amaranth*. London: IntechOpen, 2020. P. 131-164. DOI: 10.5772/intechopen.91381.
25. Production of plant protein from seeds and cake of industrial hemp: overview of processing methods for food industry / Aleksanochkin D.I. [et al.] // *Food Systems*. 2024. Vol. 7, No. 2. P. 188-197. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197.
26. Bioactive peptides from fermented foods: production approaches, sources, and potential health benefits / Peres Fabbri L. [et al.] // *Foods*. 2024. Vol. 13, No. 21. Art. 3369. DOI: 10.3390/foods13213369.

27. Guo Q., Chen P., Chen X. Bioactive peptides derived from fermented foods: preparation and biological activities // *Journal of Functional Foods*. 2023. Vol. 101, Art. 105422. DOI: 10.1016/j.jff.2023.105422.
28. Sarker A., Chakraborty S., Roy M. Dark red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates inhibit the growth of oxidizing substances in plain yogurt // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2020. Vol. 2. Art. 100062. DOI: 10.1016/j.jafr.2020.100062.
29. Development of fortified breads enriched with plant-based bioactive peptides derived from the chia (*Salvia hispanica* L.) expeller / Ozón B. [et al.] // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 18. Art. 3382. DOI: 10.3390/foods12183382.
30. Identification of potential inhibitory peptides of enzymes involved in the metabolic syndrome obtained by simulated gastrointestinal digestion of fermented bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds / Jakubczyk A. [et al.] // *Food Research International*. 2017. Vol. 100. P. 489-496. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.07.046.
31. Antioxidant activities of rapeseed peptides produced by solid state fermentation / He R. [et al.] // *Food Research International*. 2012. Vol. 49, No. 1. P. 432-438. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.08.023.
32. Production and characterization of bioactive peptides in fermented soybean meal produced using proteolytic *Bacillus* species isolated from kinema / Kumari R. [et al.] // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 421. Art. 136130. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136130.
33. Peptide production through enhanced solid-state fermentation of soybean meal with *Bacillus subtilis* SBM_1: fermentation process and product characteristics / Liu D. [et al.] // *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 219. Art. 119184. DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.119184.
34. Peptidomic analysis of antioxidant and ACE-inhibitory peptides obtained from tomato waste proteins fermented using *Bacillus subtilis* / Moayed A. [et al.] // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 250. P. 180-187. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.01.033.
35. Biopeptide-rich fermented hemp seeds: boosting anti-inflammatory and immune responses through *Lactiplantibacillus plantarum* probiotic fermentation / Shan L [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 290. Art. 138782. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.138782.
36. Peptidomics reveals enhanced bioactivities of hempseed cake induced by solid-state fermentation / Feng X. [et al.] // *Food Chemistry*. 2026. Art. 149243. DOI: 10.1016/j.foodchem.2026.149243.
37. Identification and molecular mechanisms of novel antioxidant peptides from fermented broad bean paste: a combined in silico and in vitro study / Lin H. [et al.] // *Food Chemistry*. 2024. Vol. 450. Art. 139297. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.139297.
38. Identification and virtual screening of novel anti-inflammatory peptides from broccoli fermented by *Lactobacillus* strains / Li Y. [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. 2023. Vol. 9. Art. 1118900. DOI: 10.3389/fnut.2022.1118900.
39. Effects of fermentation with *Lactiplantibacillus plantarum* NCU116 on the antihypertensive activity and protein structure of black sesame seed / Du T. [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 262. Art. 129811. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129811.
40. Study on preparation of chickpea peptide and its effect on blood glucose / Ma X. [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Art. 988628. DOI: 10.3389/fnut.2022.988628.
41. Fermented blend from sunflower seed press-cake and bovine sweet whey: protein breakdown during in vitro gastrointestinal digestion / Mendo S. [et al.] // *Food Chemistry: X*. 2024. Vol. 23. Art. 101745. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101745.
42. Impact of different enzymatic processes on antioxidant, nutritional and functional properties of soy protein hydrolysates incorporated into novel cookies / Knežević-Jugović Z. [et al.] // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 1. Art. 24. DOI: 10.3390/foods12010024.
43. Bioactive peptides / Daliri E.B.-M. [et al.] // *Foods*. 2017. Vol. 6, No. 5. Art. 32. DOI: 10.3390/foods6050032.
44. Juillard V., Lopez-Kleine L., Monnet V. Proteolytic systems of lactic acid bacteria (LAB) // *Reference Module in Food Science*. Amsterdam: Elsevier, 2021.

45. Ma, J., Xu, M., Agyei, D. Cell-envelope proteinases from lactic acid bacteria: biochemical features and biotechnological applications / Ji D. [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. Vol. 20, No. 1. P. 369-400. DOI: 10.1111/1541-4337.12676.
46. Comparative genomics of the lactic acid bacteria / Makarova K. [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2006. Vol. 103, No. 42. P. 15611-15616. DOI: 10.1073/pnas.0607117103.
47. Original features of cell-envelope proteinases of *Lactobacillus helveticus*: a review / Sadat-Mekmene L. [et al.] // International Journal of Food Microbiology. 2011. Vol. 146, No. 1. P. 1-13. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.039.
48. Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria / Harper A.R. [et al.] // Microbial Biotechnology. 2022. Vol. 15, No. 5. P. 1404-1421. DOI: 10.1111/1751-7915.14008.
49. Prevalence, genetic diversity, and technological functions of the *Lactobacillus sanfranciscensis* in sourdough: a review / Zhang G. [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. Vol. 18, No. 4. P. 1209-1226. DOI: 10.1111/1541-4337.12459.
50. Study of extraction and enzymatic properties of cell-envelope proteinases from a novel wild *Lactobacillus plantarum* LP69 / Chen H. [et al.] // Catalysts. 2018. Vol. 8, No. 8. Art. 325. DOI: 10.3390/catal8080325.
51. The proteolytic system of lactic acid bacteria revisited: a genomic comparison / Liu M. [et al.] // BMC Genomics. 2010. Vol. 11. Art. 36. DOI: 10.1186/1471-2164-11-36.
52. Complete sequences of four plasmids of *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* SK11 reveal extensive adaptation to the dairy environment / Siezen R. J. [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. 2005. Vol. 71, No. 12. P. 8371-8382. DOI: 10.1128/AEM.71.12.8371-8382.2005.
53. Technological and genomic analysis of roles of the cell-envelope protease PrtS in yoghurt starter development / Tian H. [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2018. Vol. 19, No. 4. Art. 1068. DOI: 10.3390/ijms19041068.
54. Emergence of a cell wall protease in the *Streptococcus thermophilus* population / Delorme C. [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. 2010. Vol. 76, No. 2. P. 451-460. DOI: 10.1128/AEM.01018-09.
55. Survey on proteolytic activity and diversity of proteinase genes in mesophilic lactobacilli / Vukotić G. [et al.] // Microbiology. 2016. Vol. 85, No. 1. P. 33-41. DOI: 10.1134/S002626171601015X.
56. *prtH2*, not *prtH*, is the ubiquitous cell wall proteinase gene in *Lactobacillus helveticus* / Genay M. [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. 2009. Vol. 75, No. 10. P. 3238-3249. DOI: 10.1128/AEM.02395-08.

Информация об авторах / Information about the authors

Алексаночкин Денис Игоревич, аспирант кафедры «Биотехнологии и биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ); 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>, e-mail: aleksanochkindi@list.ru

Керимова Гюльяр Мехмановна, аспирант кафедры «Биотехнологии и биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ); 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4362-3657>

Кореньков Сергей Алексеевич, магистр кафедры «Биотехнологии и биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ); 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8457-4230>

Фоменко Иван Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ); 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Denis I. Aleksanochkin, PhD student, Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe Shosse, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>, e-mail: aleksanochkindi@list.ru

Gyullyar M. Kerimova, PhD student, Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe shosse, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4362-3657>

Sergey A. Koren'kov, Master of Science, Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe shosse, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8457-4230>

Ivan A. Fomenko, PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products, Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe shosse, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Заявленный вклад авторов

Алексаночкин Денис Игоревич – написание и редактирование рукописи, подбор литературных источников.

Керимова Гюльяр Мехмановна – подбор литературных источников, работа над черновиком рукописи.

Кореньков Сергей Алексеевич – оформление статьи по требованиям журнала и подбор литературных источников.

Фоменко Иван Андреевич – разработка дизайна исследования, критическая редакция текста работы.

Claimed contribution of the authors

Denis I. Aleksanochkin – manuscript writing and editing, selection of literary sources.

Gyullyar M. Kerimova – selection of literary sources, drafting of the manuscript.

Sergey A. Koren'kov – article formatting according to the Journal requirements and selection of literary sources.

Ivan A. Fomenko – research design development, critical editing of the manuscript.

Поступила в редакцию 01.07.2026

Поступила после рецензирования 11.08.2026

Принята к публикации 13.08.2026

Received 01.07.2026

Revised 11.08.2026

Accepted 13.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-28-39>

УДК 664.959.5:637.02/07



Комбинированная дезодорация сухих белковых продуктов из вторичного рыбного сырья

З.М. Арабова✉¹, А.Х-Х. Нугманов², И.Ю. Алексанян³, А.И. Одинцова²,
П.Д. Осмоловский², Е.В. Фоменко³

¹Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского
Российской академии наук;
г. Москва, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»;
г. Москва, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный технический университет»;
г. Астрахань, Российская Федерация,
✉zar.arabova@yandex.ru

Аннотация. Введение. Рыбоперерабатывающая промышленность ежегодно образует значительное количество вторичного сырья – икорно-ястычного комплекса, печени и других органов частиковых видов рыб. Данное сырье является перспективным источником для получения ценных пищевых ингредиентов, включая фракционированный лецитин и изолированные белковые продукты. Однако их широкое применение ограничивается наличием стойкого рыбного запаха, который существенно снижает органолептические свойства и потребительскую привлекательность конечной продукции. **Целью исследования** являлось изучение механизмов образования летучих соединений, ответственных за нежелательный аромат, в сухой печени сома и рафинате после экстракции лецитинсодержащих веществ из рыбной икры, а также разработка эффективного и экономически целесообразного метода дезодорации. **Объекты и методы исследования.** Объектами исследования служили сухая печень сома и рафинат после экстракции лецитина. В работе проведен сравнительный анализ физико-химических методов дезодорации, включая обработку органическими кислотами и природными антиоксидантами. Концентрацию летучих соединений определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии. **Результаты и обсуждение.** Проведенное исследование подтвердило, что основными источниками нежелательного запаха являются три группы летучих соединений: азотистые (триметиламин, аммиак), карбонильные (гексаналь, нональ) и серосодержащие (диметилсульфид, метилмеркаптан). На основе сравнительного анализа обоснована эффективность комбинированной обработки органическими кислотами и природными антиоксидантами. Экспериментально подтверждено, что сочетание 1% лимонной кислоты и 0,3% экстракта розмарина обеспечивает снижение содержания триметиламина на 70%, гексаналя на 45% и улучшение органолептических показателей на 3 балла. **Заключение.** Предложенный метод технологичен, не требует значительных капитальных затрат и может быть рекомендован для внедрения в пищевую промышленность. Он открывает перспективы для расширения использования вторичных белковых продуктов при производстве пищевых ингредиентов с улучшенными органолептическими свойствами.

Ключевые слова: сухая печень сома, рафинат икры рыб, белковый изолят, дезодорация, летучие соединения, триметиламин, лимонная кислота, экстракт розмарина, органолептическая оценка, лецитин.

Для цитирования: Арабова З.М., Нугманов А.Х-Х., Алексанян И.Ю., Одинцова А.И., Осмоловский П.Д., Фоменко Е.В. Комбинированная дезодорация сухих белковых продуктов из вторичного рыбного сырья. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3):28-39. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-28-39>

Combined deodorization of dry protein products from secondary fish raw materials

Z.M. Arabova^{✉1}, A.Kh-Kh. Nugmanov², I.Yu. Aleksanyan³,
A.I. Odintsova², P.D. Osmolovsky², E.V. Fomenko³

¹*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
the Russian Academy of Sciences;
Moscow, the Russian Federation*

²*Timiryazev State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy;
Moscow, the Russian Federation*

³*Astrakhan State Technical University;
Astrakhan, the Russian Federation,
✉zar.arabova@yandex.ru*

Abstract. Introduction. The fish processing industry annually produces a significant amount of secondary raw materials – caviar and roe complex, liver, and other organs of ordinary fish species. This raw material is a promising source for obtaining valuable food ingredients, including fractionated lecithin and isolated protein products. However, their widespread use is limited by the presence of a persistent fishy odor, which significantly reduces the organoleptic properties and consumer appeal of the final product. **The goal of the research** was to investigate the mechanisms of formation of volatile compounds responsible for the undesirable odor in dried catfish liver and raffinate after the extraction of lecithin-containing substances from fish roe, as well as to develop an effective and cost-effective deodorization method. **The objects and methods of the research** were dried catfish liver and raffinate after lecithin extraction. The paper provides a comparative analysis of physicochemical deodorization methods, including treatment with organic acids and natural antioxidants. Volatile compound concentrations were determined using gas chromatography-mass spectrometry. **The results and discussion.** The research confirmed that the main sources of undesirable odors were three groups of volatile compounds: nitrogenous (trimethylamine, ammonia), carbonyl (hexanal, nonanal), and sulfur-containing (dimethyl sulfide, methyl mercaptan). A comparative analysis substantiated the effectiveness of combined treatment with organic acids and natural antioxidants. Experiments confirmed that a combination of 1% citric acid and 0.3% rosemary extract reduced trimethylamine content by 70%, hexanal by 45%, and improved organoleptic properties by 3 points. **Conclusion.** The proposed method is technologically feasible, does not require significant capital investment, and can be recommended for the implementation in the food industry. It opens up prospects for expanding the use of secondary protein products in the production of food ingredients with improved organoleptic properties.

Keywords: dried catfish liver, fish roe raffinate, protein isolate, deodorization, volatile compounds, trimethylamine, citric acid, rosemary extract, organoleptic evaluation, lecithin

For citation: Arabova Z.M., Nugmanov A.Kh.-Kh., Aleksanyan I.Yu., Odintsova A.I., Osmolovsky P.D., Fomenko E.V. Combined deodorization of dry protein products from secondary fish raw materials. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):28-39. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-28-39>

Введение. Стратегия развития машиностроения для пищевой индустрии РФ до 2030 года (распоряжение Правительства РФ от 30.08.2019 № 1931-р) в качестве одного из главных приоритетов называет рациональное природопользование и глубокую переработку сырья [1]. В рыбохозяйственном комплексе это напрямую касается использования вторичных ресурсов – внутренностей и отходов разделки рыб, которые в настоящее время часто утилизируются или направляются на кормовые цели, что не только снижает экономическую эффективность, но и создаёт экологическую нагрузку. Особенно это актуально для пресноводных видов (карповые, сомовые), чьи печень и икорно-ястычные комплексы обладают высокой биологической ценностью, но пока находят ограниченное применение в пищевых технологиях [2-3].

По данным Росрыболовства, ежегодный объём отходов от разделки пресноводной рыбы в Российской Федерации превышает 150 тыс. тонн, при этом на долю печени и икорно-ястычных комплексов приходится до 8...12% от массы рыбы. В печени сома содержание липидов достигает 18...25%, из которых более 30% приходится на полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) семейств омега-3 и омега-6. Икра карповых видов содержит до 25% фосфолипидов, главным образом лецитина, что делает её уникальным сырьём для получения натуральных эмульгаторов. Однако, несмотря на высокую пищевую ценность, эти субпродукты до сих пор не находят широкого применения в производстве пищевых ингредиентов из-за стойкого специфического запаха, который воспринимается потребителями как неприятный даже при малых концентрациях [2, 4-5].

Общеизвестна и ценность вторичного сырья. Печень рыб содержит значительное количество полиненасыщенных жирных кислот, фосфолипидов, жирорастворимых витаминов и микроэлементов, что делает её потенциальным сырьём для получения функциональных ингредиентов [4-5]. Икра

карповых, в свою очередь, богата лецитиновыми комплексами – природными эмульгаторами, востребованными в производстве соусов, майонезов, кондитерских и мясных изделий. После экстракции лецитина остаётся белковый рафинат, который может быть высушен и использован как источник полноценного белка [6-7]. Однако и печень, и рафинат обладают выраженным специфическим рыбным запахом, который резко ограничивает их применение в составе продуктов питания и снижает конкурентоспособность.

Нежелательный аромат возникает в результате сложных химических процессов: окисления липидов, ферментативного и микробного распада белков, образования летучих азотистых, карбонильных и серосодержащих соединений [8-9]. Сенсорные пороги основных соединений, формирующих специфический рыбный запах, чрезвычайно низки: для триметиламина (ТМА) они составляют 0,1...0,5 мг/кг, для гексаналя – 0,02...0,05 мг/кг, для диметилсульфида – 0,001...0,01 мг/кг. Это означает, что даже следовые количества данных веществ способны полностью нивелировать положительные органолептические свойства белкового продукта. Кроме того, рыбный запах не является монокомпонентным – он представляет собой сложную смесь, в которой отдельные соединения могут усиливать восприятие друг друга (синергетический эффект). Поэтому удаление запаха требует воздействия сразу на несколько групп химических соединений, что делает проблему комплексной и нетривиальной [8-9].

Удаление этих соединений – сложная задача, поскольку традиционные методы (промывка, термическая обработка) часто приводят к потерям питательных веществ или требуют дорогостоящего оборудования. Поэтому поиск эффективных, экономически приемлемых и безопасных способов дезодорации сухих белковых продуктов (СБП) является актуальным направлением, позволяющим вовлечь в технологию

продуктов питания значительные объёмы вторичного рыбного сырья.

В последние годы в отрасли активно обсуждаются различные подходы к дезодорации рыбных белковых продуктов: физические (вакуумная обработка, адсорбция на активированном угле, молекулярная дистилляция), химические (обработка кислотами, щелочами, окислителями) и биологические (ферментативный гидролиз, применение микроорганизмов). Каждый из них имеет свои достоинства и ограничения. Так, физические методы часто сопровождаются значительными потерями белка или требуют дорогостоящего оборудования; химические – могут приводить к накоплению побочных продуктов или изменению исходной структуры белка; биологические – длительны и чувствительны к условиям среды. В этом контексте комбинированные методы, объединяющие химическое связывание летучих оснований с антиоксидантной защитой липидов, представляются наиболее перспективными, поскольку позволяют достичь результата, не требуя больших вложений [12, 14-15].

Цель и задачи исследования

Цель настоящей работы – выбор и обоснование метода устранения нежелательного рыбного запаха в белковых продуктах (сухая печень сома и рафинат икры) на основе анализа механизма его образования. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- идентифицировать основные летучие соединения, ответственные за нежелательный рыбный запах в исследуемых объектах;
- провести сравнительный анализ существующих физических, химических и биологических методов дезодорации;
- экспериментально оценить эффективность обработки лимонной кислотой, экстрактом розмарина и их комбинацией по снижению ключевых маркеров запаха (триметиламина и гексаналя);
- определить органолептические характеристики полученных продуктов и выбрать оптимальный режим.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использованы:

- *Сухая измельчённая печень сома (Silurus glanis)*, полученная от свежеевыловленной рыбы. Подготовка: печень отделяли, замораживали при -18°C , сублимировали до влажности не более 6%, затем измельчали до фракции 0,5...1,0 мм.

- *Рафинат* – белковый остаток после экстракции лецитина из икры пресноводных рыб (толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix*, сазан *Cyprinus carpio*, судак *Sander lucioperca*, сом *Silurus glanis*). Подготовка: экстракцию проводили этиловым спиртом при соотношении сырьё: растворитель = 1:3, температуре 50°C в течение 2 ч. Полученный рафинат сушили в вакуумной сушилке при 40°C до влажности 5...7% и измельчали до однородного порошка.

Перед проведением экспериментов определяли базовые физико-химические показатели исходных образцов: в сухой печени сома содержание белка составило $58,4 \pm 1,2\%$, липидов – $26,7 \pm 0,9\%$, золы – $5,1 \pm 0,3\%$, влажности – $5,8 \pm 0,4\%$. В рафинате из икры (усреднённый образец по четырём видам рыб) белка было $72,3 \pm 1,5\%$, липидов – $12,4 \pm 0,7\%$, золы – $6,2 \pm 0,4\%$, влажности – $6,1 \pm 0,3\%$.

Содержание триметиламинооксида (ТМАО), измеренное по методу Пикара, в свежей печени сома составляло 42,5 мг/100 г, в икре – 28,7 мг/100 г, что коррелирует с потенциальной способностью к образованию ТМА при хранении и сушке.

Также методом ВЭЖХ определён качественный состав жирных кислот: в печени сома преобладали пальмитиновая (16:0), олеиновая (18:1n-9), эйкозапентаеновая (20:5n-3) и докозагексаеновая (22:6n-3) кислоты, суммарная доля ПНЖК омега-3 достигала 18 % от всех липидов. Эти данные служили исходной точкой для оценки эффективности дезодорации по сохранности ПНЖК.

Для дезодорации образцы СБП подвергали трём видам обработки:

- вариант 1 – замачивание в 1%-ном растворе лимонной кислоты (рН ~2,5) при комнатной температуре в течение 10 мин с последующей фильтрацией и сушкой при 40°C;

- вариант 2 – обработка 0,3%-ным водно-спиртовым экстрактом розмарина (содержание карнозиновой кислоты не менее 6%) при перемешивании в течение 15 мин, затем сушка;

- вариант 3 – комбинированная обработка: сначала 1% лимонной кислотой (10 мин), затем 0,3% экстрактом розмарина (15 мин), с промежуточной промывкой дистиллированной водой и сушкой.

Контролем служили необработанные образцы. Все эксперименты проводили в трёхкратной повторности.

Определение содержания триметиламина (ТМА) и гексаналя выполняли методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием (ГХ-МС) на приборе Agilent 7890В с колонкой HP-5MS (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм) в Центре коллективного пользования (ЦКП) при РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [10]. Условия: газ-носитель – гелий (1 мл/мин), температурный градиент от 40°C (выдержка 2 мин) до 250°C со скоростью 10°C/мин. Идентификацию проводили по библиотеке масс-спектров NIST, количественную оценку – по методу внутреннего стандарта (1-деканол, 10 мкг/мл). Содержание ТМА и гексаналя выражали в мкг/г сухого вещества. Эффективность дезодорации рассчитывали как процент снижения относительно контроля. Для количественного определения ТМА и гексаналя навеску сухого продукта массой 2,0 ± 0,1 г помещали в герметичную вialу объёмом 20 мл, добавляли 5 мл дистиллированной воды и 10 мкл внутреннего стандарта (1-деканол, 10 мкг/мл). Затем вialу выдерживали на водяной бане при 60°C в течение 15 мин для равномерного распределения летучих компонентов в газовой фазе. Отбор пробы из паровой фазы осуществляли с помощью микрошприца объёмом 100 мкл с последующим вводом в испаритель хроматографа. Каждый образец анализировали в

трёх повторностях, результат выражали как среднее арифметическое, дополняя стандартным отклонением. Калибровочные графики строили по растворам чистых веществ в концентрациях 0,5...50 мкг/мл.

Органолептическую оценку проводили через 24 ч после обработки аттестованной дегустационной комиссией (7 экспертов, обученных по профилю рыбных продуктов) по 5-балльной шкале, где оценивали интенсивность нежелательного рыбного запаха (1 – очень сильный, 5 – отсутствует), наличие посторонних привкусов и общую приемлемость. Результаты в баллах (среднее улучшение по сравнению с контролем) представлены в таблице 2, а детальные описательные характеристики (цвет, запах, консистенция, вкус) для каждого продукта после комбинированной обработки приведены в таблице 3. Стандартное отклонение для сенсорных баллов не превышало 0,3.

Полученные результаты обработаны методами вариационной статистики [11]. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для обоснования выбора метода дезодорации нами проанализированы источники нежелательного рыбного запаха. Установлено, что основными группами летучих соединений, формирующих нежелательный рыбный запах в исследуемых продуктах, являются:

- *азотистые* – триметиламин (продукт микробного восстановления триметиламиноксида) и аммиак (дезаминирование аминокислот);

- *карбонильные* – гексаналь, нонаналь (маркеры окисления омега-3 ПНЖК);

- *серосодержащие* – диметилсульфид, метилмеркаптан (продукты деградации метионина и цистеина).

Количественный анализ показал, что в необработанных образцах содержание ТМА составляло $42,3 \pm 3,1$ мкг/г в сухой печени сома и $28,7 \pm 2,4$ мкг/г в рафинате

икры; гексаналя – соответственно $18,6 \pm 1,9$ и $12,4 \pm 1,3$ мкг/г; аммиака – $15,2 \pm 1,7$ и $9,8 \pm 1,1$ мкг/г. Содержание диметилсульфида и метилмеркаптана было ниже – в пределах 2...5 мкг/г. Следует отметить, что в образцах печени сома концентрации всех трёх групп летучих были достоверно выше ($p < 0,05$), чем в рафинате икры, что, вероятно, связано с более высокой исходной активностью липаз и микробной обсеменённостью печени. Кроме того, методом ГХ-МС идентифицированы дополнительные соединения, такие как 1-пентен-3-ол, 2,3-пентандион и 1,5-октадиен-3-ол, которые характерны для окисленных липидов рыб и вносят вклад в «травянистые» и «металлические» оттенки запаха, однако их концентрации были на порядок ниже, чем у ТМА и гексаналя, поэтому они не рассматривались как основные маркеры.

В таблице 1 обобщены данные о специфических соединениях для разных видов рыб на основании литературных источников и собственных предварительных экспериментов.

На процесс образования нежелательного запаха влияют термическая обработка, активность протеаз и липаз, микробиологическая порча (*Shewanella*, *Pseudomonas*), а также условия хранения (доступ кислорода, свет, температура). В наших образцах после сушки наблюдалось повышение содержания гексаналя, что указывает на протекание автоокисления липидов даже при щадящих режимах сушки.

Из представленных в таблице 1 данных видно, что набор ключевых соединений существенно зависит от вида рыбы. Для толстолобика и сазана, у которых окисление ПНЖК преобладает над микробной деградацией, основными маркерами являются карбонильные соединения (гексаналь, 1-пентен-3-он) и

спирты, тогда как для судака и сома, особенно для их печени, на первый план выходят продукты бактериального метаболизма – низкомолекулярные карбоновые кислоты и фенольные производные. Это согласуется с данными Мегеды и Ким [8], показавшими, что видовой состав микрофлоры определяет характер накопления ТМА (триметиламина) и серосодержащих метаболитов. В исследуемых образцах после сушки наблюдалось увеличение гексаналя в 1,4...1,7 раза по сравнению со свежим сырьём, что указывает на интенсификацию автоокисления в процессе сублимации, несмотря на низкую температуру. Это обстоятельство делает необходимым включение антиоксидантного компонента в схему дезодорации, вследствие того что нейтрализация аминов без подавления окисления липидов не приведёт к желаемому сенсорному результату.

Анализ доступных технологий (физических, химических, биохимических) показал, что:

- *адсорбционные методы* (активированный уголь, смолы) эффективны для неполярных соединений, но требуют регенерации и не всегда обеспечивают полноту удаления полярных аминов;
- *химическая обработка* (кислоты/щелочи) подавляет окисление липидов, но может создавать проблемы с утилизацией сточных вод;
- *применение циклодекстринов и полифенолов* (чай, розмарин) обеспечивает связывание или маскировку запаха, однако ограничено размерами молекул или доступностью реагентов;
- *биотехнологические подходы* (дрожжи, ферменты) перспективны, но требуют строгого контроля условий и более длительного времени обработки.

Таблица 1. Соединения, ответственные за рыбный запах, и механизмы их образования
Table 1. Compounds responsible for fishy odor and the mechanisms of their formation

Вид рыбы	Механизм образования	Ключевые соединения
Толстолобик, сазан	Окисление ПНЖК	1-пентен-3-он, 2,3-пентандион, 1-пентен-3-ол, гексаналь, (5Z)-окта-1,5-диен-3-ол, 1,5-окт-диен-3-ол
Судак, сом	Метаболизм водных микроорганизмов	Карбоновые кислоты, фенольные соединения

Наиболее рациональным с точки зрения эффективности, технологичности и экономической доступности признан комбинированный метод – совместное использование органических кислот для нейтрализации азотистых оснований и природных антиоксидантов для ингибирования окислительных процессов. Выбор лимонной кислоты в качестве кислотного агента обусловлен несколькими факторами: она разрешена в пищевой промышленности как безопасная добавка (Е330), обладает мягким вкусом, не оставляет посторонних привкусов при концентрациях до 2%, эффективно связывает амины за счёт образования растворимых цитратов и одновременно хелатирует ионы двухвалентного железа и меди, которые являются катализаторами окисления липидов. Концентрация 1% выбрана на основе предварительных экспериментов как минимальная, обеспечивающая снижение pH до 2,5...2,8, при котором большая часть ТМА переходит в водную фазу. Что касается экстракта розмарина, его эффективность обусловлена высоким содержанием карнозиновой кислоты и карнозола – фенольных дитерпенов, способных обрывать цепные реакции свободнорадикального

окисления. Доля на уровне 0,3% рекомендована как рациональная в работах по мясным и рыбным продуктам [13, 14], т.к. при меньшей концентрации антиоксидантный эффект недостаточен, а при большей возможно появление травянистого привкуса, что нежелательно. В таблице 2 представлены результаты обработки образцов.

Комбинированная обработка обеспечила максимальное снижение триметиламина (на 70%) и гексаналя (на 45%), что коррелировало с улучшением органолептических характеристик на 3 балла (по 5-балльной шкале). Снижение ТМА объясняется образованием растворимых солей с лимонной кислотой и переходом в водную фазу, а уменьшение гексаналя – антиоксидантным действием розмарина (карнозиновой кислоты), тормозящим цепное окисление липидов [12-13]. Различия между комбинированным методом и отдельными обработками статистически значимы ($p < 0,05$).

В таблице 3 приведена органолептическая характеристика полученных продуктов через 24 ч после дезодорации (для образцов, обработанных комбинированным методом, так как он показал лучший результат).

Таблица 2. Снижение показателей нежелательного рыбного запаха при разных методах обработки

Table 2. Reduction of undesirable fishy odor levels with different processing methods

Метод обработки	Снижение ТМА, %	Снижение гексаналя, %	Улучшение сенсорной оценки, балл
Лимонная кислота (1 %)	50	20	+2,0
Розмарин (0,3 %)	30	35	+1,5
Комбинированный	70	45	+3,0

Таблица 3. Органолептическая характеристика СБП после комбинированной дезодорации

Table 3. Organoleptic characteristics of SBP after combined deodorization

Продукт	Цвет	Запах	Консистенция	Вкус
Изолят из икры толстолобика	Бликий к серому	Нейтральный, через 24 ч – слабовыраженный рыбный	Творожистая, уплотненная	Нейтральный
Изолят из икры сазана	Светло-серый с кремовым оттенком	Нейтральный, через 24 ч – слабовыраженный рыбный	Творожистая, уплотненная	Рыбный привкус (слабый)
Изолят из икры судака	Бликий к молочному	Практически без рыбного запаха через 24 ч	Творожистая, уплотненная	Нейтральный
Изолят из икры сома	Светло-серый	Слабовыраженный рыбный, через 24 ч – усиление	Творожистая, уплотненная	Рыбный привкус (умеренный)
Сухая печень сома	Светло-коричневый	Слабовыраженный рыбный, через 24 ч – усиление	Уплотненная	Рыбный привкус (умеренный)

Как показывают данные таблицы 3, наиболее высокие органолептические показатели достигнуты для изолята из икры судака – этот продукт практически не имел рыбного запаха и привкуса даже через 24 ч хранения, а его цвет приближался к белому, с кремовым оттенком, что делает его наиболее приемлемым для использования в качестве нейтральной белковой добавки. Напротив, образцы печени сома и изолята из икры сома показали усиление запаха и выраженный рыбный привкус, что, вероятно, связано с более высоким содержанием липидов и активностью собственных липаз, а также с видовыми особенностями состава летучих предшественников. Эти результаты согласуются с данными таблицы 1, где для сома указан механизм, связанный с метаболизмом микроорганизмов, который, по-видимому, устойчивее к однократной обработке.

Полученные эффекты комбинированной обработки согласуются с исследованиями других авторов [14-16], показавшими, что полифенолы розмарина эффективно ингибируют окисление липидов, а лимонная кислота – связывает амины. Однако в отличие от работ, где использовались только отдельные реагенты, наше исследование впервые продемонстрировало синергетический эффект для сухих продуктов из вторичного сырья. Следует отметить, что остаточный запах у продуктов из сома и его печени указывает на необходимость дополнительной обработки, например, ферментации гидролизом или включением сорбентов в упаковку.

Помимо органолептических показателей, оценено влияние комбинированной обработки на содержание белка и жирнокислотный состав. В образцах, прошедших дезодорацию, потери белка не превышали 4...6%, что статистически незначимо по сравнению с контролем. Содержание ПНЖК омега-3 снизилось на 8...12% в рафинате и на 14...18% в печени сома, что можно считать приемлемым, учитывая значительное улучшение запаха. Вероятно,

часть потерь связана с вымыванием свободных жирных кислот и низкомолекулярных липидов при промывке водой после кислотной обработки. Для минимизации этих потерь рекомендуется проводить промывку холодной водой (4...6°C) и сокращать время контакта с водой до 5 мин. Функционально-технологические свойства (растворимость, эмульгирующая способность, пенообразование) у дезодорированных изолятов практически не изменились, что подтверждает щадящий характер предложенного метода. Исключение составила сухая печень сома, у которой эмульгирующая способность снизилась на 18%, что, по-видимому, связано с частичной денатурацией белков на границе раздела фаз при низком рН. Этот эффект требует дальнейшего изучения, но для большинства технологических применений (производство фаршей, соусов, паштетов) он не является критичным.

Предложенный комбинированный метод может быть легко реализован на пищевых предприятиях, поскольку не требует сложного оборудования – достаточно стандартных ёмкостей для замачивания, сушильных камер и смесителей. Время обработки (не более 25 мин) и низкие концентрации реагентов делают его экономически выгодным. Вместе с тем, для продуктов с изначально ярко выраженным запахом (печень сома, икра сома) рекомендуется либо увеличить концентрацию розмарина до 0,5%, либо сочетать метод с вакуумной сушкой или кратковременной обработкой паром. Кроме того, важно учитывать, что промывка водой после кислотной обработки может приводить к частичным потерям водорастворимых витаминов и минералов, поэтому на этапе промышленного внедрения требуется оптимизация режимов промывки.

Таким образом, комбинированный метод, показавший наилучшие результаты, может быть рекомендован как базовый для дезодорации большинства исследованных СБП, а для наиболее проблемных образцов

(печень сома, икра сома) – как первый этап в комбинации с дополнительными физическими методами.

Заключение и выводы. Проведенное исследование подтвердило, что основными источниками нежелательного запаха в рыбном порошковом изоляте и сухой печени сома служат три группы летучих соединений – азотистые (ТМА, аммиак), карбонильные (гексаналь, нонаналь) и серосодержащие (диметилсульфид, метилмеркаптан). Сравнительный анализ показал, что комбинированная обработка органическими кислотами и природными антиоксидантами (лимонная кислота 1% + экстракт розмарина 0,3%) является наиболее эффек-

тивной: она обеспечивает максимальное снижение ТМА (70%) и гексаналя (45%), улучшая сенсорные показатели на 3 балла. Предложенный метод технологичен, экономически целесообразен и может быть внедрен без существенных капитальных затрат, что открывает перспективы для расширения использования вторичных белковых продуктов в пищевой промышленности. Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение ферментативной гидролиза для дополнительной нейтрализации серосодержащих соединений и разработку модифицированных упаковочных материалов с сорбционными свойствами для продления срока годности.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морева Е.Л., Бекулова С.Р. Современные вызовы управлению отраслевыми драйверами (на примере российского машиностроения) // Управленческие науки. 2020. № 4. С. 6-22.
2. Яркина Н.Н., Логунова Н.А. Устойчивое развитие рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации: факторы и тенденции // Труды ВНИРО. 2023. Т. 192. С. 192-201.
3. Рудашевский В.Д., Мухамедова Т.О., Павлова А.О. Анализ программ развития рыбохозяйственного комплекса России в условиях новой экономики // Труды ВНИРО. 2022. Т. 190. С. 143-153.
4. Исследования липидов гидробионтов / В.Н. Акулин [и др.] // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2005. Т. 141. С. 335-347.
5. Технохимическая характеристика печени лососевых рыб и перспективы ее использования / А.И. Чепкасова [и др.] // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2009. Т. 159. С. 325-336.
6. Исследование аминокислотного и липидного состава вторичного икорного сырья пресноводных рыб / З.М. Арапова [и др.] // Вестник НГАСУ (Новосибирского государственного аграрного университета). 2025. № 1. С. 120-133.
7. Определение теплотехнических показателей икры сазана как объекта замораживания и источника лецитина / В.Э. Поликарпова [и др.] // Индустрия питания. 2022. Т. 7, № 4. С. 25-35.
8. Мегада Е.В., Ким И.Н. Биохимические аспекты формирования запаха сырых гидробионтов // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2008. Т. 154. С. 345-371.
9. Ключко Н.Ю., Позднякова Д.А., Ковалева Е.Д. О возможности использования рыбной белковой и белково-минеральной добавок в технологии хлебобулочных изделий // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 88-102.
10. Трухачёв В.И., Жевнеров А.В., Белопухов С.Л. Аналитические комплексы нового поколения для оценки качества продукции АПК // Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвящённой Дню российской науки (Улан-Удэ). Улан-Удэ, 2023. С. 228-233.

11. Калмыков В.В., Федорова О.С. Основные статистические методы анализа результатов экспериментов // Наука, техника и образование. 2016. № 1. С. 68-75.
12. Квалиметрическая оценка антиоксидантной активности пищевых антиоксидантов в мясных системах / С.Н. Кидяев [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2024. № 2. С. 79-88.
13. Шарыгина Я.И. Совершенствование технологии рубленых мясных полуфабрикатов с использованием природных веществ с антиоксидантными свойствами: специальность 05.18.04 «Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств»: дис. ... канд. техн. наук. Калининград, 2011. 212 с.
14. Stetzer A.J., Novakofski J.E., Brewer M.S. A research note: Effect of citric acid and/or rosemary extract on color of an irradiated beef myoglobin model system // Journal of Muscle Foods. 2009. Vol. 20, No. 1. P. 28-36.
15. Rojas M.C., Brewer M.S. Effect of natural antioxidants on oxidative stability of frozen, vacuum-packaged beef and pork // Journal of Food Quality. 2008. Vol. 31, No. 2. P. 173-188.
16. Natural phenolic compounds for the control of oxidation, bacterial spoilage, and foodborne pathogens in meat / A.I. Kalogianni [et al.] // Foods. 2020. Vol. 9, No. 6. P. 794.

REFERENCES

1. Moreva E.L., Bekulova S.R. Modern challenges to managing industry drivers (using the Russian mechanical engineering industry as an example) // Management Sciences. 2020. No. 4. P. 6-22. [In Russ.].
2. Yarkina N.N., Logunova N.A. Sustainable development of the fisheries complex of the Russian Federation: factors and trends // Proceedings of VNIRO. 2023. Vol. 192. P. 192-201. [In Russ.].
3. Rudashevsky V.D., Mukhamedova T.O., Pavlova A.O. Analysis of development programs for the fisheries industry of Russia in the context of the new economy // Proceedings of VNIRO. 2022. Vol. 190. P. 143-153. [In Russ.].
4. Studies of hydrobiont lipids / V.N. Akulin [et al.] // News of TINRO (Pacific Fisheries Research Center). 2005. Vol. 141. P. 335-347. [In Russ.].
5. Technochemical characteristics of salmon fish liver and prospects for its use / A.I. Chepkasova [et al.] // News of TINRO (Pacific Fisheries Research Center). 2009. Vol. 159. P. 325-336. [In Russ.].
6. Research of the amino acid and lipid composition of secondary caviar raw materials of freshwater fish / Z.M. Arabova [et al.] // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2025. No. 1. P. 120-133. [In Russ.].
7. Determination of thermal performance of carp caviar as a freezing object and a source of lecithin / V.E. Polikarpova [et al.] // Food industry. 2022. Vol. 7, No. 4. P. 25-35. [In Russ.].
8. Megeda, E.V., Kim, I.N. Biochemical aspects of raw aquatic organism odor formation // Bulletin of TINRO (Pacific Fisheries Research Center). 2008. Vol. 154. P. 345-371. [In Russ.].
9. Klyuchko N.Yu., Pozdnyakova D.A., Kovaleva E.D. On the possibility of using fish protein and protein-mineral additives in bakery technology // Bulletin of KSTU. 2023. No. 70. P. 88-102. [In Russ.].
10. Trukhachev V.I., Zhevnerov A.V., Belopukhov S.L. New generation analytical systems for assessing the quality of agricultural products // Priority areas of scientific and technological development of the agricultural sector of Russia: proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the Day of Russian Science (Ulan-Ude). Ulan-Ude, 2023. P. 228-233. [In Russ.].
11. Kalmykov V.V., Fedorova O.S. Basic statistical methods for analyzing experimental results // Science, Technology and Education. 2016. No. 1. P. 68-75. [In Russ.].
12. Qualimetric assessment of the antioxidant activity of food antioxidants in meat systems / S.N. Kidyaev [et al.] // Storage and processing of agricultural raw materials. 2024. No. 2. P. 79-88. [In Russ.].
13. Sharygina Ya.I. Improving the technology of minced meat semi-finished products using natural substances with antioxidant properties: Specialty 05.18.04 Technology of Meat, Dairy, and Fish Products and Refrigeration Production: dis. ... PhD (Eng.). Kaliningrad, 2011. 212 p. [In Russ.].
14. Stetzer A.J., Novakofski J.E., Brewer M.S. A research note: Effect of citric acid and/or rosemary extract on the color of an irradiated beef myoglobin model system // Journal of Muscle Foods. 2009. Vol. 20, No. 1. P. 28-36.

15. Rojas M.C., Brewer M.S. Effect of natural antioxidants on oxidative stability of frozen, vacuum-packaged beef and pork // Journal of Food Quality. 2008. Vol. 31, No. 2. P. 173-188.

16. Natural phenolic compounds for the control of oxidation, bacterial spoilage, and foodborne pathogens in meat / A.I. Kalogianni [et al.] // Foods. 2020. Vol. 9, No. 6. P. 794.

Информация об авторах / Information about the authors

Арабова Зарема Михайловна, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории инструментальных методов и органических реагентов, Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук; 119334, Российская Федерация, г. Москва, ул. Косыгина, 19, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>, e-mail: zar.arabova@yandex.ru

Нугманов Альберт Хамед-Харисович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>, e-mail: nugmanov@rgau-msha.ru

Алексаян Игорь Юрьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологические машины и оборудование, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»; 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>, e-mail: 16081960igor@gmail.com

Одинцова Арина Александровна, кандидат технических наук, преподаватель кафедры управления качеством и товароведения продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8033-7820>, e-mail: odintsowaarina@rgau-msha.ru

Осмоловский Павел Дмитриевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>, e-mail: pavel.osmolovsku@rgau-msha.ru

Фоменко Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры экономики и управления предприятием, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»; 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8826-4009>, e-mail: tetatet.78@mail.ru

Zarema M. Arabova, PhD (Eng.), Researcher, the Laboratory of Instrumental Methods and Organic Reagents, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, the Russian Academy of Sciences; 119334, the Russian Federation, Moscow, 19 Kosygin St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>, e-mail: zar.arabova@yandex.ru

Albert Kh-Kh. Nugmanov, Dr Sci. (Eng.), Professor, Professor, the Department of Technology of Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Plant Products, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev; 127434, the Russian Federation, Moscow, 49 Timiryazevskaya St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>, e-mail: nugmanov@rgau-msha.ru

Igor Y. Aleksanyan, Dr Sci. (Eng.), Professor, the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University; 414056, the Russian Federation, Astrakhan, Tatishchev St., Bldg. 16/1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>, e-mail: 16081960igor@gmail.com

Arina A. Odintsova, PhD (Eng.), Lecturer, the Department of Quality Management and Commodity Science, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev; 127434, the Russian Federation, Moscow, 49 Timiryazevskaya St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8033-7820>, e-mail: odintsowaarina@rgau-msha.ru

Pavel D. Osmolovsky, PhD (Eng.), Associate Professor, the Department of Technology of Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Plant Products, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev; 127434, the Russian Federation, Moscow, 49 Timiryazevskaya St. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1131-1552>, e-mail: pavel.osmolovsku@rgau-msha.ru

Ekaterina V. Fomenko, PhD (Eng.), Associate Professor, the Department of Economics and Enterprise Management, Astrakhan State Technical University; 414056, the Russian Federation, Astrakhan, Tatishchev Street, Bldg. 16/1, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8826-4009>, e-mail: tetatet.78@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Арабова Зарема Михайловна – создание концепции исследования, разработка методики исследования, проведение экспериментов.

Нугманов Альберт Хамед-Харисович – научное руководство, обеспечение ресурсами. Алексанян Игорь Юрьевич – валидация данных.

Одинцова Арина Александровна – проведение экспериментов, оформление статьи по требованиям журнала.

Осмоловский Павел Дмитриевич – обработка результатов, участие в экспериментах.

Фоменко Екатерина Валерьевна – подбор литературных источников.

Claimed contribution of the authors

Zarema M. Arabova – research concept development, research methodology development, and conducting the experiment.

Albert Kh.-Kh. Nugmanov – scientific supervision, resource provision.

Igor Y. Aleksanyan – data validation.

Arina A. Odintsova – conducting the experiment, manuscript preparation in accordance with the Journal requirements.

Pavel D. Osmolovsky – results processing, participation in experiments.

Ekaterina V. Fomenko – literature review.

Поступила в редакцию 13.07.2026

Поступила после рецензирования 19.08.2026

Принята к публикации 20.08.2026

Received 13.07.2026

Revised 19.08.2026

Accepted 20.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-40-55>

УДК 637.631:612.015.11



Антиоксидантные свойства гидролизатов куриного пера

К.Э. Бетехтин, Н.А. Большев✉, В.В. Ядерец, Н.Г. Машенцева

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»;

г. Москва, Российская Федерация,

✉nickolai.bolshev@yandex.ru

Аннотация. Цель. Исследование антиоксидантных свойств пептидов, полученных при микробиологической ферментации перьевых отходов кератинолитическими штаммами *Bacillus licheniformis* БАЛ-1 и БАЛ-2. Методы. Мажорные пептидные последовательности (17 идентифицированных методом ЖХ-МС/МС с относительным содержанием >1 %) анализировали в базе BIOPEP-UWM для прогнозирования биоактивных профилей. Взаимодействие перспективных пептидов с Kelch-доме-ном белка Keap1 (PDB ID: 2FLU) оценивали методами молекулярного докинга (HPEPDOCK 2.0) и расчета термодинамических параметров комплексов (PRODIGY). Экспериментальную оценку общей антиоксидантной емкости (ОАЕ) гидролизатов проводили методами FRAP, DPPH и ORAC. Результаты. По данным *in silico*-анализа, большинство исследованных пептидов содержали фрагменты с прогнозируемой антиоксидантной активностью и формировали стабильные комплексы с Keap1. Наибольшую аффинность показал пептид GGGDIPRQPLYPLPPRPG, для которого рассчиты-ваны $\Delta G = -9,8$ ккал·моль⁻¹ и $K_d = 6,6 \times 10^{-8}$ М; данный пептид взаимодействовал с ключевыми остат-ками связывающего центра (GLU216, ARG146, GLN239), конкурируя с эндогенным лигандом Nrf2. В тестах FRAP и DPPH активность образцов находилась ниже предела обнаружения, что обуслов-лено дефицитом реакционноспособных аминокислот (Cys, Trp) в пептидных фракциях, тогда как по методу ORAC гидролизаты БАЛ-1 и БАЛ-2 превосходили исходное перо в 25,5 и 31,3 раза, достигая значений $812,68 \pm 32,62$ и $997,46 \pm 66,04$ мкмоль-экв. кверцетина/л соответственно. Заключение. По-лученные результаты подтверждают перспективность ферментированных гидролизатов куриного пера как источника биоактивных пептидов с двойным механизмом антиоксидантного действия (пря-мое гашение радикалов и активация Nrf2-пути) для дальнейшей разработки функциональных кор-мовых добавок. Практическая значимость работы заключается в обосновании возможности исполь-зования полученных гидролизатов в качестве компонента функциональных кормовых добавок для повышения резистентности сельскохозяйственной птицы к факторам окислительного стресса, что позволит снизить зависимость отрасли от синтетических антиоксидантов.

Ключевые слова: биоактивные пептиды; антиоксидантная активность; гидролизаты куриного пера; кератинсодержащие отходы; микробиологическая ферментация; *Bacillus licheniformis*; моле-кулярный докинг; Keap1/Nrf2; ORAC.

Для цитирования: Бетехтин К.Э., Большев Н.А., Ядерец В.В., Машенцева Н.Г. Антиоксидантные свойства гидролизатов куриного пера. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3): 40-55. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-40-55>

Финансирование: исследования проводились в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» FSMF-2026-0002.

Antioxidant properties of chicken feather hydrolysates

K.E. Betekhtin, N.A. Bolshev✉, V.V. Yaderets, N.G. Mashenzeva

Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH);
Moscow, the Russian Federation,
✉nickolai.bolshev@yandex.ru

Abstract. The goal of the research was to study the antioxidant properties of peptides obtained during microbiological fermentation of feather waste with keratinolytic strains of *Bacillus licheniformis* BAL-1 and BAL-2. **The methods.** The major 17 peptide sequences identified by LC-MS/MS with a relative content of >1% were analyzed in the BIOPEP-UWM database to predict bioactive profiles. The interaction of promising peptides with the Kelch domain of the Keap1 protein (PDB ID: 2FLU) was assessed using molecular docking (HPEPDOCK 2.0) and calculation of the thermodynamic parameters of the complexes (PRODIGY). Experimental assessment of the total antioxidant capacity (TAC) of the hydrolysates was performed using the FRAP, DPPH, and ORAC methods. **The results.** According to the *in silico* -analysis, most of the studied peptides contained fragments with the predicted antioxidant activity and formed stable complexes with Keap1. The highest affinity was demonstrated by the GGGDI-PRQPLYPLPPRPG peptide, for which $\Delta G = -9.8 \text{ kcal mol}^{-1}$ and $K_d = 6.6 \times 10^{-8} \text{ M}$ were calculated; this peptide interacted with the key residues of the binding site (GLU216, ARG146, GLN239), competing with the endogenous ligand Nrf2. In the FRAP and DPPH tests, the activity of the samples was below the detection limit, which was due to the deficiency of reactive amino acids (Cys, Trp) in the peptide fractions. Whereas, according to the ORAC method, the BAL-1 and BAL-2 hydrolysates exceeded the original feather by 25.5 and 31.3 times, reaching values of 812.68 ± 32.62 and $997.46 \pm 66.04 \text{ } \mu\text{mol-eq. quercetin/L}$, respectively. **Conclusion.** The obtained results confirm the potential of fermented chicken feather hydrolysates as a source of bioactive peptides with a dual mechanism of antioxidant action (direct radical scavenging and Nrf2 pathway activation) for the further development of functional feed additives. The practical significance of the research lies in substantiating the possibility of using the obtained hydrolysates as a component of functional feed additives to enhance the resistance of poultry to oxidative stress factors, thereby reducing the dependence of the industry on synthetic antioxidants.

Keywords: bioactive peptides; antioxidant activity; chicken feather hydrolysates; keratin-containing waste; microbiological fermentation; *Bacillus licheniformis*; molecular docking; Keap1/Nrf2; ORAC

For citation: Betekhtin K.E., Bolshev N.A., Yaderets V.V., Mashenzeva N.G. Antioxidant properties of chicken feather hydrolysates. *Novye tehnologii / New Technologies*. 2026; 22(3):40-55. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-40-55>

Funding: The research was conducted within the state assignment FSMF-2026-0002 to “ROSBIO-OTEKH”

Введение. Окислительный стресс определяется как дисбаланс между образованием активных форм кислорода (АФК), активных форм азота (АФА) и других свободных радикалов, с одной стороны, и способностью биологической системы нейтрализовать эти соединения или восстанавливать причиненный ими ущерб, с другой [1, с. 180]. В условиях современного интенсивного животноводства и птицеводства, характеризующихся высоким уровнем продуктивности и ускоренным метаболизмом,

организм животных становится особенно восприимчивым к развитию данного состояния. Проблемой также является то, что в период стресса потребление корма снижается, вследствие чего поступление необходимых для поддержания антиоксидантного статуса алиментарных нутриентов резко падает. Одновременно с этим скорость образования свободных радикалов многократно возрастает, что приводит к быстрому истощению эндогенной антиоксидантной системы (супероксиддисмутазы,

каталазы, глутатионпероксидазы). В результате запускается каскад перекисного окисления липидов, повреждаются клеточные мембраны и нарушаются метаболические процессы, что напрямую ведет к снижению продуктивности, ухудшению качества продукции и падению сохранности поголовья [2, с. 1; 3, с. 3]. Традиционным методом профилактики окислительного стресса является введение в рацион синтетических антиоксидантов (например, этоксицина, ионола, сантохина). Однако их бесконтрольное или избыточное применение может приводить к обратному эффекту – «антиоксидантному стрессу». В этом состоянии избыток антиоксидантов начинает подавлять иммунную систему и нарушать естественную клеточную сигнализацию [4, с. 464]. В связи с этим возрастает актуальность поиска натуральных и безопасных альтернатив, в рамках которого одной из наиболее перспективных групп выступают биологически активные пептиды (БАП). Биологически активные пептиды представляют собой короткие пептидные последовательности, содержащие от 2 до 40 аминокислотных остатков, которые обладают физиологической активностью, выходящей за рамки обеспечения базовых потребностей организма в питании [5, с. 143]. Например, есть исследования, которые доказывают антиоксидантное [6, с. 1], противовоспалительное, иммуномодулирующее, антимикробное действия [7, с. 1]. Для получения БАП используют различные способы – ферментативный гидролиз, обработка нативного белка щелочами и кислотами, ферментация микроорганизмами, а также менее распространенные ввиду высокой стоимости химический синтез и рекомбинантные технологии [8, с. 1]. Источниками БАП могут служить побочные продукты пищевой и перерабатывающей промышленности [9, с. 1]. Особый интерес среди БАП представляет группа антиоксидантных пептидов. Доказано, что пептиды из белковых гидролизатов могут реализовывать защитные функции через следующие меха-

низмы: инактивацию активных форм кислорода (АФК), удаление свободных радикалов, ингибирование перекисного окисления липидов (ПОЛ), хелатирование ионов переходных металлов (Fe^{2+} , Cu^{2+}), катализирующих образование радикалов, или комбинации этих механизмов [10, с. 1]. Особенностью антиоксидантных пептидов является большой процент содержания таких аминокислот, как пролин, гистидин, тирозин и триптофан [11, с. 1]. Однако антиоксидантное действие БАП не ограничивается прямым поглощением свободных радикалов. В последние годы накоплены данные о способности биоактивных пептидов активировать эндогенную антиоксидантную защиту через сигнальный путь Nrf2 (Nuclear factor erythroid 2-related factor 2) [12, с. 31]. Nrf2 является ключевым фактором транскрипции, который при активации перемещается в ядро клетки и связывается с антиоксидантным ответным элементом (ARE) в промоторных областях генов. Это запускает экспрессию широкого спектра цитопротекторных ферментов, включая супероксиддисмутазу (СОД), каталазу, глутатионпероксидазу, гемоксигеназу-1 и глутатион-S-трансферазу [13, с. 1; 14, с. 1727]. В отличие от экзогенных антиоксидантов, которые непосредственно нейтрализуют свободные радикалы, Nrf2-активирующие пептиды усиливают собственную антиоксидантную систему организма, обеспечивая более устойчивую и физиологичную защиту от окислительного стресса [15, с. 1]. Keap1 в данной системе является ключевым негативным регулятором транскрипционного фактора Nrf2, обеспечивая его убиквитин-зависимую деградацию в фоновых (без стресса) условиях и тем самым репрессировав антиоксидантный ответ. Ингибирование взаимодействия Keap1-Nrf2 рассматривается как перспективная стратегия для активации эндогенной антиоксидантной защиты и нашло экспериментальное подтверждение в ряде исследований как *in vitro*, так и *in vivo* на различных моделях патологических состояний, включая острые

повреждения легких [16, с. 4889], инфаркт миокарда [17, с. 1] и нейродегенеративные процессы. В частности, пептидные ингибиторы, связывающиеся с Kelch-доменом Keap1, конкурентно блокируют участок посадки Nrf2, что приводит к накоплению последнего и последующей активации транскрипции генов антиоксидантной защиты. Этот механизм был подтвержден *in vivo* для таких соединений, как циклический пептид ZC9 [16, с. 4889] и бициклический липопептид LAS200813 [18, с. 1]. Данный механизм действия согласуется с современным подходом в биохимии стресса, направленным на стимуляцию эндогенных защитных систем, а не на прямое введение антиоксидантов [19, с. 401]. Таким образом, биоактивные пептиды представляют перспективный инструмент для использования в животноводстве и птицеводстве в качестве агентов для профилактики и коррекции окислительного стресса, поскольку они обладают двойным механизмом действия: прямым (поглощение радикалов, хелатирование металлов) и опосредованным (активация Nrf2-пути и усиление эндогенной антиоксидантной защиты). Отдельного внимания заслуживает переработка отходов пищевых производств в ценные биоактивные соединения. Успешным примером такой переработки является получение коллагеновых пептидов из побочных продуктов животноводства и рыбной промышленности – кожи, костей, хрящей, чешуи. Коллагенсодержащие отходы, которые ранее рассматривались как балластные, сегодня служат ценным сырьем для производства биологически активных пептидов с доказанной антиоксидантной, иммуномодулирующей и регенеративной активностью [20, с. 1]. Ферментативный гидролиз коллагена с использованием протеаз (пепсина, папаина, щелочной протеазы) позволяет получать низкомолекулярные пептиды с высокой биодоступностью, которые могут применяться в качестве функциональных ингредиентов в кормах для животных [20, с. 1]. Более сложным объектом для перера-

ботки является кератинсодержащее сырье. Основную массу таких отходов представляют собой куриные перья, которые образуются в количестве 5–7% от живой массы птицы и составляют значительную долю твердых отходов птицеперерабатывающих предприятий [21, с. 5]. Перо является ценным источником белка (до 90% по сухому веществу), однако он представлен в форме β -кератина – фибриллярного белка с трехмерной структурой, стабилизированной многочисленными дисульфидными связями, водородными связями и гидрофобными взаимодействиями [22, с. 372]. Эта плотная организация делает нативный кератин практически недоступным для действия стандартных пищеварительных ферментов (пепсина, трипсина, папаина), что обуславливает крайне низкую усвояемость традиционной перьевой муки. Гидролиз щелочами, в свою очередь, обладает существенными недостатками: высокая энергоемкость, частичная деструкция незаменимых аминокислот (лизина, метионина, цистеина) и образование токсичных побочных продуктов, таких как лизиноаланин [22, с. 372]. В связи с этим в современной биотехнологии все большее значение приобретают альтернативные методы переработки – микробиологическая ферментация и ферментативный гидролиз с использованием специфических кератиназ. Например, представители рода *Bacillus* (*B. licheniformis*, *B. subtilis*, *B. pumilus*) способны использовать перьевые отходы как единственный источник углерода и азота. В процессе ферментации бактерии секретируют комплекс ферментов: кератиназы, разрушающие дисульфидные мостики β -кератина, и протеазы, гидролизующие денатурированный белок до низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот [21, с. 5]. При оптимизированных параметрах глубинной ферментации кератинолитическая активность достигает максимума через 5–7 суток, обеспечивая гидролиз до 90–95% кератинового субстрата [21, с. 5]. В настоящем исследовании проведена оценка

антиоксидантного потенциала пептидных фракций, полученных при ферментации штаммов *Bacillus licheniformis* БАЛ-1 (ВКПМ В-14243) и БАЛ-2 (ВКПМ В-14244) на среде, где в качестве единственного источника азота и углерода использована перьевая мука. Для комплексной оценки в работе применена комбинация методов *in silico* и *in vitro*.

Объекты и методы. Методологический подход включал несколько последовательных этапов. На первом этапе осуществляли ферментацию куриного пера с использованием штаммов *Bacillus licheniformis* и идентифицировали образовавшиеся пептидные последовательности методом ЖХ-МС/МС, после чего проводили их *in silico* скрининг в базе данных BIOPEP-UWM [23, с. 10635] для прогнозирования потенциальных биоактивных профилей. На втором этапе выполняли экспериментальную верификацию антиоксидантной активности полученных гидролизатов *in vitro*: для этого у исследуемых образцов культуральной жидкости определяли общую антиоксидантную емкость (ОАЕ) методами Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP), радикала DPPH и Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC). На заключительном этапе для определения у пептидов потенциальных клеточных механизмов борьбы с окислительным стрессом проводили молекулярный докинг с белком-мишенью Keap1.

Гидролизаты куриного пера были получены при культивировании штаммов *Bacillus licheniformis* БАЛ-1 и БАЛ-2 (по отдельности) в питательной среде, где перо бройлеров являлось единственным источником углерода. Штаммы культивировали в течение 72 ч при 37 °С при постоянном перемешивании. Культуральную жидкость отделяли от биомассы центрифугированием и использовали для протеомного анализа методом ЖХ-МС/МС. Мажорные пептидные последовательности, то есть содержащие более 1%, в полученных гидролизатах пера, идентифицировали методом ЖХ-МС/МС с

использованием Orbitrap Lumos Tribrid и программного обеспечения PEAKS Studio 11.0. Для оценки мажорных последовательностей учитывали относительное содержание пептидов (>1 %) [24, с. 166].

Для оценки потенциальной активности полученных пептидов использовалась база данных BIOPEP-UWM [23, с. 10635]. Антиоксидантный потенциал исследуемых образцов оценивали по общей антиоксидантной емкости (ОАЕ) методами FRAP, DPPH и ORAC. Перед анализом образцы центрифугировали при 4 °С и 10000 об/мин в течение 8 мин. Метод FRAP проводили на спектрофотометре СФ-2000 при 594 нм с использованием реактива, содержащего ацетатный буфер, ТРТЗ и хлорид железа (III); реакцию смесь инкубировали 30 мин при 37 °С в темноте. Метод DPPH выполняли на спектрофотометре СФ-2000 при 517 нм после 30-минутной инкубации образца с этанольным раствором радикала DPPH при 22±2 °С в темноте. Метод ORAC проводили на флуориметре-люминометре Fluoroskan Ascent FL с использованием флуоресцеина натрия и ААРН при длинах волн возбуждения и эмиссии 485 и 535 нм соответственно; измерение флуоресценции выполняли при 37 °С в течение 60 мин с интервалом 5 мин. Все измерения проводили в четырех повторях, ОАЕ рассчитывали по градуировочным графикам с кверцетином, значения получили в мкмоль-экв. кверцетина / л образца. Для обоснования потенциальной антиоксидантной активности на клеточном уровне провели молекулярный докинг мажорных пептидных последовательностей с мишенью PDB ID: 2FLU, то есть белком Keap1.

Для проведения молекулярного докинга использован веб-сервис HPERDOCK 2.0 [25, с. W443]. Выбор данного веб-сервиса обусловлен тем, что подготовка лиганда и рецептора осуществляется в автоматическом режиме, а также высокой точностью предсказания за счет проведения множественных стыковок. Например, при валидации на тестовых наборах данных попадание правильного комплекса в топ-10 про-

гнозов для HPERDOCK составило в среднем 0,912, тогда как для другого популярного сервиса perATTRACT – лишь 0,614 [25, с. W443]. Алгоритм портала проводит 100 независимых стыковок, оценивает их между собой и предоставляет в качестве результата 10 наиболее вероятных моделей комплекса. Для ранжирования результатов применяется оценочный балл (dock-score); этот показатель не отражает аффинность комплекса или биологическую активность и служит исключительно как способ оценки и сравнения моделей между собой.

Для количественной оценки биологической значимости полученных моделей комплексов применен веб-сервис PRODIGY (PROtein binDIng enerGY prediction) [26]. Данный инструмент предсказывает свободную энергию связывания (ΔG) и константу диссоциации (K_d) на основе анализа трехмерной структуры комплекса, используя контактно-зависимый алгоритм, валидированный на наборах данных белок-белок и белок-лиганд, что позволяет оценить биологическую значимость комплекса белок-лиганд.

Для подготовки моделей к анализу в сервисе PRODIGY использовано программное обеспечение Discovery Studio (версия 2021, Dassault Systèmes). Подготовка моделей включала удаление молекул кристаллизационной воды (за исключением структурно важных), добавление атомов водорода, оптимизацию протонирования при физиологическом значении pH, а также формирование из двух файлов (рецептор и лиганд) единого комплекса с последующим сохранением результата в формате .pdb. Визуализация контактов была выполнена с помощью Discovery Studio и LigPlot, который позволяет построить двухмерную модель связывания.

Результаты. Методом ЖХ-МС/МС в гидролизатах перьевых отходов, полученных ферментацией штаммами *B. licheniformis* БАЛ-1 и БАЛ-2, был идентифицирован ряд мажорных пептидных последовательностей (относительное содержание >1 %). Результаты первичного скри-

нинга данных последовательностей в базе BIOPEP-UWM представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что большинство идентифицированных мажорных пептидных последовательностей обладают прогнозируемой антиоксидантной активностью либо содержат фрагменты с доказанной антиоксидантной активностью. Также следует отметить, что большинство пептидов способно проявлять ингибирующую активность в отношении ангиотензин-превращающего фермента (АПФ) и дипептидилпептидазы-4 (ДПП-4), что указывает на их многофункциональный характер.

Для оценки способности наиболее перспективных антиоксидантных пептидов взаимодействовать с Keap1 и, предположительно, активировать Nrf2-зависимый путь антиоксидантной защиты был проведен молекулярный докинг с использованием веб-сервиса HPERDOCK 2.0. В качестве мишени выбрана кристаллографическая структура 2FLU – комплекс Kelch-домена Keap1 с пептидом Nrf2, содержащим мотив ETGE. Результаты докинга представлены в таблице 2.

Анализ межмолекулярных взаимодействий показал, что все исследованные пептиды способны формировать стабильные комплексы с Kelch-доменом Keap1. Наибольшее число контактов и наиболее разнообразный характер взаимодействий характерен для пептида GGGDIPRQPLYPPLPPRPG (штамм БАЛ-2), который образует связи с семью аминокислотными остатками рецептора, включая водородные, электростатические и гидрофобные взаимодействия.

Ключевым для понимания механизма действия является тот факт, что в структуре 2FLU сайт связывания Nrf2 образован преимущественно остатками GLU216, ARG146, TYR248, ARG415 и GLN239, формирующими полярный карман на поверхности Kelch-домена. Именно с этими остатками эндогенный лиганд – пептид Nrf2 с мотивом ETGE – образует сеть электростатических и водородных связей, обеспечивающих высокую аффинность ком-

плекса Keap1–Nrf2. В случае пептида GGGDIPRQPLYPPLPPRPG наблюдается прямое взаимодействие с GLU216, ARG146 и GLN239 – тремя ключевыми элементами связывающего центра. Это указывает на то, что исследуемый пептид занимает ту же нишу, что и эндогенный лиганд (Nrf2), что

позволяет предположить конкурентный механизм ингибирования.

Для количественной оценки прочности связывания пептидов с Keap1 рассчитаны значения свободной энергии связывания (ΔG) и константы диссоциации (K_d) с использованием сервиса PRODIGY (табл. 3).

Таблица 1. Прогнозируемая биологическая активность мажорных пептидов гидролизатов по данным BIOPEP-UWM

Table 1. Predicted biological activity of major peptide hydrolysates according to BIOPEP-UWM data

№	Пептидная последовательность	Прогнозируемая активность	Фрагменты с известной активностью
<i>Пептиды штамма B. licheniformis БАЛ-1</i>			
1	PTLLQPVHVEID	АПФ-ингибитор, ингибитор ДПП-4, антиоксидантная, стимулирующая	LQP; QP; VE; LL
2	PTLLQPVHVEI	АПФ-ингибитор, ингибитор ДПП-4, антиоксидантная, стимулирующая	LQP; QP; VE; LL
3	SLPLSVKFLHNPД	АПФ-ингибитор, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	PL; LHN; LP
4	LGEDSLPLSVKFLHNPД	АПФ-ингибитор, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	VK; LHN; NP
5	VIFENYIQNLRRQLD	АПФ-ингибитор, антибактериальная, ингибитор ДПП-4, противовирусная	IF; RR; IQ
6	PQIQQVKNQEKQIKTLNNQFASFID	АПФ-ингибитор, ингибитор ДПП-4	VK; FA
7	ILIANMGD	АПФ-ингибитор, стимулирующая	IA; IL
8	KQFYPNVVKEGSVMLQID	АПФ-ингибитор, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	YP; FY; VV
9	IAGTSLKLSDLHANHLRVD	АПФ-ингибитор, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	IA; LH; HA
10	SGLLSTNEKLTMQNLNDRLASYMD	АПФ-ингибитор, стимулирующая, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	LA; LL; LT
<i>Пептиды штамма B. licheniformis БАЛ-2</i>			
1	GVPISGGF	АПФ-ингибитор, ингибитор ДПП-4	VP; GF
2	TIPGPILS	АПФ-ингибитор, стимулирующая, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	GP; IL; IP
3	TLPGPILS	АПФ-ингибитор, стимулирующая, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	LPG; IL; GP; PG
4	VPISSGGF	АПФ-ингибитор, ингибитор ДПП-4	VP; GG
5	GGGDIPRQPLYPPLPPRPG	АПФ-ингибитор, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	PLP; LY; PP
6	KGLEPIEPNPE	АПФ-ингибитор, ингибитор ДПП-4	GL; EP
7	QPLYPPLPPRPG	АПФ-ингибитор, антиоксидантная, ингибитор ДПП-4	PL; LY; PP

Таблица 2. Межмолекулярные взаимодействия пептидов с Kelch-доменом Keap1 (2FLU)
Table 2. Intermolecular interactions of peptides with the Kelch domain of Keap1 (2FLU)

Лиганд	Аминокислотный остаток рецептора (цепь А)	Тип взаимодействия (число контактов)
GGGDIPRQPLYPPLPPRPG	GLU216	Водородная (2), электростатическая (1)
	ASP25	Электростатическая (1), водородная (1)
	GLN239	Водородная (2)
	PRO23	Водородная (1), гидрофобная (1)
	ARG146	Гидрофобная (2)
	SER24	Водородная (1)
	LEU147, HIS192, HIS238, VAL237	Гидрофобная (по 1)
TIPGPILS	ARG91	Электростатическая (1)
	GLY43, ILE92	Водородная (по 1)
	ALA42, VAL45, CYS44, ILE92, VAL96	Гидрофобная (по 1–2)
SLPLSVKFLHNPD	ARG12	Электростатическая (3)
	ASP294, GLU295	Электростатическая / водородная
	TYR248, GLY250	Водородная (по 1)
	TYR201, LEU293	Электростатическая / гидрофобная
KGLEPIEPNPE	GLU295	Водородная (1), электростатическая (1)
	HIS251	Водородная (2)
	TYR248	Водородная (1), гидрофобная (1)
	GLY298, PHE11, ARG12, LEU293	Водородная / гидрофобная
KQFYPNVVKEGSMVLQID	GLU218	Электростатическая (2), водородная (2)
	ARG146	Гидрофобная (2)
	VAL143, LEU49, VAL215	Гидрофобная (по 1)
PQIQQVKNQEKEQIKTLN NQFASFID	GLU218	Смешанная (водородная + электростатическая) (2)
	ARG146	Гидрофобная (2)
	VAL143, LEU49, VAL215	Гидрофобная (по 1)

Таблица 3. Термодинамические параметры связывания пептидов с Kelch-доменом Keap1
Table 3. Thermodynamic parameters of peptide binding to the Keap1 Kelch domain

Последовательность	ΔG , ккал·моль ⁻¹	Kd, M (25 °C)
GGGDIPRQPLYPPLPPRPG	–9,8	$6,6 \times 10^{-8}$
TIPGPILS	–8,8	$3,4 \times 10^{-7}$
SLPLSVKFLHNPD	–8,2	$9,3 \times 10^{-7}$
KGLEPIEPNPE	–8,1	$1,1 \times 10^{-6}$
KQFYPNVVKEGSMVLQID	–7,8	$1,8 \times 10^{-6}$
PQIQQVKNQEKEQIKTLN NQFASFID	–7,6	$1,2 \times 10^{-7}$

Наиболее отрицательное значение свободной энергии связывания ($\Delta G = -9,8$ ккал·моль⁻¹) и наименьшая константа диссоциации ($K_d = 6,6 \times 10^{-8}$ М) характерны для пептида GGGDIPRQPLYPPLPPRPG, что свидетельствует о формировании наиболее стабильного комплекса с Keap1. Значения ΔG для остальных пептидов находятся в диапазоне от $-7,6$ до $-8,8$ ккал·моль⁻¹, что также указывает на высокую аффинность связывания. Полученные значения могут указывать на биологическую значимость белок-лигандных взаимодействий.

Трехмерная модель комплекса пептида GGGDIPRQPLYPPLPPRPG с Kelch-доменом Keap1 представлена на рисунке 1.

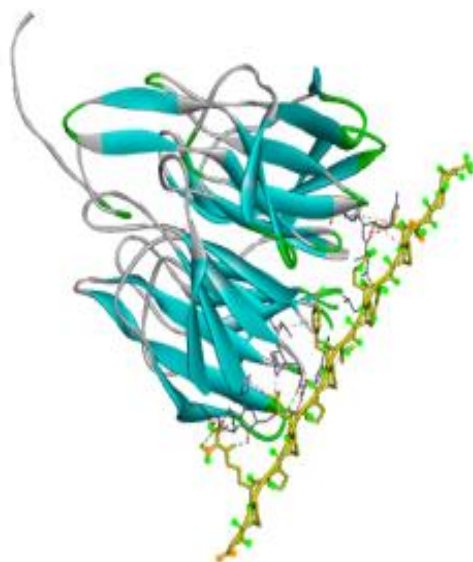
Для экспериментального подтверждения антиоксидантного потенциала исследуемых образцов была определена их общая антиоксидантная емкость методами FRAP, DPPH и ORAC. Полученные данные показали, что при использовании методов FRAP и DPPH антиоксидантная активность всех образцов находилась ниже предела обнаружения. При этом методом ORAC была выявлена выраженная антиоксидантная емкость у гидролизатов штаммов БАЛ-1 и БАЛ-2, тогда как для исходного пера данный показатель был существенно ниже.

Наибольшее значение ОАЕ по методу ORAC было установлено для гидролизата штамма БАЛ-2 – $997,46 \pm 66,04$ мкмоль-экв.

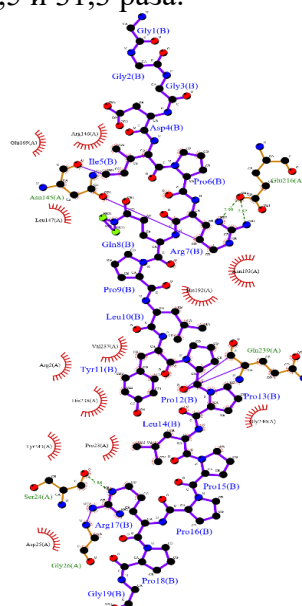
кверцетина/л образца. Для гидролизата штамма БАЛ-1 данный показатель составил $812,68 \pm 32,62$ мкмоль-экв. кверцетина/л образца. Минимальная антиоксидантная емкость была отмечена для исходного пера – $31,85 \pm 4,40$ мкмоль-экв. кверцетина/л образца. Таким образом, ферментированные образцы БАЛ-1 и БАЛ-2 характеризовались более высокой антиоксидантной емкостью по сравнению с исходным перьевым субстратом.

Обсуждение. Полученные в настоящем исследовании данные свидетельствуют о том, что микробиологическая ферментация

перьевых отходов штаммами *Bacillus licheniformis* БАЛ-1 и БАЛ-2 приводит к существенному увеличению антиоксидантной емкости гидролизатов в сравнении с нативным пером. Значения данного показателя, определенные методом ORAC, составили $812,68 \pm 32,62$ и $997,46 \pm 66,04$ мкмоль-экв. кверцетина/л для гидролизатов БАЛ-1 и БАЛ-2 соответственно, тогда как для нативного перьевого субстрата этот показатель находился на уровне $31,85 \pm 4,40$ мкмоль-экв. кверцетина/л, что соответствует увеличению антиоксидантной емкости в 25,5 и 31,3 раза.



а. Keap1 (цепь А) и пептид GGGDIPRQPLYPPLPPRPG, общий план



б. Keap1 (цепь А) и пептид GGGDIPRQPLYPPLPPRPG, детализация контактов (LigPlot)

Рис. 1. Трехмерная и двухмерная модель комплекса пептида GGGDIPRQPLYPPLPPRPG с Kelch-доменом Keap1 (PDB ID: 2FLU)

Fig. 1. Three-dimensional and two-dimensional model of the complex of the GGGDIPRQPLYPPLPPRPG peptide with the Keap1 Kelch domain (PDB ID: 2FLU)

Таблица 4. Общая антиоксидантная емкость исследуемых образцов по методу ORAC, мкмоль-экв. кверцетина/л

Table 4. Total antioxidant capacity of the studied samples according to the ORAC method, $\mu\text{mol-eq quercetin/l}$

Повторность	Гидролизат штамма БАЛ-1	Гидролизат штамма БАЛ-2	Перо
1	774,31	950,55	28,12
2	853,90	939,18	36,65
3	814,10	1081,32	28,12
4	808,42	1018,78	34,52
Среднее	$812,68 \pm 32,62$	$997,46 \pm 66,04$	$31,85 \pm 4,40$

Примечание: значения приведены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение.

Стоит отметить, что исследования антиоксидантных свойств пептидных гидролизатов затруднены, так как существует огромное разнообразие единиц измерения, используемых в литературных источниках, что затрудняет прямое сравнение полученных данных. Для перевода результатов из кверцетин-эквивалентов в тролокс-эквиваленты, принятые в большинстве международных исследований, могут быть использованы коэффициенты пересчета, предложенные в работе [28, с. 1496]. С учетом того, что кверцетин обладает приблизительно в 2,07 раза более высокой антиоксидантной активностью в системе ORAC по сравнению со стандартным водорастворимым аналогом токоферола – тролоксом, пересчет полученных значений в тролокс-эквиваленты дает показатели 1682 ± 68 и 2065 ± 137 мкмоль ТЕ/л для гидролизатов БАЛ-1 и БАЛ-2 соответственно.

Данные величины находятся в диапазоне, сопоставимом с результатами, представленными в литературе для пептидных антиоксидантов из различных белковых субстратов. В частности, для антиоксидантного пептида RR4, выделенного из молозива крупного рогатого скота, значение FRAP составило $2,08 \pm 0,07$ ммоль-экв. тролокса/л [29, с. 174], что близко к показателям, полученным в настоящем исследовании методом ORAC.

Вместе с тем необходимо отметить, что при использовании методов FRAP и

DRPH антиоксидантная активность всех исследованных образцов находилась ниже предела обнаружения. Данное расхождение результатов, полученных различными аналитическими подходами, может быть объяснено спецификой химических механизмов, лежащих в основе каждого из методов, а также особенностями аминокислотного состава пептидных фракций гидролизатов.

Согласно современным представлениям, антиоксидантная активность пептидов определяется реакционной способностью отдельных аминокислотных остатков, при этом общая активность пептида может варьировать от нуля до суммы активностей составляющих его аминокислот [27, с. 1]. Значения антиоксидантной активности могут быть меньше, чем математически рассчитанная сумма, поскольку трехмерная структура пептида может ограничивать доступ реакционных центров аминокислотных остатков к радикалам. В работе [27, с. 1] продемонстрировано, что в общую антиоксидантную емкость наибольший вклад вносят цистеин, тирозин и триптофан, тогда как гистидин, аргинин и цистин проявляют умеренную активность (табл. 5).

Анализ мажорных пептидов, идентифицированных методом ЖХ-МС/МС, показал следующее распределение реакционноспособных остатков, представленных в таблице 6.

Таблица 5. Реакционная способность аминокислот в различных методах оценки антиоксидантной активности [27, с. 1]

Table 5. Reactivity of amino acids in various methods for assessing antioxidant activity [27, p. 1]

Аминокислота	ABTS• [моль ТЕ/моль]	FRAP [моль ТЕ/моль]	CUPRAC [моль ТЕ/моль]
Цистеин (Cys)	$2,07 \pm 0,24$	$0,725 \pm 0,065$	$1,775 \pm 0,110$
Тирозин (Tyr)	$4,07 \pm 0,86$	$0,260 \pm 0,022$	$1,656 \pm 0,215$
Триптофан (Trp)	$3,32 \pm 0,52$	$0,385 \pm 0,007$	$0,401 \pm 0,042$
Цистин (Cys-Cys)	$0,15 \pm 0,02$	$0,045 \pm 0,003$	Нет реакции
Гистидин (His)	$0,50 \pm 0,10$	Нет реакции	Нет реакции
Аргинин (Arg)	$0,40 \pm 0,04$	Нет реакции	Нет реакции

Таблица 6. Анализ аминокислот в исследуемых пептидах
Table 6. Analysis of amino acids in the studied peptides

Штамм	Пептидные последовательности	Присутствующие аминокислотные остатки	Отсутствующие антиоксидантные аминокислотные остатки
БАЛ-1	PTLLQPVHVEID; PTLLQPVHVEI	гистидин (1 остаток)	цистеин, тирозин, триптофан
БАЛ-1	SLPLSVKFLHNPД; LGEDSLPLSVKFLHNPД	гистидин (1 остаток), фенилаланин (1 остаток)	цистеин, тирозин, триптофан
БАЛ-1	VIFENYIQNLRRQLD	тирозин (1 остаток)	цистеин, триптофан, гистидин
БАЛ-1	KQFYPNVVKEGSVMLQI D	тирозин (1 остаток), фенилаланин (1 остаток), метионин (1 остаток)	цистеин, триптофан, гистидин
БАЛ-1	SGLLSTNEKLTMQNLNDR LASYMD	тирозин (1 остаток), метионин (2 остатка)	цистеин, триптофан, гистидин
БАЛ-1	IAGTLSKLSDLHANLRLV D	гистидин (2 остатка)	цистеин, тирозин, триптофан
БАЛ-2	GVPISSGGF; TIPGPILS; TLPGPILS; VPISSGGF	отсутствуют	цистеин, тирозин, триптофан, гистидин, метионин
БАЛ-2	GGGDIPRQPLYPPLPPRPG	тирозин (1 остаток)	цистеин, триптофан, гистидин, метионин
БАЛ-2	QPLYPPLPPRPG	тирозин (1 остаток)	цистеин, триптофан, гистидин, метионин
БАЛ-2	KGLEIPEPNPE	отсутствуют	цистеин, тирозин, триптофан, гистидин, метионин

Как можно увидеть из таблицы 6, из 17 идентифицированных мажорных пептидов только 8 содержат хотя бы одну антиоксидантную аминокислоту (тирозин, Гистидин, метионин), при этом в большинстве случаев представлен лишь единственный остаток. Полное отсутствие цистеина и триптофана во всех пептидах является критическим фактором, поскольку именно эти аминокислоты обладают наибольшей реакционной способностью в методах FRAP и CUPRAC [27, с. 1]. Единичные остатки тирозина и гистидина не обеспечивают достаточной восстановительной емкости для детекции в методах FRAP и DPPH, что и объясняет получение результатов ниже предела обнаружения. Результаты молекулярного докинга позволяют предположить наличие у выявленных пептидов, наряду с прямым действием, опосредованный клеточный механизм действия через систему Keap1/Nrf2. Рассчитанная высокая аффинность пептида GGGDIPRQPLYPPLPPRPG к Kelch-домену Keap1 ($\Delta G = -9,8$ ккал·моль⁻¹; $K_d = 6,6 \times 10^{-8}$ М) и пространственное перекрытие его связывающего сайта с мотивом ETGE эндогенного лиганда Nrf2 указывают на потенциальную способность пептида конкурентно ингибировать взаимодействие Keap1-Nrf2,

предотвращая убиквитин-зависимую деградацию транскрипционного фактора. Следует подчеркнуть, что *in silico*-прогноз взаимодействия с Keap1 и *in vitro*-оценка антиоксидантной емкости отражают принципиально различные механизмы: первый характеризует потенциал клеточной сигнальной активации Nrf2-пути, второй – прямую химическую способность к гашению свободных радикалов. Отсутствие прямой корреляции между указанными параметрами является ожидаемым и согласуется с данными [30, с. 20062], продемонстрировавшими, что антиоксидантные пептиды, выделенные из кератина пера, реализуют свою активность в клеточных моделях преимущественно через активацию сигнального пути Keap1/Nrf2. Способность пищевых пептидов напрямую ингибировать взаимодействие Keap1-Nrf2 была ранее показана для пептидов яичного белка [31, с. 34963], что подтверждает обоснованность исследования данного подхода. Следует отметить ряд ограничений настоящего исследования. Во-первых, суммарный показатель ORAC-активности не может быть однозначно связан с конкретными пептидными последовательностями, поскольку определяется совокупным действием множества пептидных фрак-

ций и сопутствующих низкомолекулярных компонентов гидролизата. Во-вторых, для подтверждения опосредованного действия выявленных пептидов через систему Keap1/Nrf2 необходимы исследования на клеточных моделях. В-третьих, для установления количественного вклада отдельных пептидов в общую антиоксидантную емкость требуется фракционирование гидролизатов по молекулярной массе и характеристика очищенных пептидных фракций. Указанные направления планируется реализовать в дальнейших исследованиях.

Заключение. В результате исследования показано, что микробиологическая ферментация куриного пера штаммами *B. licheniformis* БАЛ-1 и БАЛ-2 приводит к формированию пептидных фракций с антиоксидантным потенциалом. По данным BIOPER-UWM, мажорные пептиды содержали фрагменты с прогнозируемой антиоксидантной активностью, а молекулярный

докинг подтвердил возможность их взаимодействия с Kelch-доменом Keap1; наибольшую аффинность показал пептид GGGDIPRQPLYPPPPRG ($\Delta G = -9,8$ ккал·моль⁻¹; $K_d = 6,6 \times 10^{-8}$ М). Экспериментально установлено, что показатели FRAP и DPPH для всех образцов находились ниже предела обнаружения, что обусловлено особенностями методов измерения и специфическим аминокислотным составом, полученным в результате ферментации; в то же время показатель ORAC был существенно выше у гидролизатов БАЛ-1 и БАЛ-2, чем у исходного пера. Максимальный показатель выявлен у гидролизата БАЛ-2 – $997,46 \pm 66,04$ мкмоль-экв. кверцетина/л образца; для БАЛ-1 он составил $812,68 \pm 32,62$, для пера – $31,85 \pm 4,40$. Полученные данные подтверждают перспективность гидролизатов *B. licheniformis* для дальнейшего изучения как основы функциональных кормовых добавок.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biology. 2015. No. 4. P. 180-183. DOI: 10.1016/j.redox.2015.01.005.
2. Poljsak B., Milisav I. The Neglected Significance of «Antioxidative Stress» // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2012. P. 1-11. DOI: 10.1155/2012/459835.
3. Surai P.F., Fisinin V. Modern anti-stress technologies in poultry farming: from antioxidants to vitagenes // Agricultural Biology. 2012. No. 4. P. 3-13.
4. Salganik R.I. The benefits and hazards of antioxidants: controlling apoptosis and other protective mechanisms in cancer patients and the human population // Journal of the American College of Nutrition. 2001. Vol. 20, No. 5. P. 464S-472S. DOI: 10.1080/07315724.2001.10719171.
5. Review on plant-derived bioactive peptides: biological activities, mechanism of action and utilizations in food development / Fan H. [et al.] // Journal of Future Foods. 2022. No. 2 (2). P. 143-159. DOI: 10.1016/j.jfut.2022.06.001.
6. A comprehensive review of shellfish peptides: Extraction, characterization, biological activity, and commercial potential / Guo S. [et al.] // Journal of Functional Foods. 2026. Vol. 140. P. 107252.
7. Anti-Inflammatory Function of Plant-Derived Bioactive Peptides: A Review / Liu W. [et al.] // Foods. 2022. No. 11 (15). P. 2361. DOI: 10.3390/foods11152361.
8. Bioactive Peptides: Synthesis, Sources, Applications, and Proposed Mechanisms of Action / Akbarian M. [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, No. 3. P. 1445. DOI: 10.3390/ijms23031445.

9. Emerging proteins as precursors of bioactive peptides/ hydrolysates with health benefits / Wang S. [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. 2022. Vol. 48. P. 100914. DOI: 10.1016/j.cofs.2022.100914.
10. Ovchinnikova T.V. Marine Peptides: Structure, Bioactivities, and a New Hope for Therapeutic Application // *Marine Drugs*. 2021. Vol. 19, No. 8. P. 407. DOI: 10.3390/md19080407.
11. A comprehensive review on bioactive peptides derived from milk and milk products of minor dairy species / Guha S. [et al.] // *Food Production, Processing and Nutrition*. 2021. No. 3v(1). P. 2. DOI: 10.1186/s43014-020-00046-6.
12. Biopeptides from vegetable proteins: new scientific evidences / Montesano D. [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. 2020. Vol. 31. P. 31-37. DOI: 10.1016/j.cofs.2019.12.004.
13. The Structure-Activity Relationship of the Antioxidant Peptides from Natural Proteins / Zou T.B. [et al.] // *Molecules*. 2016. Vol. 21, No. 1. P. 72. DOI: 10.3390/molecules21010072.
14. Tonelli C., Chio I.I.C., Tuveson D.A. Transcriptional Regulation by Nrf2 // *Antioxidants & Redox Signaling*. 2018. Vol. 29, No. 17. P. 1727-1745. DOI: 10.1089/ars.2017.7342.
15. Advances on the Antioxidant Peptides from Nuts: A Narrow Review / Zhao F. [et al.] // *Antioxidants*. 2022. No. 11(10). P. 2020. DOI: 10.3390/antiox11102020.
16. Cyclic Peptide Keap1–Nrf2 Protein–Protein Interaction Inhibitors: Design, Synthesis, and In Vivo Treatment of Acute Lung Injury / Zou J. [et al.] // *Journal of Medicinal Chemistry*. 2024. Vol. 67, No. 6. P. 4889-4903. DOI: 10.1021/acs.jmedchem.3c02263.
17. Protein-Like Polymers Targeting Keap1/Nrf2 as Therapeutics for Myocardial Infarction / Mesfin J.M [et al.] // *Advanced Materials*. 2025. Vol. 37 (27). P. 2417885.
18. Pharmacological characterization of a novel peptide inhibitor of the Keap1-Nrf2 protein-protein interaction / Aparici M. [et al.] // *Biochemical Pharmacology*. 2022. Vol. 204. P. 115226. DOI: 10.1016/j.bcp.2022.115226.
19. Ma Q. Role of Nrf2 in Oxidative Stress and Toxicity // *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. 2013. Vol. 53. P. 401-426. DOI: 10.1146/annurev-pharmtox-011112-140320.
20. Ma C., Chuang Y., Zhang J. Progress in Research on Animal Collagen Peptides: Preparation, Bioactivity, and Application // *Molecules*. 2025. Vol. 30 (15). P. 3061.
21. Пискаева А.И. Биотехнологические аспекты утилизации отходов птицеперерабатывающих предприятий // *Уникальные исследования XXI века*. 2016. № 10 (22). С. 5-12.
22. Daroit D.J., Brandelli A. A current assessment on the production of bacterial keratinases // *Critical Reviews in Biotechnology*. 2014. Vol. 34, No. 4. P. 372-384. DOI: 10.3109/07388551.2013.838215.
23. Minkiewicz P., Darewicz M., Iwaniak A. BIOPEP-UWM Database of Bioactive Peptides: Current State and Perspectives // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. Vol. 67 (38). P. 10635-10646. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b03064.
24. Бетехтин К.Э., Машенцева Н.Г., Зиганшин Р.Х. Образование биологически активных пептидов в гидролизатах пера, полученных с использованием *Bacillus licheniformis* БАЛ-1 и БАЛ-2. // *Биотехнология: научные исследования и связь с производством*. М., 2025. С. 166-170 DOI: 10.47804/978-5-89904-038-2-2024-170-173.
25. HPEPDOCK: a web server for blind peptide–protein docking based on a hierarchical algorithm / Zhou P. [et al.] // *Nucleic Acids Research*. 2018. Vol. 46(W1). P. W443-W450. DOI: 10.1093/nar/gky498.
26. Vangone A., Bonvin A.M.J.J. Contacts-based prediction of binding affinity in protein-protein complexes // *eLife*. 2015. No. 4. P. e07454. DOI: 10.7554/eLife.07454.
27. Kut K., Bartosz G., Sadowska-Bartos I. Denaturation and Digestion Increase the Antioxidant Capacity of Proteins // *Processes*. 2023. No. 11(5). P. 1362. DOI: 10.3390/pr11051362.
28. Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay / Apak R. [et al.] // *Molecules*. 2007. No. 12(7). P. 1496-1547. DOI: 10.3390/molecules12071496.
29. Выделение, характеристика и перспективы использования пептидов молозива коров / Тихонов С.Л. [и др.] // *Ползуновский вестник*. 2022. № 4. С. 174-186.
30. Novel Antioxidant Peptides Derived from Feather Keratin Alleviate H₂O₂-Induced Oxidative Damage in HepG2 Cells via Keap1/Nrf2 Pathway / Pei X.D. [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023. Vol. 71, No. 50. P. 20062-20072. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c04567.

31. Direct inhibition of Keap1–Nrf2 interaction by egg-derived peptides DKK and DDW revealed by molecular docking and fluorescence polarization / Li L. [et al.] // RSC Advances. 2017. No. 7(56). P. 34963-34971. DOI: 10.1039/c7ra05934a.

REFERENCES

1. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine // Redox Biology. 2015. No. 4. P. 180-183. DOI: 10.1016/j.redox.2015.01.005.
2. Poljsak B., Milisav I. The Neglected Significance of «Antioxidative Stress» // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2012. P. 1-11. DOI: 10.1155/2012/459835.
3. Surai P.F., Fisinin V. Modern anti-stress technologies in poultry farming: from antioxidants to vitagenes // Agricultural Biology. 2012. No. 4. P. 3-13.
4. Salganik R.I. The benefits and hazards of antioxidants: controlling apoptosis and other protective mechanisms in cancer patients and the human population // Journal of the American College of Nutrition. 2001. Vol. 20, No. 5. P. 464S-472S. DOI: 10.1080/07315724.2001.10719171.
5. Review on plant-derived bioactive peptides: biological activities, mechanism of action and utilizations in food development / Fan H. [et al.] // Journal of Future Foods. 2022. No. 2 (2). P. 143-159. DOI: 10.1016/j.jfut.2022.06.001.
6. A comprehensive review of shellfish peptides: Extraction, characterization, biological activity, and commercial potential / Guo S. [et al.] // Journal of Functional Foods. 2026. Vol. 140. P. 107252.
7. Anti-Inflammatory Function of Plant-Derived Bioactive Peptides: A Review / Liu W. [et al.] // Foods. 2022. No. 11 (15). P. 2361. DOI: 10.3390/foods11152361.
8. Bioactive Peptides: Synthesis, Sources, Applications, and Proposed Mechanisms of Action / Akbarian M. [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, No. 3. P. 1445. DOI: 10.3390/ijms23031445.
9. Emerging proteins as precursors of bioactive peptides/ hydrolysates with health benefits / Wang S. [et al.] // Current Opinion in Food Science. 2022. Vol. 48. P. 100914. DOI: 10.1016/j.cofs.2022.100914.
10. Ovchinnikova T.V. Marine Peptides: Structure, Bioactivities, and a New Hope for Therapeutic Application // Marine Drugs. 2021. Vol. 19, No. 8. P. 407. DOI: 10.3390/md19080407.
11. A comprehensive review on bioactive peptides derived from milk and milk products of minor dairy species / Guha S. [et al.] // Food Production, Processing and Nutrition. 2021. No. 3v (1). P. 2. DOI: 10.1186/s43014-020-00046-6.
12. Biopeptides from vegetable proteins: new scientific evidences / Montesano D. [et al.] // Current Opinion in Food Science. 2020. Vol. 31. P. 31-37. DOI: 10.1016/j.cofs.2019.12.004.
13. The Structure-Activity Relationship of the Antioxidant Peptides from Natural Proteins / Zou T.B. [et al.] // Molecules. 2016. Vol. 21, No. 1. P. 72. DOI: 10.3390/molecules21010072.
14. Tonelli C., Chio I.I.C., Tuveson D.A. Transcriptional Regulation by Nrf2 // Antioxidants & Redox Signaling. 2018. Vol. 29, No. 17. P. 1727-1745. DOI: 10.1089/ars.2017.7342.
15. Advances on the Antioxidant Peptides from Nuts: A Narrow Review / Zhao F. [et al.] // Antioxidants. 2022. No. 11(10). P. 2020. DOI: 10.3390/antiox11102020.
16. Cyclic Peptide Keap1–Nrf2 Protein–Protein Interaction Inhibitors: Design, Synthesis, and In Vivo Treatment of Acute Lung Injury / Zou J. [et al.] // Journal of Medicinal Chemistry. 2024. Vol. 67, No. 6. P. 4889-4903. DOI: 10.1021/acs.jmedchem.3c02263.
17. Protein-Like Polymers Targeting Keap1/Nrf2 as Therapeutics for Myocardial Infarction / Mesfin J.M [et al.] // Advanced Materials. 2025. Vol. 37 (27). P. 2417885.
18. Pharmacological characterization of a novel peptide inhibitor of the Keap1–Nrf2 protein-protein interaction / Aparici M. [et al.] // Biochemical Pharmacology. 2022. Vol. 204. P. 115226. DOI: 10.1016/j.bcp.2022.115226.
19. Ma Q. Role of Nrf2 in Oxidative Stress and Toxicity // Annual Review of Pharmacology and Toxicology. 2013. Vol. 53. P. 401-426. DOI: 10.1146/annurev-pharmtox-011112-140320.
20. Ma C., Chuang Y., Zhang J. Progress in Research on Animal Collagen Peptides: Preparation, Bioactivity, and Application // Molecules. 2025. Vol. 30 (15). P. 3061.

21. Piskaeva, A.I. Biotechnological aspects of waste disposal at poultry processing plants // Unique research of the 21st century. 2016. No. 10 (22). P. 5-12. [In Russ.].
22. Daroit D.J., Brandelli A. A current assessment on the production of bacterial keratinases // Critical Reviews in Biotechnology. 2014. Vol. 34, No. 4. P. 372-384. DOI: 10.3109/07388551.2013.838215.
23. Minkiewicz P., Darewicz M., Iwaniak A. BIOPEP-UWM Database of Bioactive Peptides: Current State and Perspectives // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2019. Vol. 67 (38). P. 10635-10646. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b03064.
24. Betekhtin K.E., Mashenzeva N.G., Ziganshin R.Kh. Formation of biologically active peptides in feather hydrolysates obtained using *Bacillus licheniformis* BAL-1 and BAL-2. // Biotechnology: research and production links. Moscow, 2025. P. 166-170 DOI: 10.47804/978-5-89904-038-2-2024-170-173 [In Russ.].
25. HPEPDOCK: a web server for blind peptide–protein docking based on a hierarchical algorithm / Zhou P. [et al.] // Nucleic Acids Research. 2018. Vol. 46(W1). P. W443-W450. DOI: 10.1093/nar/gky498.
26. Vangone A., Bonvin A.M.J.J. Contacts-based prediction of binding affinity in protein-protein complexes // eLife. 2015. No. 4. P. e07454. DOI: 10.7554/eLife.07454.
27. Kut K., Bartosz G., Sadowska-Bartos I. Denaturation and Digestion Increase the Antioxidant Capacity of Proteins // Processes. 2023. No. 11(5). P. 1362. DOI: 10.3390/pr11051362.
28. Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay / Apak R. [et al.] // Molecules. 2007. No. 12(7). P. 1496-1547. DOI: 10.3390/molecules12071496.
29. Isolation, characteristics and prospects for the use of bovine colostrum peptides / Tikhonov S.L. [et al.] // Polzunovsky Bulletin. 2022. No. 4. P. 174-186. [In Russ.].
30. Novel Antioxidant Peptides Derived from Feather Keratin Alleviate H₂O₂-Induced Oxidative Damage in HepG2 Cells via Keap1/Nrf2 Pathway / Pei X.D. [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2023. Vol. 71, No. 50. P. 20062-20072. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c04567.
31. Direct inhibition of Keap1–Nrf2 interaction by egg-derived peptides DKK and DDW revealed by molecular docking and fluorescence polarization / Li L. [et al.] // RSC Advances. 2017. No. 7(56). P. 34963-34971. DOI: 10.1039/c7ra05934a.

Информация об авторах / Information about the authors

Бетехтин Кирилл Эдуардович, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»; 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1687-9801>

Большев Николай Алексеевич, магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»; 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3781-4410>, e-mail: nikolai.bolshev@yandex.ru

Ядерец Вера Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»; 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5220-7877>

Машенцева Наталья Геннадьевна, доктор технических наук, профессор, профессор РАН, профессор кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»; 125080, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9287-0585>

Kirill E. Betekhtin, Postgraduate student, Russian Biotechnology University (ROSBIO-OTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe Shosse, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1687-9801>

Nikolai A. Bolshev, Master student, Russian Biotechnology University (ROSBIO-OTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe Shosse, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3781-4410>, e-mail: nickolai.bolshev@yandex.ru

Vera V. Yaderets, PhD (Biology), Associate Professor, the Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Russian Biotechnology University (ROSBIO-OTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe Shosse, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5220-7877>

Natalya G. Mashenzeva, Dr Sci. (Eng.), Professor, the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Russian Biotechnology University (ROSBIO-OTECH); 125080, the Russian Federation, Moscow, 11 Volokolamskoe Shosse, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9287-0585>

Заявленный вклад авторов

Бетехтин Кирилл Эдуардович – проведение эксперимента, работа с базами данных.

Большев Николай Алексеевич – оформление работы по требованиям журнала, проведение молекулярного докинга.

Ядерев Вера Владимировна – подбор литературных источников, работа с введением и обсуждением результатов.

Машенцева Наталья Геннадьевна – разработка дизайна исследования, критическая редакция текста работы.

Claimed contribution of the authors

Kirill E. Betekhtin – conducting the experiment, database management.

Nikolai A. Bolshev – formatting the manuscript according to the Journal requirements, conducting molecular docking.

Vera V. Yaderets – selection of literary sources, presentation, and discussion of the results.

Natalya G. Mashenzeva – design, critical editing.

Поступила в редакцию 02.07.2026

Поступила после рецензирования 06.08.2026

Принята к публикации 07.08.2026

Received 02.07.2026

Revised 06.08.2026

Accepted 07.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-56-70>

УДК 637.5.03:641.55 (083)



Влияние составных компонентов рецептуры на формирование структуры и пищевую ценность мясных полуфабрикатов

А.Т. Васюкова^{1,2}, К.В. Любимова², Р.А. Эдварс¹,
А.Ф. Иванов¹, Ф.Н. Меретукова³

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Министерства сельского хозяйства Российской Федерации
«Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского»;
г. Балашиха, Российская Федерация,
✉vasyukova-at@yandex.ru

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский экономический университет им. В.Г. Плеханова»;
г. Москва, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»;
г. Майкоп, Российская Федерация

Аннотация. Введение. Оптимизация рецептуры – основной фактор при разработке функциональных мясных полуфабрикатов для лиц с ограниченными возможностями здоровья. **Целью** работы является оценка влияния малоиспользуемого растительного сырья на функционально-технологические характеристики мясных изделий на всех стадиях технологического цикла. **Объект и методы исследования.** Определены органолептические, реологические, физико-химические показатели полуфабрикатов и изделий, приготовленных в пароконвектомате по современным и общепринятым методикам. Объекты: мясной фарш, овощное сырье, котлеты (полуфабрикаты, кулинарные изделия). **Результаты и обсуждение.** Комбинирование мясных пищевых систем осуществляли с использованием в рецептуре одного и более мясных компонентов, овощных добавок и специй. Получено 8 рецептов мясных котлет, имеющих 60,7-75,7 % мясного компонента, 18,5-23,5 % овощей, 0,8 % специй. Установлен рН сырых полуфабрикатов 5,99-6,42, а готовых изделий 6,22-6,48. Плотность фарша 0,958-1,005 г/см³; количество влаги 73,0-81,6 %, и влагосвязывающая способность 73-84 %. Такая высокая ВСС обеспечивается за счет растительных добавок (крупы рисовой, ячневой, нута), что влияет на выход изделий при термообработке. Добавление 5-15 % крупы показали, что изменяется вкус и снижаются технологические свойства фарша. Оптимальная рецептура включает птицу, свинину, кабачок. Диапазон изменений рецептуры составил 20 %. Пищевая ценность фаршевой системы составляет: 8,5 г белка, 0,84 г жира и 76 г углеводов (в том числе 24,6 г пищевых волокон) на 100 г фарша. Оптимизированный симплекс-решетчатого метода Шеффе вариант рецептуры имеет высокую пищевую ценность: 15,3 г белка, 8,8 г жира, 5,2 г углеводов, 160,4 ккал на 100 г полуфабриката. Оценка качества готовых котлет 4,5-4,8 балла. **Заключение.** Смоделирован ряд рецептов мясных рубленых полуфабрикатов с растительными добавками. Полуфабрикаты в охлажденном виде (0-4 °С) или замороженные до -18 °С, упакованные в пакеты, хранятся 7-90 суток в соответствии с ТР ТС 021/2011.

Ключевые слова: полуфабрикаты, мясорастительные фарши, пищевые системы, показатели качества

Для цитирования: Васюкова А.Т., Любимова К.В., Эдварс Р.А., Иванов А.Ф., Меретукова Ф.Н. Влияние составных компонентов рецептуры на формирование структуры и пищевую ценность мясных полуфабрикатов. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3):56-70. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-56-70>

The influence of recipe components on the structure and nutritional value of semi-finished meat products

A.T. Vasyukova^{1,2}, K.V. Lyubimova², R.A. Edvars¹,
A.F. Ivanov¹, F.N. Meretukova³

¹*Russian State University of National Economy named V.I. Vernadsky;
Balashikha, the Russian Federation,
✉vasyukova-at@yandex.ru*

²*Plekhanov Russian University of Economics;
Moscow, the Russian Federation*

³*Maykop State Technological University;
Maikop, the Russian Federation*

Abstract. Introduction. Recipe optimization is the key factor in developing functional semi-finished meat products for individuals with disabilities. **The goal of the research** was to evaluate the influence of rarely used plant-based raw materials on the functional and technological characteristics of meat products at all stages of the technological cycle. **The object and methods of the research.** Organoleptic, rheological, physicochemical parameters of semi-finished products and products cooked in a combi steamer using modern and generally accepted methods were determined. The objects: minced meat, vegetable raw materials, cutlets (semi-finished products, culinary products). **The results and discussion.** The combination of meat food systems was carried out using one or more meat components, vegetable additives and spices in the recipe. 8 recipes of meat cutlets were obtained, containing 60.7-75.7 % meat component, 18.5-23.5 % vegetables, 0.8 % spices. The pH of raw semi-finished products was found to be 5.99-6.42, while that of finished products was 6.22-6.48. The minced meat density was 0.958-1.005 g/cm³; moisture content was 73.0-81.6 %, and moisture binding capacity was 73-84 %. Such a high WBC was achieved through plant additives (rice, barley, and chickpeas), which affected the yield of products during heat treatment. The addition of 5-15 % of cereals showed that the taste changed and the technological properties of the minced meat deteriorated. The optimal recipe included poultry, pork, and zucchini. The range of recipe variations was 20 %. The nutritional value of the minced meat system was 8.5 g protein, 0.84 g fat, and 76 g carbohydrates (including 24.6 g dietary fiber) per 100 g minced meat. The optimized Scheffe simplex-lattice method recipe had a high nutritional value: 15.3 g protein, 8.8 g fat, 5.2 g carbohydrates, and 160.4 kcal per 100 g of semi-finished product. The quality of the finished cutlets was 4.5-4.8 points. **Conclusion.** A series of recipes for minced meat semi-finished products with plant additives were simulated. Semi-finished products, chilled (0-4 °C) or frozen to -18 °C, packaged in bags, have a shelf life of 7-90 days in accordance with TR CU 021/2011.

Keywords: semi-finished products, meat and vegetable mince, food systems, quality indicators

For citation: Vasyukova A.T., Lyubimova K.V., Edvars R.A., Ivanov A.F., Meretukova F.N. The influence of recipe components on the structure and nutritional value of semi-finished meat products. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):56-70, <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-56-70>

Введение. Мясные формованные полуфабрикаты занимают львиную долю в ассортименте мясoproductов. В зависимости от добавок, входящих в их рецептуру, они могут быть функциональными, специализированными, диетическими и традиционными. В качестве добавок к мясному фаршу используют каррагинаны, фосфаты, пектиновые вещества, коллаген, полиненасыщенные жирные кислоты и витамины. Каждый из этих компонентов выполняет определенную функцию в пищевой системе: стабилизирующую, пластическую, влагоудерживающую, гелеобразующую и другую. Наиболее востребованными являются низкокалорийные мясные продукты, обогащенные пищевыми волокнами. Эти продукты призваны удовлетворить потребности людей, стремящихся похудеть или поддерживать определенный вес. Добавленные в эти продукты пищевые волокна способствуют улучшению пищеварения и снижению риска таких заболеваний, как диабет и сердечно-сосудистые заболевания. Введение витаминно-минеральных добавок способствует получению функциональных продуктов, направленных на поддержание функций организма (нервной и иммунной систем, обмена веществ и энергии, костной ткани, пищеварения и микробиом). Однако, содержание добавки может быть в пределах 10-50 % от суточной нормы, рекомендуемой в пищевом рационе. Эти показатели соответствуют современным научным концепциям, подчеркивающим значимость функциональных ингредиентов в улучшении пищевых продуктов и их влияние на здоровье.

Современным и прогрессивным остается моделирование мясных фаршей с включением растительных ингредиентов [1]. Наиболее часто встречаются сочетания свинины с белокочанной капустой: мясо даёт сочность и насыщенный мясной вкус, а капуста – объём, текстуру и лёгкую характерную нотку. У мяса и капусты разная текстура и продолжительность приготовления. В течение технологического процесса приготовления тушеного мяса происходит взаимное

обогащение составных компонентов рецептуры пищевыми веществами. Полноценные белки мышечной ткани мяса (миозин, актин, актомиозин, тропомиозин) в процессе денатурации теряют влагу, а белки соединительной ткани (коллаген, эластин) поглощают эту выделившуюся жидкость. Но ее недостаточно для полного размягчения, и при тушении мяса с капустой образовавшаяся влага из капусты тоже поглощается коллагеном и эластином, что приводит к получению мягкого и сочного мяса. При этом капуста при тушении хорошо пропитывается мясными соками и ароматами. Когда в рецептуру блюда входят специи, томатный соус, различные овощи (помидоры, сладкий перец, чеснок, лук, петрушка, укроп), можно получить очень сбалансированное и насыщенное блюдо. Такое сочетание – еще и бюджетный вариант. Блюдо будет значительно дешевле, чем натуральное мясное с гарниром. Кроме того, с точки зрения питания такое сочетание имеет плюс: белок из мяса и белок из капусты дополняют друг друга, образуя в организме хорошо усваиваемый комплекс. Наряду с перечисленным, капуста добавляет клетчатки и ряд витаминов, а свинина – хорошо усваиваемого железа и витаминов группы В. Мясо обогащает изделие полноценным белком и селеном, а капуста – аскорбиновой кислотой, витамином К, калием, клетчаткой. Особенностью химического состава пищевой системы является сульфорафан, который содержится в капусте [2], может усиливать пользу селена из мяса. Однако из-за высокого содержания жиров в свинине такое блюдо стоит включать в рацион умеренно и рекомендовать для сбалансированного питания; для лиц, ведущих активный образ жизни, а также для потребителей без индивидуальных противопоказаний [3-6]. Важно отметить синергетический эффект взаимного обогащения нутриентов комбинированного продукта [7-8].

Пищевая система, состоящая из свежих помидоров, болгарского перца и мясного фарша, имеет свою особенность. Использование данных ингредиентов рецептуры поз-

воляет формировать сочность и нежность структуры, легкую кислинку и сложный аромат, неоднородную рыхлую текстуру. Сок помидоров разрешает размягчить мясо, поэтому их используют при тушении, а также в составе соуса при запекании. Органические кислоты (яблочная, лимонная, винная, янтарная и аскорбиновая), присутствующие в свежих томатах, придают легкую кислинку пищевой системе, балансируют жирность-аромат и создают насыщенность вкусовой гаммы, глубину ощущений, а эфирные масла томатов в сочетании с перцем при тепловой обработке усиливают аромат блюда и создают пикантный букет. Основой формирования аромата являются терпеноиды томатов (гераниаль, фарнезол, нераль), спирты (изовалериановый, изобутиловый), а также альдегиды, к которым относится бензальдегид и фурфурол [9]. Введение стручкового перца, содержащего капсаицины, способствует появлению дополнительной пикантности и остроты восприятия. Кусочки перца, мелко измельченные, разрыхляют котлетную массу, делают ее более насыщенной, а текстуру выраженной. Но наличие капсаицина сообщает продукту эффект жжения, чем отвлекает от восприятия других ароматических веществ, передающих аромат перца [10]. Капсаицин относится к группе алкенилсактинилов и не встраивается в сложные ароматические структуры, но создает дополнительное восприятие, которое становится более объёмным, ярким, иногда даже более ароматным [11]. Кроме выявленного ароматического профиля перец оказывает и размягчающее действие на мышечную ткань мяса за счет присутствия в его составе различных кислот. Общее содержание органических кислот в зависимости от сорта перца варьируется от 5,83 до 11,32 мг/г сухой массы. Максимальная концентрация приходится на лимонную кислоту, но в перце присутствует фумаровая, яблочная, аскорбиновая и щавелевая. Китайскими учеными в девятнадцати сортах перцев обнаружено 199 различных летучих веществ, которые отно-

сятся к таким соединениям, как спирты, алькены, альдегиды [11]. «Ароматический профиль» перца связан с эфирными маслами и другими летучими соединениями — они дают тот самый яркий запах, а эффект размягчения жёсткой ткани мяса заключается в синергии, в слабокислой среде, когда белки соединительной ткани становятся менее устойчивыми, и структура ткани нарушается — мясо выглядит нежнее [12].

Комплексное воздействие на мясную систему оказывают и другие овощные культуры: кабачки, репчатый лук и чеснок, морковь и картофель. Они не только обогащают мясо дополнительными питательными веществами (витаминами, минералами, минеральными соединениями), антиоксидантными свойствами, участвуют в формировании потребительских характеристик: сочности, вкусо-ароматического букета, тактильности. Кабачки, лук, чеснок содержат от 58 до 95 % воды с растворимыми в ней витаминами, минералами, сахарами, кислотами, экстрактивными веществами, пигментами. Высокое содержание воды в этих овощах не только обеспечивает их сочность, но и способствует растворению и транспортировке растворимых витаминов и минералов [13-15]. Вода помогает транспортировать различные растворимые соединения внутри растения и в пищевой системе, обеспечивая их равномерное распределение. Добавление овощей в мясной фарш вызывает повышение влагоудерживающей способности пищевой системы, т.к. находящаяся в них вода с растворенными веществами перераспределяется в измельченной мясной среде и усиливает синергетический эффект. При добавлении в рецептуру 15-25 % измельченных овощей происходит корректировка пищевой ценности фарша, его сочности, текстуры [16]. Данные технологические приемы изготовления комбинированных продуктов являются важным фактором для транспортировки и эффективного усвоения полезных веществ организмом. Моделирование различных ингредиентов многофунк-

ционального действия позволяет повышать общую пищевую ценность мясных изделий.

Целью научного эксперимента является оценка влияния малоиспользуемого растительного сырья на функционально-технологические характеристики мясных кулинарных изделий на всех стадиях технологического цикла.

Объекты и методы исследования.

Материалы. Объектом для исследования служили: мясной фарш (говядина, свинина, птица), овощное сырье (овощи, крупы, бобовые, специи), котлеты (полуфабрикаты, кулинарные изделия). В опытных образцах хлеб, используемый в классических рецептурах, при разработке новых вариантов мясных полуфабрикатов заменяли растительными добавками. Отбор проб мясных полуфабрикатов и готовых изделий, определение температуры, массовой доли компонентов и категории полуфабриката осуществлялся согласно ГОСТ 32951-2014 «Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия».

Контрольными являлись изделия, приготовленные в соответствии с рецептурами № 467. Котлеты, биточки (особые) и № 469. Котлеты домашние из Сборника рецептов блюд и кулинарных изделий, 2003 г. [17], приведенные в таблице 1.

Показатели качества сырья и разработанного ассортимента котлет определены по

ГОСТ 32951-2014, ГОСТ 32967-2014, ГОСТ 32737-2014. Определение свежести мяса проводилось согласно ГОСТ 7269-2015 «Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести».

Выявление зависимостей качественных показателей мясных полуфабрикатов и кулинарных изделий, обогащенных овощными компонентами, осуществляли общепринятыми физическими и химическими методами исследования.

Определение pH проводилось потенциометрическим методом согласно ГОСТ Р 51478-99 «Мясо и мясные продукты. Контрольный метод определения концентрации водородных ионов (pH)».

Определение влагосвязывающей способности осуществлялось методом прессования по Г. Грау и Р. Хамм в модификации В.П. Воловинской и Б.И. Кельман согласно учебному пособию Антипова, Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов.

Определение оптимального соотношения основных компонентов экспериментальных рецептур осуществлялось методом симплекс-решетчатого планирования, при помощи диаграммы «состав-свойство» Шеффе [18].

Определение органолептических показателей осуществлялось согласно ГОСТ 9959-2015 «Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки».

Таблица 1. Рецептуры образцов исследования, нетто, г
Table 1. Formulations of research samples, net, g

Наименование продуктов	467. Котлеты, биточки (особые)		469. Котлеты домашние	
	Брутто, г	Нетто, г	Брутто, г	Нетто, г
Говядина (котлетное мясо)	75	55	49	36
Свинина (котлетное мясо)	29	25	24,3	20,7
Хлеб пшеничный	15	15	13	13
Молоко или вода	20	20	20	20
Сухари панировочные	10	10	4	4
Жир-сырец говяжий, свиной	-	-	2	2
Лук репчатый	-	-	2,4	2
Яйцо С1	-	-	1/40	1
Соль	1,2	1,2	1,2	1,2
Перец черный молотый	0,1	0,1	0,1	0,1
Масса полуфабриката	-	123	-	100
Выход:		100		81

Расчеты и графическое представление результатов проводились с использованием ви-

зуального программирования в среде Microsoft Office Word 2010, Excel 2010 для

Windows, Statistica 10. Статистическая обработка результатов экспериментов осуществлялась с использованием программ Microsoft Office Excel-2007 и Datafit ver. 9.1. Дифференцирование, поиск и анализ экстремумов полученных функций выполнялись с использованием компьютерной алгебры – Maxima. Уровень значимости полученных показателей был установлен на степени $p < 0,05$.

Результаты исследований. В проведенном эксперименте ключевым фактором являлось создание инновационной рецептуры путем оптимизации органолептических показателей и технологических режимов для получения функциональных мясных полуфабрикатов, рекомендованных различным контингентам питающихся, особенно лицам с ограниченными возможностями здоровья. Сочетание ингредиентов растительного и животного происхождения позволяет получить альтернативные

варианты для структурирования многокомпонентных систем, скорректировать реологические характеристики полуфабрикатов, обогатить продукцию минорными нутриентами. Разрабатываемые изделия должны иметь высокую пищевую и биологическую ценность, простой и доступный состав, и технологию изготовления, подходить под концепцию «здорового питания».

Согласно ГОСТ 34846-2022, значения пищевой ценности для рубленых полуфабрикатов категории А и Б на 100 г изделий составляют не менее 14 и 12 г белка, не более 13 и 9 г жира соответственно и не более 0,9 г соли.

Для оптимизации органолептических и технологических свойств кулинарных изделий была разработана модель полуфабриката из двух мясных ингредиентов и одного растительного. В ходе исследования были составлены, изготовлены и оценены 8 образцов. Они представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оценка органолептических и технологических свойств разработанных образцов мясных изделий

Table 2. Evaluation of organoleptic and technological properties of the developed meat product samples

№ п/п	Ингредиенты	Внешний вид	Консистенция	Вкус	Тактильность
1	Курица, кожа куриная, кабачок	Зелёные включения в фарше	Мягкая, текучая	Свойственный птице	Фарш слишком жидкий, не подходит для формования
2	Курица, свинина, кабачок	Зелёные включения в фарше	Мягкая	Свойственный исходному мясному сырью	Полуфабрикаты легко деформируются. Готовые изделия сочные и имеют приятный вкус.
3	Курица, свинина, картофель	Фарш имеет желтоватый оттенок	Плотная	Ярко выражен вкус картофеля	Изделия хорошо держат форму. Готовые изделия не сочные.
4	Курица, свинина, капуста	Однородная масса	Рыхлая	Свойственный исходному мясному сырью, неяркий	Изделия плохо держат форму, разваливаются
5	Курица, свинина, рис	Белые включения	Рыхлая	Выражен вкус риса	Сырые изделия плохо держат форму, готовые разваливаются.
6	Говядина, свинина, кабачок	Фарш тёмный	Плотная, хорошо формируется	Свойственный исходному мясному сырью	Хорошо формируются. Готовые изделия сочные.
7	Курица, свинина, морковь	Фарш оранжевого оттенка	Мягкая, держит форму	Сладковатый, с привкусом моркови	Хорошо формируются. Изделия имеют неестественный мясу цвет и сладковатый вкус
8	Говядина, свинина, нут	Фарш бледно розовый	Плотная, хорошо держит форму	Присутствует бобовый вкус	Изделия хорошо держат форму. Средней сочности, выражен вкус и запах нута

Для максимальной оптимизации полученных данных и всестороннего анализа при проведении эксперимента в образцах было использовано более одного отличного ингредиента, что позволяло увидеть общее влияние состава на свойства полуфабрикатов и готовых изделий.

При проведении опытов применялось охлаждённое мясное сырьё и свежее растительное сырьё. Бобовые (нут) замачивались в течение 12 часов в пропорции воды к нуту 4:1 и использовались в набухшем виде. Рецептуры образцов представлены в таблице 3 и 4.

Фарш, приготовленный по рецептуре № 1 из мяса птицы с добавлением кожи куриной и кабачка, имеет недостаточную плотность, что ведёт к плохой формуемости изделий. Это связано с высоким содержанием влаги в продукте и недостаточной общей влагоудерживающей способностью фарша. Куриная кожа содержит много жира, не обладает способностью к удерживанию влаги и при измельчении приобретает жидкую консистенцию.

Готовые изделия сочные с ярко выраженным вкусом птицы. На разрезе видны зелёные включения кожицы кабачка. Рекомендуется увеличить степень измельчения овоща или удалять кожицу.

Добавление свиной грудинки с высоким содержанием жира повысило пищевую

ценность и улучшило вкус изделий. Добавление в рецептуру свинины и увеличение общего количества белков мышечной ткани позволило увеличить влагосвязывающую способность в изделиях, за счёт чего они получились плотнее и лучше держат форму, по сравнению с первым образцом.

Грудинка имеет один из самых высоких показателей жирности среди частей свиной туши и значительную стоимость, в виду чего будет заменена на лопатку в последующих опытах. Свиная лопатка содержит меньше жира и больше мышечной ткани. Это позволит как улучшить органолептический профиль изделий, так и снизить общую жирность изделий.

Третий образец с заменой грудинки на лопатку и добавлением сырого картофеля показал значительное улучшение в плотности фарша и формуемости. Каротин, содержащийся в картофеле, придавал изделиям желтоватый цвет, а крахмал и сахара – привкус данного корнеплода в готовых изделиях. Из-за различий в окраске картофеля и его выраженном вкусе в готовых изделиях данный образец плохо подходит для реализации. Также картофель вносит в рецептуру крахмал, отсутствующий в прочих компонентах, что негативно сказывается на образе «здоровой пищи» [19].

Таблица 3. Рецептуры обогащенных мясных кулинарных изделий, нетто, г
Table 3. Recipes for enriched meat culinary products, net weight, g

Наименование	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Мясо птицы охлаждённое	60,7	40,7	38,7	36,7
Грудинка свиная	-	30	-	-
Лопатка свиная	-	-	35	35
Кожа куриная	10	-	-	-
Кабачок свежий	18	18	-	-
Картофель	-	-	15	-
Капуста белокочанная	-	-	-	17
Лук репчатый свежий	5	5	5	5
Чеснок свежий	0,5	0,5	0,5	0,5
Соль пищевая	0,6	0,6	0,6	0,6
Перец чёрный молотый	0,2	0,2	0,2	0,2
Панировочные сухари «Панко»	5	5	5	5
Выход:	100	100	100	100

Применение картофеля в рецептуре возможно при уменьшении его концентрации.

Добавление измельчённого сырого картофеля увеличит общее содержание влаги в

фарше и способствует улучшению её связывания за счёт крахмала. Это придаст плотность и однородность фаршу. Внесение картофельного пюре, наоборот, снизит сочность изделий. Крахмал в таком картофеле уже подвергся термической обработке и клейстеризации, что не позволит эффективно связывать новую влагу из фарша.

Введение в рецептуру капусты белокочанной повысило плотность изделий по сравнению с 1 и 2 рецептурами, но не увеличило её до уровня рецептуры № 3. На разрезе капуста не даёт окрашенных включений, однако делает фарш более рассыпчатым, что усложняет формование. Вкус капусты в готовых изделиях практически не ощущается, но её добавление понизило вкусовые достоинства мясных ингредиентов [16, 20]. Органолептическая оценка изделий с капустой получилась ниже, чем у вышестоящих рецептов образцов № 1-3.

В сравнении с контрольным образцом (ГОСТ 34846-2022; рецептура № 467) все разработанные полуфабрикаты образцов № 1-4 отличались более высокой влагосвязывающей способностью (ВСС) к мясу от 0,56 до 0,696, что соответствовало влажности образцов от 77,0 до 80,0 % против контроля – 73,0 %. Плотность данных полуфабрикатов котлет находилась в диапазоне от 0,985 до 1,015 г/см³ по сравнению с контролем – 1,005 г/см³.

Рецептура № 5 отличалась наличием в фаршевой массе риса, который предварительно промывался и подвергался варке до полуготовности. Это привело к увеличению плотности изделий, но, как и в случае с капустой, увеличило рыхлость и усложнило формуемость полуфабрикатов. По органолептическим показателям готовые изделия уступают образцам с овощными добавками.

Классическое сочетание свинины и говядины, отмеченное в контрольных образцах (рецептура № 467 и № 469), изменено путем введения свежего кабачка, который можно измельчать при температуре в толще плода при –1 °С, что способствует снижению температуры фарша и увеличению его плотности. Полученный фарш имеет достаточную вязкость и хорошо формуется благодаря высокому содержанию мышечных белков и, соответственно, высокой влагосвязывающей способности. Поэтому полуфабрикаты с большим количеством мясного сырья (говядина 2 сорта и свиная лопатка) с большой концентрацией соединительнотканых белков и высокой способностью к связыванию влаги, хорошо держат форму и имеют достаточную плотность. В готовом виде котлеты сочные с ярким мясным вкусом. Данный вариант рецептуры получил высокую оценку как в технологических, так и в органолептических показателях.

Таблица 4. Рецептуры мясных кулинарных изделий с овощными добавками, нетто, г
Table 4. Recipes for meat culinary products with vegetable additives, net, g

Наименование	Образец № 5	Образец № 6	Образец № 7	Образец № 8
Мясо птицы	36,7	-	39,7	-
Лопатка свиная	36	35	35	36
Говядина 2 сорта	-	35,7	-	39,7
Рис круглозерный шлифованный или ячневая крупа	16	-	-	-
Нут (замоченный в воде)	-	-	-	13
Морковь свежая	-	-	14	-
Кабачок свежий	-	18	-	-
Лук репчатый свежий	5	5	5	5
Чеснок свежий	0,5	0,5	0,5	0,5
Соль пищевая	0,6	0,6	0,6	0,6
Перец чёрный молотый	0,2	0,2	0,2	0,2
Панировочные сухари «Панко»	5	5	5	5
Выход:	100	100	100	100

Седьмой вариант рецептуры фарша с добавлением моркови имеет неплохие технологические свойства. Фаршевая масса достаточно плотная, что позволяет без труда формовать изделия. Фарш имеет яркий оранжевый оттенок и свойственный моркови запах [16].

Рецептура № 8 на основе сочетания свинины и говядины с добавлением нута отличалась высокой плотностью, однородностью и хорошо формуется. Нут имеет неяркий белый цвет, за счёт чего окраска фарша приобрела более светлый оттенок. Готовые изделия сочные, имеют ярко выраженный вкус мяса и специфический бобовый запах и привкус. Включение нута в рецептуру увеличило содержание белка в изделиях и плотность фарша, но привело к небольшому снижению сочности по сравнению с другими образцами и появлению бобового вкуса и выраженного послевкусия.

В сравнении с контрольным образцом (рецептура № 469) образцы № 5-8 разработанных полуфабрикатов отличались более высокими показателями ВСС к мясу (от 0,607 до 0,809); и разность между ними составляла 33,2 % из-за значительной концентрации овощей (от 18 до 23 %) с различной влажностью (от 80,0 % в луке до 94,0 % – в кабачках), при этом влажность полуфабрикатов образцов № 5-8 составляла от 78,0 до 85,0 %, тогда как контроль имеет 73,0 % влаги. Плотность данной группы образцов, содержащих в своем составе сочные овощные компоненты, против образцов № 1-4, включающих крупяные компоненты (16 %), составляет от 0,958 до 1,001 г/см³, по сравнению с контролем – 1,005 г/см³. Установлено, что формуемость полуфабрикатов была наилучшей при максимальном количестве свинины в рецептуре с допущением по количеству курицы. Увеличение количества кабачка сильно ухудшало этот показатель. Поэтому возникла необходимость ограничения количества кабачка в составе изделий для получения достаточных технологических свойств, соответствующих потребительским предпочтениям. Добавление сухих

компонентов в пищевую систему улучшает реологические свойства полуфабриката и позволяет формовать его при высоком содержании кабачка в рецептуре. Идеальная зона концентрации компонентов стремится к показателям 35:55:10 по количеству мяса птицы, свинины и кабачка соответственно.

Эксперимент показал, что внесение различных видов растительного сырья значительно изменял функционально-технологические свойства фарша.

Таким образом, комбинирование мясных пищевых систем осуществляли с использованием в рецептуре одного и более мясных компонентов, различных овощных добавок для выявления максимального сочетания ингредиентов и соответствия реологических характеристик при структурировании, порционировании, формировании котлет, получении готовых кулинарных изделий с высокой пищевой ценностью и оптимальными органолептическими показателями [21, 22]. Разработанные образцы котлет отличались концентрацией от 60,7 до 75,7 % мясного компонента, от 18,5 до 23,5 % овощных добавок и 0,8 % специй.

Для выявления качественных показателей, влияющих на технологические свойства и пищевую ценность определены pH, плотность, влажность и влагосвязывающая способность (ВСС) полуфабрикатов и готовых кулинарных изделий. Установлен pH сырых полуфабрикатов от 5,99 до 6,42, а готовых изделий несколько выше – от 6,22 до 6,48. Плотность фарша от 0,958 до 1,005 г/см³; количество влаги составляет от 73,0 до 81,6 %, и влагосвязывающая способность данной пищевой системы находится в пределах от 0,56 до 0,809 к мясу, что соответствует влажности от 73 до 84 %. Такая высокая влагосвязывающая способность обеспечивается за счет введения в рецептуру фарша растительных добавок (крупы рисовой, ячневой, нута). Введение в рецептуру крупы увеличило выход изделий при термобработке. Но данный вид растительного сырья значительно снизил липкость фарша и сделал его рассыпчатым. Добавление 5, 10

и 15 % крупы показали, что даже в малых количествах она сообщает свой вкус готовым изделиям и снижает технологические показатели фаршевой массы. В результате основными компонентами были выбраны мясо птицы, свинина и кабачок. Диапазон изменений рецептуры составил 20 %. Расчёт проводился по 10 точкам. Пищевая ценность фаршевой системы составляет 8,5 г белка, 0,84 г жира и 76 г углеводов (в том числе 24,6 г пищевых волокон) на 100 г фарша. Оптимизированный симплекс-решётчатого метода Шеффе вариант рецептуры имеет высокую пищевую ценность: 15,3 г белка; 8,8 г жира, 5,2 г углеводов и 160,4 ккал на 100 г полуфабриката. Контрольный образец, приготовленный в соответствии с ГОСТ 34846-2022, имел 12 г белка, 9,0 % жира и 0,9 г соли. Сравнение пищевой ценности образца № 6 с контрольным показывает, что по содержанию белка опытный превосходит контроль на 27,5 %; по содержанию жира уступает контролю на 2,2 %, а также дополнительно содержит углеводы.

В результате исследований установлено, что потери массы всех исследуемых полуфабрикатов, подвергнутых тепловой обработке в пароконвектомате на режиме «жар» при 180°C, составили 11,0-13,0 % по сравнению с контролем – 19,0 %.

Оценка качества готовых котлет в среднем составила от 4,5 до 4,8 баллов.

Разработанные образцы подвергали хранению. Масса одного изделия в панировке составляла 100 г. Полуфабрикаты имели овально-приплюснутую или круглую форму (котлеты). Хранили образцы в охлаждённом виде (0-4 °C) в пластиковых лотках, а также в замороженном при –18°C и упакованном в пакет в модифицированной газовой среде. Запаянные лотки с охлаждёнными полуфабрикатами упаковывали в картонные коробки. Продолжительность хранения охлаждённых изделий составляла 7 суток с даты изготовления, а замороженных изделий – 90 суток. Органолептическая оценка качества готовых котлет,

подвергнутых хранению, была отмечена от 4,4 до 4,8 баллов, что соответствует требованию к качеству данной группы кулинарных изделий (ТР ТС 021/2011).

Выводы. Комплексный анализ Стратегии агропромышленного комплекса в Российской Федерации до 2030 г., аналитических материалах и отраслевых прогнозах обоснован выбор мяса говядины, свинины и птицы, как доступного сырья с существенным объемом допустимого производства в год. Свинина и птица – драйверы роста. Эти подотрасли демонстрируют наиболее динамичное развитие в последние годы. Свиноводство и птицеводство быстрее реагируют на рыночные сигналы, чем скотоводство (говядина), поэтому их выбрали как локомотивы для наращивания общего объёма производства мяса в стране. В прогнозах (от Национального союза свиноводов) закладывается существенный прирост – в частности, по свинине цель составляет около 1 млн тонн в живом весе к 2030 году. Кроме того, к 2025 году уровень самообеспеченности мясом и мясопродуктами в России уже превысил 100 % (при пороговом значении 85 %). Выбор свинины и птицы как приоритетных позволил устойчиво закрывать внутренние потребности и снижать зависимость от импорта. Отрасль скотоводства более капиталоемкая, требует значительных инвестиций в развитие племенной базы и специализированные откормочные площадки. Есть риск, что без целенаправленной господдержки темпы роста будут отставать от других видов мяса. Поэтому более реально производить мясные фарши из смеси мяса говядины и свинины или говядины и птицы, или говядины, свинины и птицы. В среднесрочной перспективе такие купажи могут обеспечить выполнение целевого показателя потребления мясной продукции в год на человека при разработке новых кулинарных изделий из мяса с заданными потребительскими свойствами. В этой связи разработаны пищевые системы на основе мяса говядины 2 сорта, свиной грудинки и ло-

патки, охлажденной птицы. Для повышения реологических характеристик мясных рубленых полуфабрикатов, связанных с порционированием, формованием и панированием, рецептуры фаршей были скорректированы путем введения растительных ингредиентов. Моделирование рецептов осуществлялось методом симплекс-решётчатого планирования при помощи диаграммы «состав-свойство» Шеффе. В пищевые системы рекомендовано добавлять различных виды растительного сырья: свежие измельченные кабачки, картофель, капусту белокочанную, лук репчатый, чеснок, морковь, а также замоченный в воде нут и припущенный круглозерный шлифованный рис или ячневую крупу, что позволило получить композиции фарша для мясных полуфабрикатов с заданными характеристиками вкуса и аромата продукции глубокой переработки. Для улучшения пластичности и мясного аромата в фарш добавляли куриную кожу. Оптимальной рецептурой обладал образец № 6, состоящий из бинарной системы говядина : свинина : кабачок в соотношении 1 : 1 : 0,5. Выявлено практическое влияние круп и овощей на технологические и органолептические свойства сырых и термообработанных изделий. Выбранное дополнительное сырье позволяет повысить влаго-связывающую, влагоудерживающую способность и вязкость фарша и улучшает его пластичность. Улучшение структурно-механических характеристик мясного фарша позволяет использовать котлетоформовоч-

ные аппараты в технологии производства мясных котлет. На основании комплексных исследований были установлены рецептуры, наиболее полно сбалансированные по органолептическим показателям, пищевой и энергетической ценности и обладающие мясным запахом и насыщенным ароматом. Все восемь вариантов рецептов отличались высокой концентрацией мясного компонента (60,7-75,7 %), включали овощные добавки (18,5-23,5 %) и 0,8 % специй.

Полуфабрикаты овально-приплюснутой или круглой формы (котлеты) в охлажденном виде (0-4 °C) или замороженные до -18 °C, упакованные под вакуумом в регулируемой газовой среде в герметичные полиэтиленовые пакеты, подвергали хранению от 7 до 90 суток.

Совокупность литературных данных и собственных результатов убедительно демонстрирует, что синергетический эффект растительных антиоксидантов в системе с мясным сырьём обеспечивает более выраженное ингибирование окисления липидов, чем действие отдельных компонентов. Причем торможение окислительных процессов как в полуфабрикатах, так и в готовых изделиях осуществляется практически одинаково. Это открывает перспективы для разработки более эффективных и безопасных функциональных мясных продуктов. Полученные результаты продолжительности хранения разработанных образцов соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Consumer expectation and perception of ready-to-eat hybrid chicken-vegetable patty / Aviles M.V. [et al.] // International Journal of Gastronomy and Food Science. 2024. Vol. 35. P. 100847.
2. Елисеева Т. Польза брокколи: Топ-10 доказанных полезных свойств // Журнал здорового питания и диетологии. 2022. Т. 20, № 2. С. 172. DOI: 10.59316/.vi20.172.

3. Antitumor activity of *Pleurotus ostreatus* polysaccharide fractions on Ehrlich tumor and Sarcoma 180 / Facchini J.M. [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2014. Vol. 68. P. 72-77.
4. Antitumor activity of polysaccharide extracted from *Pleurotus ostreatus* mycelia against gastric cancer in vitro and in vivo / Cao X.Y. [et al.] // *Molecular Medicine Reports*. 2015. Vol. 12, No. 2. P. 2383-2389.
5. Metabolic effects of sulforaphane oral treatment in streptozotocin-diabetic rats / De Souza C.G. [et al.] // *J. Med. Food*. 2012. Vol. 15, No. 9. P. 795-801.
6. Dietary sulforaphane in cancer chemoprevention: the role of epigenetic regulation and HDAC inhibition / Tortorella S.M. [et al.] // *Antioxidants & Redox Signaling*. 2014. Vol. 22, No. 16. P. 1382-1424.
7. Белякова Т.Н., Забодалова Л.А. Исследование влияния водного экстракта сульфорафана на показатели качества ферментированного продукта // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2019. № 3. С. 52-61. DOI: 10.17586/2310-1164-2019-12-3-52-61.
8. Дамодорян Ш., Паркин К.Л., Финнема О.Р. *Химия пищевых продуктов*. СПб.: Профессия, 2012. 1040 с.
9. Артемьева А.М., Фатеев Д.А. Томат. Ботаническое описание. 18.09. 2023 г. 13:34 (GMT+3) [Электронный ресурс]. URL: <https://bigenc.ru/c/tomat-4fc6a7>. Дата обращения 16.06.2026.
10. Способ получения экстракта перца красного жгучего: патент SU379258A1 / А.Н. Катюжанска; заявл. 16.08.1971; опубл. 20.04.1973.
11. Comprehensive fruit quality assessment and identification of aroma-active compounds in green pepper (*Capsicum annuum* L.) / Zhang J. [et al.] // *Front. Nutr.* 2023. No. 9. P. 1027605. DOI: 10.3389/fnut.2022.1027605.
12. Основные принципы формирования вкусо-ароматических свойств мясных продуктов при использовании мяса хряков / Н.М. Ревуцкая [и др.] // *Все о мясе*. 2019. № 3. С. 26-28. DOI: 10.21323/2071-2499-2019-3-26-28.
13. Литвинов С.С. *Научные основы современного овощеводства*. М.: Всероссийский НИИ овощеводства, 2008. 771 с.
14. *Vegetable production: fundamentals and innovations* / Sharma A. [et al.] // Stella International Publication. 2024. ISBN: 78-81-978397-3-3.
15. Advancing horizons in vegetable cultivation: a journey from ageold practices to high-tech greenhouse cultivation – a review / Ahmed N. [et al.] // *Front. Plant Sci.* 2024. No. 15. P. 1357153. DOI: 10.3389/fpls.2024.1357153.
16. Васюкова А.Т., Эдварс Р.А., Васюков М.В. Влияние состава сырья на качество мясоовощных полуфабрикатов для детей // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021. Т. 83, № 4 (90). С. 148-153.
17. *Сборник рецептов и кулинарных изделий для предприятий общественного питания* / сост. Л.Е. Голунова. СПб.: Профикс, 2003. 408 с.
18. Ахмадиев Ф.Г., Гильфанов Р.М. Математическое моделирование и оптимизация «состав-свойство» многокомпонентных смесей // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. № 2 (20). С. 289-297.
19. Use of vegetables as nutritional food: role in human health / Hanif R. [et al.] // *Journal of Agricultural and Biological Science*. 2006. Т. 1, No. 1. P. 18-22.
20. Мясные продукты с растительными добавками для здорового питания / Васюкова А.Т. [и др.] // *Пищевая промышленность*. 2019. № 10. С. 15-19.
21. Тягушева А.А. Перспективные способы хранения плодовоовощной продукции // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2022. № 74. С. 187-203.
22. Меренкова С.П., Лукин А.А. Технологическое обоснование применения растительных добавок в рецептуре мясных полуфабрикатов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2016. Т. 4, № 3. С. 29-35. DOI: 10.14529/food160304.

REFERENCES

1. Consumer expectation and perception of ready-to-eat hybrid chicken-vegetable patty / Aviles M.V. [et al.] // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2024. Vol. 35. P. 100847.

2. Eliseeva, T. Benefits of broccoli: Top 10 proven beneficial properties // *Journal of Healthy Nutrition and Dietetics*. 2022. Vol. 20, No. 2. P. 172. DOI: 10.59316/vi20.172. [In Russ.].
3. Antitumor activity of *Pleurotus ostreatus* polysaccharide fractions on Ehrlich tumor and Sarcoma 180 / Facchini J.M. [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2014. Vol. 68. P. 72-77.
4. Antitumor activity of polysaccharide extracted from *Pleurotus ostreatus* mycelia against gastric cancer in vitro and in vivo / Cao X.Y. [et al.] // *Molecular Medicine Reports*. 2015. Vol. 12, No. 2. P. 2383-2389.
5. Metabolic effects of sulforaphane oral treatment in streptozotocin-diabetic rats / De Souza C.G. [et al.] // *J. Med. Food*. 2012. Vol. 15, No. 9. P. 795-801.
6. Dietary sulforaphane in cancer chemoprevention: the role of epigenetic regulation and HDAC inhibition / Tortorella S.M. [et al.] // *Antioxidants & Redox Signaling*. 2014. Vol. 22, No. 16. P. 1382-1424.
7. Belyakova T.N., Zabodalova L.A. Study of the effect of aqueous extract of sulforaphane on the quality indicators of a fermented product // *Scientific journal of NRU ITMO. Series: Processes and equipment of food production*. 2019. No. 3. P. 52-61. DOI: 10.17586/2310-1164-2019-12-3-52-61. [In Russ.].
8. Damodoryan Sh., Parkin K.L., Finnema O.R. *Chemistry of food products*. St. Petersburg: Profession, 2012. 1040 p. [In Russ.].
9. Artemyeva A.M., Fateev D.A. Tomato. Botanical description. September 18. 2023, 1:34 PM (GMT+3) [Electronic resource]. URL: <https://bigenc.ru/c/tomat-4fc6a7>. Date of access: June 16, 2026. [In Russ.].
10. Method for obtaining red hot pepper extract: patent SU379258A1 / A.N. Katyzhanskaya; declared August 16, 1971; published April 20, 1973. [In Russ.].
11. Comprehensive Fruit Quality Assessment and Identification of Aroma-Active Compounds in Green Pepper (*Capsicum annuum* L.) / Zhang J. [et al.] // *Front. Nutr.* 2023. No. 9. P. 1027605. DOI: 10.3389/fnut.2022.1027605.
12. Basic principles of forming the flavor and aroma properties of meat products using boar meat / N.M. Revutskaya [et al.] // *All about meat*. 2019. No. 3. P. 26-28. DOI: 10.21323/2071-2499-2019-3-26-28. [In Russ.].
13. Litvinov S.S. *Scientific foundations of modern vegetable growing*. Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Growing, 2008. 771 p. [In Russ.].
14. *Vegetable production: fundamentals and innovations* / Sharma A. [et al.] // Stella International Publication. 2024. ISBN: 78-81-978397-3-3.
15. Advancing horizons in vegetable cultivation: a journey from ageold practices to high-tech greenhouse cultivation – a review / Ahmed N. [et al.] // *Front. Plant Sci.* 2024. No. 15. P. 1357153. DOI: 10.3389/fpls.2024.1357153.
16. Vasyukova A.T., Edvars R.A., Vasyukov M.V. Influence of raw material composition on the quality of semi-finished meat and vegetable products for children // *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021. Vol. 83, No. 4 (90). P. 148-153. [In Russ.].
17. *Collection of recipes and culinary products for catering establishments* / compiled by L.E. Golunova. St. Petersburg: Profiks, 2003. 408 p. [In Russ.].
18. Akhmadiev F.G., Gilfanov R.M. Mathematical modeling and optimization of the “composition-property” relationship of multicomponent mixtures // *Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2012. No. 2 (20). P. 289-297. [In Russ.].
19. Use of vegetables as nutritional food: role in human health / Hanif R. [et al.] // *Journal of Agricultural and Biological Science*. 2006. Vol. 1, No. 1. P. 18-22.
20. Meat products with plant additives for a healthy diet / Vasyukova A.T. [et al.] // *Food industry*. 2019. No. 10. P. 15-19. [In Russ.].
21. Tyagushcheva A.A. Promising methods for storing fruit and vegetable products // *Fruit growing and viticulture of the South of Russia*. 2022. No. 74. P. 187-203. [In Russ.].
22. Merenkova S.P., Lukin A.A. Technological substantiation of the use of plant additives in the formulation of semi-finished meat products // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2016. Vol. 4, No. 3. P. 29-35. DOI: 10.14529/food160304. [In Russ.].

Информация об авторах / Information about the authors

Васюкова Анна Тимофеевна, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского» (Университет Вернадского); 143900, Российская Федерация, г. Балашиха, ул. шоссе Энтузиастов, 50; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»; 109992, Российская Федерация, г. Москва, Стремянный переулок, 36, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>, e-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Любимова Кристина Владимировна, аспирант, базовая кафедра индустрии качества, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»; 109992, Российская Федерация, г. Москва, Стремянный переулок, 36, e-mail: kristinalyubimova83@yandex.ru

Эдварс Ростислав Анатольевич, соискатель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского» (Университет Вернадского); 143900, Российская Федерация, г. Балашиха, ул. шоссе Энтузиастов, 50, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9290-8619>, e-mail: rostislave@mail.ru

Иванов Алексей Федорович, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского» (Университет Вернадского); 143900, Российская Федерация, г. Балашиха, ул. шоссе Энтузиастов, 50, e-mail: tugr122@mail.ru

Меретукова Фатима Нурбиевна, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, Российская Федерация, г. Майкоп, Первомайская ул., 191, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4545-9272>

Anna T. Vasyukova, Dr Sci. (Eng.), Professor, Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky (Vernadsky University); 143900, the Russian Federation, Balashikha, 50 Shosse Entuziastov St., Plekhanov Russian University of Economics; 109992, the Russian Federation, Moscow, 36 Stremyanny Lane, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>, e-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Kristina V. Lyubimova, Postgraduate student, the Department of Quality Industry, Plekhanov Russian University of Economics; 109992, the Russian Federation, Moscow, 36 Stremyanny Lane, e-mail: kristinalyubimova83@yandex.ru

Rostislav A. Edvars, Applicant, Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky (Vernadsky University); 143900, the Russian Federation, Balashikha, 50 Shosse Entuziastov St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9290-8619>, e-mail: rostislave@mail.ru

Aleksey F. Ivanov, Postgraduate student, Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky (Vernadsky University), 143900, the Russian Federation, Balashikha, 50 Shosse Entuziastov St., e-mail: tigr122@mail.ru

Fatima N. Meretukova, Associate Professor, Maykop State Technological University; 385000, the Russian Federation, Maikop, 191 Pervomayskaya St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4545-9272>

Заявленный вклад авторов

Васюкова Анна Тимофеевна – разработка методики исследования, валидация данных.

Любимова Кристина Владимировна – проведение эксперимента.

Эдварс Ростислав Анатольевич – подбор литературных источников.

Иванов Алексей Федорович – подбор методик и проведение эксперимента.

Меретукова Фатима Нурбиевна – оформление статьи по требованиям журнала.

Claimed contribution of the authors

Anna T. Vasyukova – the research methodology development, data validation.

Kristina V. Lyubimova – conducting the experiment.

Rostislav A. Edvars – literature review.

Aleksey F. Ivanov – method selection and conducting the experiment.

Fatima N. Meretukova – article formatting according to the Journal requirements.

Поступила в редакцию 26.06.2026

Поступила после рецензирования 29.07.2026

Принята к публикации 31.07.2026

Received 26.06.2026

Revised 29.07.2026

Accepted 31.07.2026



Оптимизация минерального питания яблони сорта Флорина на выщелоченном черноземе предгорной зоны Кабардино-Балкарии

Х.З. Бишенов✉, М.А. Варквасова,
Ж.О. Канукова, А.Х. Хачетлов

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский
научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»
(ФГБНУ СевКавНИИГиПС);
г. Нальчик Российская Федерация,
✉hasanbi75@mail.ru*

Аннотация. Введение. В предгорной зоне Кабардино-Балкарии для интенсивных садов на выщелоченных чернозёмах требуется уточнение систем минерального питания яблони, учитывающих сортовые особенности и качество плодов. **Цель исследования** – изучить влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на ростовые процессы, урожайность и биохимический состав плодов яблони сорта Флорина для разработки эффективной системы удобрения в интенсивных насаждениях. **Объекты и методы исследования.** Полевые опыты проведены в саду 2016 г. посадки на сорте яблони Флорина (подвой СК-2, схема 5×2 м) на чернозёме слабовыщелоченном тяжелосуглинистом (рН 7,3; гумус 2,5 %; P₂O₅ – 44,8; K₂O – 234,0 мг/кг). Схема включала 15 вариантов: контроль, нитроаммофоска 16-16-16 (60, 90, 120 кг д.в./га) и 8-24-24 (30, 40, 50 кг д.в. по азоту) на фоне нитрата кальция (25 кг Ca/га), а также варианты с листовыми подкормками Изагри. Повторность четырёхкратная. **Результаты и обсуждение.** Доза 120 кг N/га усиливала вегетативный рост (прирост побегов 63,5-64,3 см), но снижала содержание сухих веществ, сахаров и витамина С. Наилучшие показатели получены на варианте с нитроаммофоской 8-24-24 (50 кг N/га) + Ca + листовые подкормки: урожайность 28,9 т/га (+15,1 %), масса плода 182 г (+8,9 %), сахара 13,1 %, витамин С 10,5 мг %, сахарокислотный индекс 43,7 (в 1,6 раза выше контроля). При меньшей площади листьев эти варианты обеспечили более высокую продуктивность благодаря перераспределению ассимилятов в плоды. **Заключение.** Оптимальна система: нитроаммофоска 8-24-24 (50 кг N/га) + нитрат кальция + листовые подкормки Изагри, обеспечивающая сбалансированное питание и высокое качество плодов. Дозы азота свыше 90 кг/га не рекомендуются из-за избыточного вегетативного роста и ухудшения биохимических показателей.

Ключевые слова: яблоня Флорина, выщелоченный чернозем, минеральные удобрения, корневое питание, нитроаммофоска, листовое питание, листовые подкормки, урожайность, качество плодов, биохимический состав, сахарокислотный индекс

Для цитирования: Бишенов Х.З., Варквасова М.А., Канукова Ж.О., Хачетлов А.Х. Оптимизация минерального питания яблони сорта флорина на выщелоченном черноземе предгорной зоны Кабардино-Балкарии. *Новые технологии / New technologies.* 2026; 22(3):71-82. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-71-82>

Optimization of mineral nutrition for the Florina apple tree variety on the leached chernozems in the foothill zone of the Kabardino-Balkaria

Kh.Z. Bishenov✉, M.A. Varkvasova,
Zh.O. Kanukova, A.Kh. Khachetlov

*The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture
(FGBNU SevKavNIIGiPS);
Nalchik, the Russian Federation,
✉hasanbi75@mail.ru*

Abstract. Introduction. Intensive orchards on the leached chernozems in the foothill zone of the Kabardino-Balkaria require refinement of mineral nutrition systems for apple trees, taking into account varietal characteristics and fruit quality. **The goal of the research** was to investigate the effect of different doses and ratios of mineral fertilizers on the growth processes, yield, and biochemical composition of the Florina apple tree fruits in order to develop an effective fertilization system for intensive plantings. **The objects and methods of the research.** Field experiments were conducted in the orchard planted in 2016 with the Florina apple tree variety (SK-2 rootstock, 5x2 m layout) on slightly leached heavy loamy chernozem (pH 7.3; humus 2.5 %; P₂O₅ – 44.8; K₂O – 234.0 mg/kg). The scheme included 15 variants: control, nitroammophoska 16-16-16 (60, 90, 120 kg active ingredient/ha) and 8-24-24 (30, 40, 50 kg active ingredient in nitrogen) against the background of calcium nitrate (25 kg Ca/ha), as well as variants with Izagri foliar feeding. The replication was fourfold. **The results and discussion.** A dose of 120 kg N/ha enhanced vegetative growth (shoot increment 63.5-64.3 cm), but reduced the content of dry matter, sugars, and vitamin C. The best results were obtained with nitroammophoska 8-24-24 (50 kg N/ha) + Ca + foliar feeding: yield 28.9 t/ha (+15.1 %), fruit weight 182 g (+8.9 %), sugars 13.1 %, vitamin C 10.5 mg %, sugar-acid index 43.7 (1.6 times higher than the control). With a smaller leaf area, these variants ensured higher productivity due to the redistribution of assimilates into the fruits. **Conclusion.** The optimal system is the following: 8-24-24 nitroammophoska (50 kg N/ha) + calcium nitrate + Izagri foliar fertilizer, providing balanced nutrition and high fruit quality. Nitrogen rates above 90 kg/ha are not recommended due to excessive vegetative growth and deterioration of biochemical parameters.

Keywords: Florina apple tree, leached chernozem, mineral fertilizers, root nutrition, nitroammophoska, foliar nutrition, foliar nutrition, yield, fruit quality, biochemical composition, sugar-acid index

For citation: Bishenov Kh.Z., Varkvasova M.A., Kanukova Zh.O., Khachetlov A.Kh. Optimization of mineral nutrition for the Florina apple tree variety on the leached chernozems in the foothill zone of the Kabardino-Balkaria. *Novye tehnologii / New technologies.* 2026; 22(3):71-82. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-71-82>

Введение. Интенсификация отрасли садоводства в современных условиях невозможна без создания высокоэффективных технологий, обеспечивающих реализацию биологического потенциала плодовых растений, экономное расходование природных ресурсов, охрану окружающей среды и получение качественной стандартной продукции. Оптимизация применения агрохимических средств является основным условием в решении проблемы сохранения и воспроизводства плодородия почвы, улучшения экологического состояния агроэкосистем и достижения высокой продуктивности [2].

Вопросы оптимизации минерального питания плодовых культур на выщелоченных черноземах нашли отражение в работах ученых Ставропольского государственного аграрного университета. Айсановым Т.С. с соавторами [3] установлено, что на почвах со средним и повышенным уровнем плодородия увеличения продуктивности интенсивного яблоневого сада возможно достичь путем снижения доз азотных и калийных удобрений до 60 кг/га при одновременном повышении уровня насыщенности фосфором до 100 кг/га. Авторами выявлена сортовая специфичность реакции на удобрения: сорт Гол-

ден Делишес показал более высокую продуктивность по сравнению с Бребурн и Джеромини. В исследованиях этих же авторов на зимних сортах яблони Флорина и Либерти установлено, что более высокие дозы удобрений ($N_{120}P_{120}K_{120}$) обеспечивают достоверную прибавку урожайности (3,5-3,9 т/га) и увеличение средней массы плодов (15,2-23,9 г) по сравнению с контрольным фоном $N_{60}P_{60}K_{60}$. При этом отмечена различная отзывчивость изучаемых сортов: сорт Либерти показал преимущество перед сортом Флорина по урожайности на 1,9 т/га [4].

Внекорневое питание плодовых культур является одним из ключевых агротехнических приемов, способствующих активации физиолого-биохимических процессов. Эффективность этого приема обусловлена способностью листовой поверхности поглощать минеральные вещества в виде ионов вместе с водой и транспортировать их по симпласту. Установлено, что листовые подкормки микроудобрениями усваиваются в 5-8 раз быстрее, чем элементы, поступившие через корневую систему, а положительный эффект проявляется уже через 2-3 дня после обработки [5]. Благодаря фолиарным подкормкам улучшаются качественно-количественные показатели урожая и снижаются потери внесенных в почву удобрений.

Потребность плодовых растений в элементах минерального питания в течение вегетационного периода претерпевает существенные изменения в связи с прохождением различных фенологических фаз роста и развития. Наиболее интенсивное поглощение питательных веществ отмечается с весны до начала лета – в фазу усиленного вегетационного роста и нарастания площади листовой поверхности, а также в летний период – в фазу закладки плодовых образований и формирования урожая. Недостаточность того или иного элемента питания отрицательно сказывается на обмене веществ, приводит к функциональным заболеваниям и сокращению продуктивного периода деревьев [6-7].

Методологические подходы к изучению питания плодово-ягодных культур обобщены в учебных пособиях Е.А. Саленко, А.Н. Есаулко, Устименко Е.А. и др. [8-9], где изложены особенности развития и питания плодовых растений, сроки и дозы внесения удобрений, а также методы визуальной диагностики питания.

Цель исследований – изучить влияние комплексных минеральных листовых подкормок на фоне основного внесения минеральных удобрений, приуроченных к основным критическим фазам развития растений, на рост, развитие и продуктивность яблони сорта Флорина для разработки эффективной системы применения удобрений в интенсивных насаждениях на выщелоченных черноземах предгорной зоны КБР.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- 1) установить пороговую дозу азотного питания (≤ 90 кг д.в./га), исключаящую избыточный вегетативный рост и снижение вкусовых качеств плодов сорта Флорина;
- 2) сравнить эффективность нитроаммофоски (8-24-24) и (16-16-16) по влиянию на урожайность и среднюю массу плода в условиях чернозёма выщелоченного;
- 3) оценить действие сбалансированного фосфорно-калийного фона ($N:P:K = 8:24:24$) и листовых подкормок микроэлементами на накопление сахаров и сахарокислотный индекс плодов;
- 4) выявить физиологические особенности перераспределения ассимилятов при сбалансированном питании как фактор повышения продуктивности фотосинтеза;
- 5) апробировать в производственных условиях систему удобрения (8-24-24 50 кг N/га + Ca 25 кг/га + Изагри) для получения стабильных урожаев с высокими товарными и биохимическими показателями.

Объекты и методы исследования. Полевые опыты заложены на опытных участках ФГБНУ СевКавНИИГиПС (г. Нальчик) в саду 2016 г. посадки. Объект исследований – растения яблони сорта Флорина на

полукарликовом подвое СК-2, по схеме посадки 5×2 м. Система содержания почвы – дерново-перегнойная, в приствольных полосах – гербицидный пар, в междурядьях – мульчирование скошенной растительностью.

Сорт яблони Флорина (Florina) – французской селекции, зимнего срока созревания, среднерослый, вступает в плодоношение на 3-5-й год. Плоды средней массой 140-160 г, округлой формы, с жёлто-зелёной основой и сплошным красным румянцем. Мякоть плотная, сочная, кисловато-сладкого десертного вкуса (дегустационная оценка 4,8 балла), содержание сахаров достигает 13,4 %. Сорт иммунен к парше

(ген Vf), урожайность в производственных насаждениях составляет около 115 ц/га.

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка представлена в таблице 1.

В конце марта локально-внутрипочвенно на глубину 10-15 см вносили нитроаммофоску ($N_{16}P_{16}K_{16}$ и $N_8P_{24}K_{24}$). С середины апреля в фазу «розовый бутон» вносили нитрат кальция ($CaO - 26,6 \%$, $N - 15,5 \%$). Листовые подкормки проводили удобрениями Изагри: Кальсат (5 л/га), Кальций (3 л/га), Вита плюс (1,0 л/га), Магний-цинк (3,0 л/га), Бор-молибден (1,5 л/га) в соответствии с фазами развития растений.

Схема опыта включала 15 вариантов, представленных в таблице 2.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка чернозема слабовыщелоченного

Table 1. Agrochemical characteristics of the experimental plot soil of weakly leached chernozem

Показатель	Горизонт 0-20 см	Горизонт 20-40 см
pH KCl, ед.	7,3	7,4
Гумус, %	2,5	2,7
Нитраты (NO_3), мг/кг	5,1	3,3
Обменный аммоний (NH_4), мг/кг	4,3	4,0
Подвижный P_2O_5 , мг/кг	44,8	33,0
Подвижный K_2O , мг/кг	234,0	175,3
Ca обменный, ммоль/100 г	6,5	5,3
Mg обменный, ммоль/100 г	0,3	0,2

Примечание. Показатели определены общепринятыми методами: нитраты – ионометрически (ГОСТ 26951-86), обменный аммоний – фотоколориметрически с реактивом Несслера (ГОСТ 26489-85), подвижные фосфор и калий – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, кальций и магний – по методу ЦИНАО.

Таблица 2. Схема опыта по изучению влияния минерального питания на яблоне сорта Флорина
Table 2. Experimental design for studying the effect of mineral nutrition on the Florina apple tree variety

№ варианта	Вариант
1	Контроль (без удобрений)
2	Контроль 2 (фон) – нитроаммофоска (16-16-16) 60 кг д.в./га (NPK60)
3	Нитроаммофоска (16-16-16) NPK60 + нитрат кальция 25 кг Ca/га (NPK60 + Ca25)
4	Нитроаммофоска (16-16-16) NPK90 + Ca25
5	Нитроаммофоска (16-16-16) NPK120 + Ca25
6	Нитроаммофоска (16-16-16) NPK60 + Ca25 + листовые подкормки (ЛП)
7	Нитроаммофоска (16-16-16) NPK90 + Ca25 + ЛП
8	Нитроаммофоска (16-16-16) NPK120 + Ca25 + ЛП
9	Нитроаммофоска (8-24-24) 30 кг д.в./га (по N) + Ca25
10	Нитроаммофоска (8-24-24) 40 кг д.в./га (по N) + Ca25
11	Нитроаммофоска (8-24-24) 50 кг д.в./га (по N) + Ca25
12	NPK(8-24-24)30 + Ca25 + ЛП
13	NPK(8-24-24)40 + Ca25 + ЛП
14	NPK(8-24-24)50 + Ca25 + ЛП
15	Комплекс листовых подкормок

Примечание. Норма по нитроаммофоскам приведена в расчете по N. По нитрату кальция – по Ca.

Повторность опыта четырехкратная, по 8 учетных растений в повторности. Расположение вариантов систематическое. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа [1] с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel. Достоверность различий между вариантами определяли по t-критерию Стьюдента с расчетом наименьшей существенной разности ($HCP_{0,05}$) при 5 %-ном уровне значимости.

Метеорологические условия вегетационного периода 2025 г. характеризовались значительными отклонениями от среднегодовых значений. Весенний период отличался неустойчивостью погоды с резкими перепадами температур. Летний период был экстремально жарким и засушливым: максимальные температуры воздуха достигали 31,0-36,9°C. Количество осадков за период с мая по август составило 151 мм при норме 330 мм (46 % от нормы), что существенно повлияло на водный режим почвы и условия минерального питания растений.

Результаты и обсуждение. Изучение влияния вариантов минерального питания на интенсивность вегетативного роста показало достоверную разницу, что нашло

отражение в показателях среднего прироста побегов (табл. 3).

Анализ полученных данных позволил установить, что достоверно более высокие приросты побегов по сравнению с контролем отмечены на вариантах 5 (NPK120 + Ca25) – 63,5 см и 8 (NPK120 + Ca25 + ЛП) – 64,3 см. Данный факт свидетельствует о стимулирующем влиянии повышенных доз азотных удобрений (120 кг д.в./га) на вегетативный рост, что согласуется с результатами исследований [2; 3], указывающими на усиление ростовых процессов при увеличении доз азота.

Выявлено, что на вариантах 6 (NPK60 + Ca25 + ЛП) – 51,6 см, 9 (NPK(8-24-24)30 + Ca25) – 50,6 см и 10 (NPK(8-24-24)40 + Ca25) – 50,8 см приросты побегов были достоверно ниже контроля. Снижение интенсивности ростовых процессов на вариантах с листовыми подкормками на фоне низких доз азота может быть обусловлено тем, что при недостатке азота дополнительное внесение микроэлементов через лист не компенсирует дефицит главного макроэлемента, а перераспределение ассимилятов в пользу генеративных органов приводит к ослаблению ростовых процессов.

Таблица 3. Влияние вариантов минерального питания на ростовые процессы яблони сорта Флорина

Table 3. The influence of mineral nutrition options on the growth processes of the Florina apple tree variety

№ варианта	Вариант	Средний прирост побега, см	Разность с контролем, см
1	Контроль	56,1	–
2	Контроль фон	56,7	0,6
3	NPK60 + Ca25	57,1	1,0
4	NPK90 + Ca25	57,4	1,3
5	NPK120 + Ca25	63,5	7,4
6	NPK60 + Ca25 + ЛП	51,6	–4,5
7	NPK90 + Ca25 + ЛП	53,9	–2,2
8	NPK120 + Ca25 + ЛП	64,3	8,2
9	NPK(8-24-24)30 + Ca25	50,6	–5,5
10	NPK(8-24-24)40 + Ca25	50,8	–5,3
11	NPK(8-24-24)50 + Ca25	57,8	1,7
12	NPK(8-24-24)30 + Ca25 + ЛП	54,2	–1,9
13	NPK(8-24-24)40 + Ca25 + ЛП	54,5	–1,6
14	NPK(8-24-24)50 + Ca25 + ЛП	59,0	2,9
15	Комплекс листовых подкормок	57,3	1,2
	$HCP_{0,05}$	3,37	–

На вариантах с применением нитроаммофоски (8-24-24) в дозах 30 и 40 кг д.в./га по азоту (варианты 9, 10) зафиксировано снижение прироста побегов, что объясняется недостаточным обеспечением азотом для активного роста. Однако при увеличении дозы до 50 кг д.в./га (вариант 11) прирост достигает уровня контроля (57,8 см), а при добавлении листовых подкормок (вариант 14) превышает контроль на 2,9 см.

Оценка продуктивности яблони показала, что все варианты с внесением удобрений обеспечивают прибавку урожайности по сравнению с контрольным вариантом. Наилучшие результаты по показателям средней массы плода и урожайности зафиксированы на варианте 14 – NPK(8-24-24)50 + Ca25 + ЛП (табл. 4).

Установлено, что контрольные варианты по массе плода существенно не различаются между собой. По сравнению с контролем 1 достоверно более высокая масса плодов отмечена на вариантах 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15. Указанные варианты также превосходят вариант «контроль фон».

Наиболее крупные плоды сформировались на вариантах 10 (NPK(8-24-24)40 + Ca25) – 181 г, 11 (NPK(8-24-24)50 + Ca25) – 181 г и 14 (NPK(8-24-24)50 + Ca25 + ЛП) – 182 г. Полученные результаты указывают на положительное влияние повышенных доз фосфора и калия (при соотношении N:P:K = 8:24:24) на массу плодов.

Наилучшие показатели урожайности зафиксированы на варианте 14–28,9 т/га, что на 15,1 % выше контроля. На вариантах с применением нитроаммофоски (8-24-24) урожайность составила 27,2–28,9 т/га, тогда как на вариантах с нитроаммофоской (16-16-16) – 25,9–26,7 т/га. Данная закономерность подтверждает вывод о том, что сбалансированное фосфорно-калийное питание на фоне умеренного азотного обеспечения способствует более эффективной реализации продукционного потенциала сорта Флорина.

Биохимический состав плодов является важнейшим показателем, определяющим их пищевую ценность, вкусовые качества и лёжкость. Результаты биохимического ана-

лиза плодов яблони сорта Флорина представлены в таблице 5.

Установлена четкая закономерность влияния минерального питания на накопление сухих веществ, сахаров и витамина С. Повышение дозы азота с 60 до 120 кг д.в./га (варианты 3-5, 6-8) приводило к снижению содержания сухих растворимых веществ с 14,8-15,0 % до 14,0-14,2 %, сахаров с 11,7-11,9 % до 11,0-11,2 % и витамина С с 8,2-8,6 мг % до 7,2-7,5 мг % при одновременном повышении кислотности. Данный факт указывает на ухудшение вкусовых качеств плодов при избыточном азотном питании, что согласуется с данными исследований [10].

Применение листовых подкормок на фоне нитроаммофоски (16-16-16) (варианты 6-8) способствовало некоторому повышению содержания сахаров и витамина С по сравнению с вариантами без листовых подкормок (варианты 3-5). Однако наилучшие результаты получены на фоне нитроаммофоски (8-24-24) в сочетании с листовыми подкормками (варианты 12-14).

Максимальные биохимические показатели зафиксированы на варианте 14: содержание сухих веществ – 16,3 %, сахаров – 13,1 %, витамина С – 10,5 мг % при минимальной кислотности 0,30 %. Сахарокислотный индекс на этом варианте составил 43,7, что в 1,6 раза выше контроля (27,3). Выявленное снижение содержания витамина С на всех вариантах с внесением удобрений по сравнению с контролем (11,5 мг %) объясняется «эффектом разбавления» – увеличением массы плодов при применении удобрений приводит к снижению концентрации витамина С на единицу массы.

Засушливые условия вегетационного периода 2025 г. способствовали повышению сахарокислотного индекса на всех вариантах, что подтверждает известную закономерность: в засушливые годы плоды накапливают больше сахаров при снижении кислотности [10, 11, 12]. Полученные на варианте 14 значения сахаров (13,1 %) и сахарокислотного индекса (43,7) свидетельствуют о формировании плодов с высокими вкусовыми качествами.

Таблица 4. Показатели урожайности яблони сорта Флорина

Table 4. Yield indicators of the Florina apple tree variety

№ варианта	Вариант	Средняя масса плода, г	Разность с контролем, г	Урожайность, т/га	Разность с контролем, т/га
1	Контроль	167	—	25,1	—
2	Контроль фон	172	5,0	25,9	0,8
3	NPK60 + Ca25	178	11,0	26,1	1,0
4	NPK90 + Ca25	171	4,0	26,7	1,6
5	NPK120 + Ca25	170	3,0	26,2	1,1
6	NPK60 + Ca25 + ЛП	172	5,0	25,9	0,8
7	NPK90 + Ca25 + ЛП	178	11,0	26,3	1,2
8	NPK120 + Ca25 + ЛП	171	4,0	26,1	1,0
9	NPK(8-24-24)30 + Ca25	178	11,0	27,2	2,1
10	NPK(8-24-24)40 + Ca25	181	14,0	27,9	2,8
11	NPK(8-24-24)50 + Ca25	181	14,0	28,2	3,1
12	NPK(8-24-24)30 + Ca25 + ЛП	180	13,0	27,7	2,6
13	NPK(8-24-24)40 + Ca25 + ЛП	179	12,0	28,1	3,0
14	NPK(8-24-24)50 + Ca25 + ЛП	182	14,5	28,9	3,8
15	Комплекс листовые	175	8,0	26,8	1,7
	HCP ₀₅	5,56	—	0,33	—

Таблица 5. Биохимический состав плодов яблони сорта Флорина (2025 г.)

Table 5. Biochemical composition of fruits of the Florina apple variety (2025)

№ варианта	Вариант	Сухие растворимые вещества, %	Сахара, %	Витамин С, мг %	Общая кислотность, %	Сахарокислотный индекс
1	Контроль	15,2	12,0	11,5	0,44	27,3
2	Контроль фон	15,0	11,9	7,8	0,36	33,1
3	NPK60 + Ca25	14,8	11,7	8,2	0,38	30,8
4	NPK90 + Ca25	14,6	11,5	8,5	0,37	31,1
5	NPK120 + Ca25	14,2	11,2	7,5	0,39	28,7
6	NPK60 + Ca25 + ЛП	14,4	11,4	8,6	0,37	30,8
7	NPK90 + Ca25 + ЛП	14,8	11,8	9,2	0,32	36,9
8	NPK120 + Ca25 + ЛП	14,0	11,0	7,2	0,34	32,4
9	NPK(8-24-24)30 + Ca25	15,4	12,2	8,9	0,35	34,9
10	NPK(8-24-24)40 + Ca25	15,6	12,4	9,3	0,34	36,5
11	NPK(8-24-24)50 + Ca25	15,7	12,5	9,5	0,33	37,9
12	NPK(8-24-24)30 + Ca25 + ЛП	15,9	12,7	9,8	0,32	39,7
13	NPK(8-24-24)40 + Ca25 + ЛП	16,1	12,9	10,2	0,31	41,6
14	NPK(8-24-24)50 + Ca25 + ЛП	16,3	13,1	10,5	0,30	43,7
15	Комплекс листовые	14,9	11,8	9,6	0,35	33,7
	HCP ₀₅	0,6	0,5	0,9	0,02	1,5

Для характеристики фотосинтетической активности растений и оценки завязываемости плодов в ходе исследований определяли площадь листовой поверхности и учитывали количество плодов при сьеме урожая (табл. 6).

Площадь листовой поверхности определяли в фазу полного развития листового аппарата (июль) методом обмера с использованием корректирующего коэффициента $k = 0,65-0,70$, что согласуется с данными Hruskova и Paulen (1998) [13], Nautiyal с соавторами (1990) [14], а также с результа-

тами исследований Капичниковой с соавторами (2015) [15], установивших, что для большинства сортов яблони на полукарликовых подвоях коэффициент формы листа находится в диапазоне 0,64-0,72.

Наибольшая площадь листовой поверхности отмечена на вариантах с высокими дозами азота: NPK120 + Ca25 (14,2 м²/дер) и NPK120 + Ca25 + ЛП (14,5 м²/дер), что на 14,5-17,0 % больше контроля. Данный факт подтверждает стимулирующее влияние азота на развитие листового аппарата. Варианты с нитроаммофоской (8-24-24) характе-

ризовались несколько меньшей площадью листовой поверхности (11,5-13,2 м²/дер) по сравнению с вариантами, содержащими высокие дозы азота (14,2-14,5 м²/дер).

Количество плодов на одно дерево было максимальным на варианте 14 (159 шт./дер), что на 6,0 % превышает контроль. Варианты с применением нитроаммофоски (8-24-24) обеспечили формирование 153-159 шт./дер, тогда как на контроле этот показатель составил 150 шт./дер. Повышение количества плодов на вариантах с повышенным содержанием фосфора и калия (8-24-24) связано с лучшей завязываемостью и сохранностью плодов благодаря сбалансированному питанию.

Установлено, что для яблони сорта Флорина на полукарликовом подвое урожайность в большей степени определяется не площадью листовой поверхности, а качеством её работы: лучшие результаты (варианты 10-14) получены при балансе N<P:K, тогда как избыточное наращивание листового аппарата (варианты 5 и 8) не

привело к росту продуктивности. Это указывает на то, что для яблони сорта Флорина на полукарликовом подвое определяющее значение имеет не столько абсолютная площадь листьев, сколько их функциональная активность и эффективность фотосинтеза, оптимизируемые фосфорно-калийным питанием на фоне умеренного азотного обеспечения, что подтверждается литературными данными [5, 14] о снижении эффективности фотосинтеза при затенении и нарушении баланса элементов питания.

Сложность прогнозирования продукционных процессов на основе структурных параметров кроны показана также в исследовании Penzel и Tsoulas [16], где соотношение листовой поверхности и количества плодов не являлось достоверным предиктором роста побегов в зрелых садах, что указывает на сложность ассимиляционных процессов в зрелых насаждениях и необходимости учитывать при планировании систем удобрения и обрезки.

Таблица 6. Площадь листовой поверхности и количество плодов яблони сорта Флорина
Table 6. Leaf surface area and number of fruits of the Florina apple tree variety

№ варианта	Вариант	Площадь листовой поверхности, м ² /дер	Количество плодов, шт./дер
1	Контроль	12,4	150
2	Контроль фон	12,9	151
3	NPK60 + Ca25	13,1	147
4	NPK90 + Ca25	13,3	156
5	NPK120 + Ca25	14,2	154
6	NPK60 + Ca25 + ЛП	11,8	151
7	NPK90 + Ca25 + ЛП	12,2	148
8	NPK120 + Ca25 + ЛП	14,5	153
9	NPK(8-24-24)30 + Ca25	11,5	153
10	NPK(8-24-24)40 + Ca25	11,7	154
11	NPK(8-24-24)50 + Ca25	12,9	156
12	NPK(8-24-24)30 + Ca25 + ЛП	12,1	154
13	NPK(8-24-24)40 + Ca25 + ЛП	12,4	157
14	NPK(8-24-24)50 + Ca25 + ЛП	13,2	159
15	Комплекс листовые	12,6	153
	HCP ₀₅	0,9	8,5

Заключение.

1. Доза азота >90 кг д.в./га усиливает рост побегов (до 64,3 см), но снижает сахара и витамин С в плодах.

2. Замена нитроаммофоски (16-16-16) на (8-24-24) повышает урожайность на 2,1-

3,8 т/га и массу плода на 11-14,5 г; максимум (28,9 т/га) – при (8-24-24) + Ca.

3. Применение сбалансированного азотно-фосфорно-калийного питания (соотношение N<P:K) + микроэлементы, способствует улучшению биохимиче-

ского качества плодов, увеличивает сахара до 13,1 %, сахарокислотный индекс – в 1,6 раза.

4. При применении нитроаммофоски (8-24-24) листовой аппарат меньше, но урожай выше – более эффективное использо-

вание ФАР и перераспределение ассимилятов в плоды.

5. Рекомендована система: (8-24-24) 50 кг N/га + Ca 25 кг/га + листовые Изagri – обеспечивает стабильный урожай с высоким качеством.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
2. Сычёв В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 328 с. ISBN 978-5-907036-01-7.
3. Эффективность доз минеральных удобрений яблони в саду интенсивного типа на черноземе выщелоченном Ставропольской возвышенности / Т.С. Айсанов [и др.] // Земледелие. 2023. № 6. С. 19-22.
4. Продуктивность зимних сортов яблони в зависимости от доз удобрения на выщелоченном черноземе Ставропольской возвышенности / Т.С. Айсанов [и др.] // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5 (13). С. 4-11. DOI 10.25930/2687-1254/001.5.13.2020. EDN HULNOZ.
5. Сергеева Н.Н., Ненько Н.И., Киселёва Г.К. Анатомо-морфологическая структура и содержание хлорофилла в листьях яблони при использовании удобрений и биоактивных веществ // Сельскохозяйственная биология. 2013. Т. 48, № 5. С. 80-84.
6. Плодоводство: учебник / Ю.В. Трунов [и др.]. М.: КолосС, 2012. 415 с. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). ISBN 978-5-9532-0833-8.
7. Дорошенко Т.Н., Бузоверов А.В., Рязанова Л.Г. Южное плодоводство: почвенная агротехника, удобрение, орошение: учебное пособие. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2021. 128 с. ISBN 978-5-8114-8216-0.
8. Питание и удобрение овощных, плодово-ягодных культур и винограда: учебное пособие / Е.А. Саленко [и др.]. Ставрополь: Ставропольский ГАУ, 2018. 215 с.
9. Питание и удобрение овощных, плодово-ягодных культур и винограда: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по направлению 35.03.05 «Садоводство» / Е.А. Устименко [и др.]. Ставрополь: Ставропольский ГАУ, 2023. 248 с. EDN MFFRPL.
10. Влияние минеральных удобрений и гидротермических условий вегетационного периода на вкусовые качества плодов яблони / О.А. Ветрова [и др.] // Плодородие. 2024. № 6 (141). С. 51-55. DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.11.
11. Павел А.Р., Макаркина М.А. Формирование некоторых компонентов химического состава плодов яблони под влиянием факторов среды // Вестник аграрной науки. 2020. № 6 (87). С. 18-24. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.6.18.
12. Никитин А.Л., Макаркина М.А. Влияние метеоусловий на лёжку плодов иммунных к парше колонновидных сортов яблони // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 4. С. 545-554.
13. Hruskova I., Paulen O. Non-destructive methods of leaf area estimation in apple tree (*Malus x Domestica* Borkh.) // Acta Horticulturae et Regiotecturae. 1998. Vol. 1, No. 1. P. 11-15. ISSN 1335-2563.
14. Correcting leaf area measurement by conventional methods: a new approach for apple (*Malus domestica* Borkh.) / M.C. Nautiyal [et al.] // Journal of Horticultural Science. 1990. Vol. 65, No. 1. P. 15-18. DOI: 10.1080/00221589.1990.11516022.

15. Капичникова Н.Г., Рябцева Т.В., Турбин П.А. Формирование площади листовой поверхности и урожайность деревьев различных сорто-подвойных комбинаций яблони // Плодоводство: сборник научных трудов. Минск: Белорусская наука, 2017. С. 26-33. EDN IAXHYU.

16. Penzel M., Tsoulas N. Annual shoot growth on apple trees with variable canopy leaf area and crop load in response to LiDAR scanned leaf area to fruit ratio // International Agrophysics. 2022. Vol. 36. P. 173-180.

REFERENCES

1. Dospekhov B.A. Field experiment methodology (with basics of statistical processing of research results). 5th ed., suppl. and rev. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. [In Russ.].

2. Sychev V.G. Current state of soil fertility and basic aspects of its regulation. Moscow: RAS, 2019. 328 p. ISBN 978-5-907036-01-7. [In Russ.].

3. Efficiency of mineral fertilizer doses for apple trees in an intensive orchard on leached chernozem of the Stavropol upland / T.S. Aisanov [et al.] // Farming. 2023. No. 6. P. 19-22. [In Russ.].

4. Productivity of winter apple varieties depending on fertilizer doses on leached chernozem of the Stavropol upland / T.S. Aisanov [et al.] // Agricultural Journal. 2020. No. 5 (13). P. 4-11. Doi 10.25930/2687-1254/001.5.13.2020. EDN HULNOZ. [In Russ.].

5. Sergeeva N.N., Nenko N.I., Kiseleva G.K. Anatomical and morphological structure and chlorophyll content in apple leaves when using fertilizers and bioactive substances // Agricultural Biology. 2013. Vol. 48, Iss. 5. P. 80-84. [In Russ.].

6. Fruit growing: a textbook / Yu.V. Trunov [et al.]. Moscow: Koloss, 2012. 415 p. (Textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions). ISBN 978-5-9532-0833-8. [In Russ.].

7. Doroshenko T.N., Buzoverov A.V., Ryazanova L.G. Fruit growing in the south: soil agricultural technology, fertilization, irrigation: a tutorial. 2nd ed., stereotyped. St. Petersburg: Lan, 2021. 128 p. ISBN 978-5-8114-8216-0. [In Russ.].

8. Nutrition and fertilization of vegetable, fruit and berry crops and grapes: a tutorial / E.A. Salenko [et al.]. Stavropol: Stavropol state agrarian university, 2018. 215 p. [In Russ.].

9. Nutrition and fertilization of vegetables, fruit and berry crops and grapes: a textbook for students of higher educational institutions in the Direction of 35.03.05: Gardening" / E.A. Ustimenko [et al.]. Stavropol: Stavropol state agrarian university, 2023. 248 p. EDN MFFRPL. [In Russ.].

10. The influence of mineral fertilizers and hydrothermal conditions of the growing season on the taste of apple fruits / O.A. Vetrova [et al.] // Plodorodie. 2024. No. 6 (141). P. 51-55. DOI: 10.25680/s19948603.2024.141.11. [In Russ.].

11. Pavel A.R., Makarkina M.A. Formation of some components of the chemical composition of apple fruits under the influence of environmental factors // Bulletin of Agrarian science. 2020. No. 6 (87). P. 18-24. Doi: 10.17238/issn2587-666x.2020.6.18. [In Russ.].

12. Nikitin A.L., Makarkina M.A. Influence of weather conditions on the storage life of fruits of scab-immune columnar apple varieties // Food production engineering and technology. 2019. Vol. 49, No. 4. P. 545-554. [In Russ.].

13. Hruskova I., Paulen O. Non-destructive methods of leaf area estimation in apple tree (*malus x domestica* borkh.) // Acta horticulturae et regioteecturae. 1998. Vol. 1, No. 1. P. 11-15. ISSN 1335-2563.

14. Correcting leaf area measurement by conventional methods: a new approach for apple (*malus domestica* borkh.) / M.C. Nautiyal [et al.] // Journal of horticultural science. 1990. Vol. 65, no. 1. P. 15-18. Doi: 10.1080/00221589.1990.11516022.

15. Kapichnikova N.G., Ryabtseva T.V., Turbin P.A. Formation of leaf surface area and tree yield of different apple variety-rootstock combinations // Fruit growing: a collection of scientific papers. Minsk: Belarusian science, 2017. P. 26-33. EDN IAXHYU.

16. Penzel M., Tsoulas N. Annual shoot growth on apple trees with variable canopy leaf area and crop load in response to lidar scanned leaf area to fruit ratio // International Agrophysics. 2022. Vol. 36. P. 173-180.

Информация об авторах/ Information about the authors

Бишенов Хасанби Замахширович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Шарданова, 23, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6301-7406>, e-mail: hasanbi75@mail.ru

Варквасова Марита Азизовна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Шарданова, 23, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4121-4577>, e-mail: kbrapple@mail.ru

Канукова Жаннет Османовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Шарданова, 23, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5402-917X>, e-mail: laboratory_cp@mail.ru

Хачетлов Ахмед Харитонович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Шарданова, 23, e-mail: hachetlov71@mail.ru

Khasanbi Z. Bishenov, PhD (Agr.), Leading Researcher, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture; 360004, the Russian Federation, Nalchik, 23 Shardanov St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6301-7406>, e-mail: hasanbi75@mail.ru

Marita A. Varkvasova, PhD (Agr.), Leading Researcher, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture; 360004, the Russian Federation, Nalchik, 23 Shardanov St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4121-4577>, e-mail: kbrapple@mail.ru

Jeannette O. Kanukova, PhD (Agr.), Senior Researcher, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture; 360004, the Russian Federation, Nalchik, 23 Shardanov St., ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5402-917X>, e-mail: laboratory_cp@mail.ru

Akhmed Kh. Khachetlov, PhD (Agr.), Senior Researcher, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture; 360004, the Russian Federation, Nalchik, 23 Shardanov St., e-mail: hachetlov71@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Бишенов Хасанби Замахширович – проведение эксперимента, подбор литературных источников, оформление статьи по требованиям журнала, разработка методики исследования, валидация данных.

Варквасова Марита Азизовна – проведение эксперимента, разработка методики исследования, валидация данных.

Канукова Жаннет Османовна – проведение эксперимента, разработка методики исследования, валидация данных.

Хачетлов Ахмед Харитонович – проведение эксперимента, разработка методики исследования, валидация данных.

Claimed contribution of the authors

Hasanbi Z. Bishenov – conducting the experiment, literature selection, article formatting in accordance with the Journal requirements, research methodology development, and data validation.

Marita A. Varkvasova – conducting the experiment, research methodology development, and data validation.

Zhannet O. Kanukova – conducting the experiment, research methodology development, and data validation.

Akhmed Kh. Khachetlov – conducting the experiment, research methodology development, and data validation.

Поступила в редакцию 23.06.2026

Поступила после рецензирования 03.08.2026

Принята к публикации 05.08.2026

Received 23.06.2026

Revised 03.08.2026

Accepted 05.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-83-93>

УДК 633:[631.559:631.51:631.445.4]



Влияние различных способов обработки почвы на агрофизические свойства выщелоченного слитого чернозема и урожайность сельскохозяйственных культур

О.А. Благополучная✉, Н.И. Мамсиров

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»;
г. Майкоп, Российская Федерация,
✉blagopolu4naya@list.ru*

Аннотация. Введение. Существенное влияние на агрофизические свойства почвы оказывает выбор способа обработки. **Цель исследований.** Изучение влияния отвальных и безотвальных способов обработки почвы на агрофизические показатели (запасы продуктивной влаги, плотность сложения, агрегатный состав), а также урожайность сельскохозяйственных культур. **Методы.** Научную работу проводили на полях Адыгейского научно-исследовательского института в 2015-2018 гг., почва которых представлена слитым черноземом, в севообороте при чередовании пропашных, озимых зерновых и бобовых культур. Схема опыта включала четыре варианта: 1. Вспашка (ПН-4-35) (контроль). 2. Чизельная обработка (ПЧ-2,5). 3. Мелкая обработка (КПЭ-3,8). 4. Поверхностная обработка (БДМ-4). **Результаты.** В исследованиях установлено, что наибольшие запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы отмечены на вариантах с постоянной поверхностной обработкой 85,5-138,5 мм; с ежегодной обработкой противозерозионным культиватором 85,1-138,1 мм. Плотность сложения почвы не превышала оптимальных значений в слое почвы 0-40 см 1,03-1,23 г/см³. Применение чизельной обработки обеспечило более рыхлое сложение почвы (объемная масса 1,1 г/см³) в отличие от отвальной и поверхностной обработок, где почва была более плотной – 1,20 г/см³. Наибольшее количество агрономически ценных агрегатов 2,5-10 мм в посевном слое почвы отмечено на варианте с постоянной чизельной обработкой на посевах кукурузы на силос 66,0 %. Наиболее глыбистая структура почвы обозначена на варианте с постоянной обработкой КПЭ-3,8 – 45,1 % по пшенице озимой. Ежегодная вспашка, оказала наиболее благоприятное влияние на урожайность возделываемых культур. При обработках почвы без оборота пласта происходило снижение урожайности: чизелевание на 2,4 %, КПЭ-3,8 – 6,2 %, дисковая борона – 8,5 %. **Заключение.** В результате многолетних исследований установлено, что применение обработок почвы без оборота пласта не оказало негативного влияния на агрофизические свойства почвы.

Ключевые слова: способы обработки почвы, чизелевание, отвальная обработка, мелкая обработка, поверхностная обработка, агрофизические показатели, плотность сложения почвы, структурно-агрегатный состав, мезоагрегаты, макроагрегаты, урожайность

Для цитирования: Благополучная О.А., Мамсиров Н.И. Влияние различных способов обработки почвы на агрофизические свойства выщелоченного слитого чернозема и урожайность сельскохозяйственных культур. *Новые технологии / New technologies.* 2026; 22(3):83-93. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-83-93>

The effect of different soil tillage methods on the agrophysical properties of leached compact chernozem and crop yields

O.A. Blagopoluchnaya✉, N.I. Mamsirov

Maykop State Technological University;
Maikop, the Russian Federation,
✉blagopoluchnaya@list.ru

Abstract. Introduction. The choice of tillage method significantly influences the agrophysical properties of soil. **The goal of the research** was to study the impact of moldboard and non-moldboard tillage methods on agrophysical parameters (productive moisture reserves, bulk density, aggregate composition), as well as crop yields. **The methods.** The research was carried out in the fields of the Adygh Research Institute in 2015-2018. The soils of the Institute are represented by compact chernozem, in a crop rotation with alternating row crops, winter grains and legumes. The experimental design included four options: 1. Plowing (PN-4-35) (control). 2. Chisel cultivation (PC-2.5). 3. Shallow cultivation (KPE-3.8). 4. Surface cultivation (BDM-4). **The results.** The research established that the largest reserves of productive moisture in the meter-deep soil layer were noted in the options with constant surface cultivation of 85.5-138.5 mm; with annual cultivation with an anti-erosion cultivator 85.1-138.1 mm. The soil bulk density did not exceed the optimal values in the 0-40 cm soil layer (1.03-1.23 g/cm³). The use of chisel tillage ensured a looser soil structure (bulk density of 1.1 g/cm³) in contrast to moldboard and surface tillage, where the soil was denser - 1.20 g/cm³. The highest amount of agronomically valuable aggregates of 2.5-10 mm in the seed layer of the soil was noted in the variant with constant chisel tillage for corn crops for silage (66.0 %). The most blocky soil structure was noted in the variant with constant tillage KPE-3.8-45.1 % for winter wheat. Annual plowing had the most favorable effect on the yield of cultivated crops. With non-inversion tillage, yields decreased: chisel tillage by 2.4 %, KPE-3.8 by 6.2 %, and disc harrow by 8.5 %. **Conclusion.** Long-term research has shown that non-inversion tillage does affect the agrophysical properties of the soil.

Keywords: tillage methods, chisel tillage, moldboard tillage, shallow tillage, surface tillage, agrophysical parameters, soil bulk density, structural-aggregate composition, mesoaggregates, macroaggregates, yield.

For citation: Blagopoluchnaya O.A., Mamsirov N.I. The effect of different soil tillage methods on the agrophysical properties of leached compact chernozem and crop yields. *Novye Tehnologii / New Technologies*. 2026; 22(3):83-93. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-83-93>

Введение. Одним из важных агротехнических приемов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур является обработка почвы. Выбор способа обработки почвы существенно влияет на ее агрофизические показатели (плотность сложения, структурно-агрегатный состав, пористость, водопроницаемость) [1, с. 43; 2, с.133; 3, с. 33]. Влияние различных систем обработки почвы на объемную массу, агрегатный состав слитых чернозёмов в севообороте зависит от конкретных условий: типа чернозёма, вида обработки, типа севооборота, уровня удобрённости и других факторов [4, с. 1169; 5, с. 135]. Исследования показывают неоднозначные результаты, и мнения исследователей расходятся [6, с. 3; 7, с. 16; 8, с. 150].

Выбор способа обработки почвы – сложный процесс, который требует учёта многих факторов и проведения исследований в конкретных агроэкологических и климатических условиях [9, с. 109; 10, с. 50; 11, с. 10; 12, с. 63].

Цель исследований: изучить влияние отвальных и безотвальных способов обработок на агрофизические показатели почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.

Задачи опыта: определение влияния ресурсосберегающих способов обработки почвы на её физическое состояние, а именно: на запасы продуктивной влаги, плотность сложения и структуру (агрегатный состав); прослеживание связей между этими изменениями в почве и итоговой урожайностью возделываемых культур.

Материалы и методы исследований. Опыты по изучению влияния разноглубинных обработок почвы на агрофизические показатели проводили на полях Адыгейского НИИСХ в 2015-2018 гг.

Почвы – чернозем слитой тяжелой по механическому составу, с содержанием в слое почвы 0-30 см: гумуса – 4,37 %, подвижного фосфора – 40,4 мг/кг почвы, pH солевой вытяжки 5,6 (слабокислая).

Место проведения научных экспериментов расположено в зоне умеренного климата. Одной из ключевых особенностей региона является неустойчивый режим увлажнения. В среднем здесь выпадает от 780 до 800 мм осадков в год, однако их распределение часто бывает неравномерным.

Опыт закладывался по методике Б.А. Доспехова [13, с. 67-69], в четырехкратной повторности, расположение делянок рендомизированное, площадь делянки 210 м².

В период исследований проводилось определение следующих агрофизических показателей почвы:

– влажности почвы проводили весовым методом на глубину 0-100 см по слоям 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см [14, с. 56-58];

– объемной массы почвы по методу Н.А. Качинского в слоях 0-10, 15-25, 30-40 см [15, с. 94-96];

– структурно-агрегатного состава почвы, путем фракционирования на ситах в воздушно-сухом состоянии образцов почвы по методу Н.И. Савинова [14, с. 34-36].

Результаты исследований. Исследование проведено в условиях, характерных для зоны неустойчивого увлажнения. Продуктивная влага определялась в метровом слое почвы (0-100 см) – критическом для большинства сельскохозяйственных культур, поскольку именно здесь сосредоточена основная масса активно функционирующих корневых систем.

Исследуемые способы обработки почвы оказали заметное влияние на влажность почвы (табл. 1). По результатам исследований отмечено, что наибольшие стартовые запасы влаги при посеве зафиксированы на вариантах с поверхностной и мелкой обработкой – 125,9 мм (БДМ-4) и 120,3 мм (КПЭ-3,8), что на 30-30,5 % выше, чем на вспашке (96,5 мм). Это объясняется минимальным нарушением капиллярной структуры почвы, снижением испарения и лучшим сохранением влаги, накопленной в осенне-зимний период.

Критическое падение влагозапасов к уборке отмечено на всех вариантах (до 10,2-13,9 мм), что свидетельствует об экстремальных засушливых условиях вегетационного периода. Минимальные потери относительно: на поверхностной обработке запас снизился до 10,2 мм (потеря 91,9 %), на вспашке – до 13,9 мм (потеря 85,6 %). В итоге установлено, что поверхностные обработки обеспечивают лучшую влагообеспеченность в начальный период, но не предотвращают критического иссушения почвы к уборке в условиях сильной засухи.

Схема опыта Experimental design

Кукуруза на силос	Озимая пшеница	Клевер I года жизни	Клевер II года жизни
Вспашка 25-27 см	Вспашка 20-22 см	Вспашка 25-27 см	
Чизелевание 40 см	Чизелевание 30 см	Чизелевание 40 см	
Мелкая обработка КПЭ-3,8	Мелкая обработка	Мелкая обработка	
14-16 см	КПЭ-3,8	КПЭ-3,8	
	16-18 см	14-16 см	
Поверхностная обработка	Поверхностная обработка	Поверхностная обработка	Весеннее
БДМ-4	БДМ-4	БДМ-4	боронование
8-10 см	10-12 см	8-10 см	

Таблица 1. Запасы продуктивной влаги, мм
Table 1. Productive moisture reserves, mm

Способ обработки почвы	Слой почвы, см	Содержание продуктивной влаги							
		Кукуруза на силос		Озимая пшеница		Клевер I года жизни		Клевер II года жизни	
		посев	уборка	посев	уборка	посев	1-й укос	начало отрастания	1-й укос
Вспашка	0-100	96,5	13,9	69,9	27,4	87,4	56,9	140,9	38,7
Чизелевание	0-100	89,9	11,9	82,5	28,6	81,8	53,3	143,0	45,8
Мелкая обработка КПЭ-3,8	0-100	120,3	10,9	85,1	24,6	94,4	52,7	138,1	36,9
Поверхностная обработка БДМ-4	0-100	125,9	10,2	92,4	25,4	85,5	55,6	138,5	37,5

Анализ влагообеспеченности посевов озимой пшеницы показал, что в период сева максимальные влагозапасы отмечались на варианте с поверхностной обработкой – 92,4 мм, минимальные – на вспашке (69,9 мм). Разница между экстремальными значениями составляет 22,5 мм (или 32,2 %).

К моменту полной спелости зерна ситуация в метровом слое почвы изменилась в зависимости от способа обработки. Наименьшие показатели влажности зафиксированы на варианте с мелкой обработкой – 24,6 мм (15,4 % от ППВ). Лучший остаточный запас фиксируется при чизелевании – 28,6 мм (16,7 % от ППВ), что выше вспашки на 4,4 %. Это указывает на более экономное расходование влаги растениями на безотвальном фоне. Установлено, что чизелевание обеспечивает устойчивое преимущество по сравнению со вспашкой как в начальной, так и в конечной фазах.

Запасы продуктивной влаги в период сева клевера были удовлетворительными и составляли 81,8-94,4 мм. Наибольшая стартовая влагообеспеченность – на поверхностной обработке (85,5 мм) и мелкой (94,4 мм), наименьшая – на чизелевании (81,8 мм). Динамика снижения влаги к 1-му укосу варьирует от 52,7 мм (мелкая обработка) до 56,9 мм (вспашка). Потери составили 38-45 % от начальных запасов. Интересный факт: при вспашке потери абсолютные – 30,5 мм, при поверхностной – 29,9 мм, то есть различия минимальны, что

говорит о нивелирующей роли развитого травостоя к моменту уборки.

В период отрастания растений клевера второго года жизни максимальное накопление влаги к началу отрастания наблюдается при чизелевании – 143,0 мм (89,4 % от ППВ), что на 2,9-3,6 % выше, чем при мелкой и поверхностной обработках (138,1-138,5 мм) и на 1,5 % выше вспашки (140,9 мм).

Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см считаются «хорошими» при показателях 160-130 мм, «удовлетворительными» – 130-90 мм по шкале А.Ф. Вадюниной, З.А. Корчагиной [16, с. 146-152]. В изучаемых вариантах, в данном слое запасы влаги в период посева, можно оценить в среднем по всем культурам как удовлетворительные.

Плотность сложения (объемная масса) почвы – ключевой агрофизический показатель: это масса единицы объема абсолютно сухой почвы в её естественном, ненарушенном состоянии (обычно выражают в г/см³ или т/м³). Оптимальная плотность – 1,0-1,3 г/см³; свыше 1,4-1,5 г/см³ – критично для большинства культур.

Плотность сложения почвы влияет на доступ воды и воздуха (в плотной почве хуже водопроницаемость и аэрация); рост корней (уплотнение механически мешает их развитию); активность микроорганизмов (из-за нехватки кислорода снижается разложение органики); тепловой режим (плотная почва медленнее прогревается); эрозию и

обработку (растёт риск смыва плодородного слоя и энергозатраты на обработку).

Объемная масса почвы в период полных всходов растений кукурузы на всех вариантах варьировала: в слое почвы 0-10 см 0,93-0,99 г/см³, 15-25 см 1,16-1,30 г/см³, 30-40 см 1,25-1,31 г/см³ (табл. 2). В фазу выметывания мужских соцветий отмечается небольшое уплотнение верхнего слоя 0-10 см на всех вариантах обработок под влиянием междурядных культиваций и снижения влажности в этом слое.

Анализ плотности почвы в посевах озимой пшеницы показал, что в фазу выхода в трубку наиболее рыхлое сложение посевного слоя было зафиксировано на варианте со вспашкой – 0,87 г/см³. При использовании чизельной обработки плотность составила 0,90 г/см³, а при обработке КПЭ-3,8 и БДМ-4 – 0,91 г/см³.

К моменту полной спелости зерна наблюдалось уплотнение почвы: в слое 0-10 см показатели возросли до 1,02-1,07 г/см³ независимо от способов обработки.

В посеве клевера (полные всходы) объемная масса мало различалась по вариан-

там обработок и составляла в слое 0-10 см 0,83-0,91 г/см³, 15-25 см 1,10-1,13 г/см³, 30-40 см 1,15-1,16 г/см³. Перед первым укосом плотность почвы мало различалась в зависимости от способов обработки в слоях 0-10 см и 15-25 см. За период, прошедший между двумя отборами, в посевном слое отмечалось уплотнение почвы на всех вариантах обработки на 0,13-0,23 г/см³.

Применение поверхностной и мелкой обработки почвы (8-10 и 14-16 см) способствовало разуплотнению нижнего слоя (30-40 см): объемная масса здесь снизилась на 0,12-0,13 г/см³. В течение вегетации показатели плотности почвы в пахотном горизонте (0-40 см) сохранялись на оптимальном уровне, обеспечивая благоприятные условия для вегетации культур.

Плотность почвы в слоях 0-10, 15-25, 30-40 см в посеве клевера второго года жизни на всех вариантах при определении перед первым и вторым укосом не имела значительных различий, за исключением слоя 15-25 см по трехлетнему чизелеванию на 0,12 и 0,19 г/см³ меньше, чем по трехлетней вспашке.

Таблица 2. Объемная масса почвы в условиях опыта, г/см³
Table 2. Bulk density of soil under experimental conditions, g/cm³

Способ обработки почвы	Слой почвы, см	Культуры севооборота							
		кукуруза на силос		озимая пшеница		клевер I-года жизни		клевер II-года жизни	
		полные всходы	выметывание	выход в трубку	полная спелость	полные всходы	1-й укос	1-й укос	2-й укос
Вспашка	0-10	0,99	1,12	0,87	1,06	0,91	1,09	1,03	1,12
	15-25	1,29	1,23	1,11	1,15	1,13	1,15	1,24	1,24
	30-40	1,30	1,28	1,18	1,14	1,16	1,19	1,19	1,25
	0-40	1,19	1,21	1,05	1,12	1,07	1,14	1,15	1,20
Чизелевание	0-10	0,96	1,05	0,90	1,07	0,83	1,06	1,01	1,10
	15-25	1,16	1,16	1,08	1,13	1,10	1,14	1,12	1,05
	30-40	1,19	1,18	1,11	1,14	1,16	1,18	1,19	1,15
	0-40	1,10	1,13	1,03	1,11	1,03	1,13	1,11	1,10
Мелкая обработка КПЭ-3,8	0-10	0,98	1,10	0,82	1,02	0,83	1,06	1,00	1,10
	15-25	1,24	1,21	1,07	1,13	1,12	1,13	1,13	1,11
	30-40	1,25	1,23	1,13	1,11	1,15	1,04	1,17	1,13
	0-40	1,16	1,18	1,01	1,09	1,03	1,08	1,10	1,11
Поверхностная обработка БДМ-4	0-10	0,93	1,15	0,91	1,02	0,91	1,04	1,05	1,10
	15-25	1,30	1,26	1,09	1,13	1,13	1,12	1,19	1,14
	30-40	1,31	1,28	1,10	1,15	1,15	1,05	1,19	1,22
	0-40	1,18	1,23	1,03	1,10	1,06	1,07	1,14	1,15

Оптимальные показатели плотности черноземов слитых выщелоченных 1,00-1,27 г/см³ [17, с. 17-23]. В наших многолетних исследованиях плотность сложения слоя почвы 0-40 см изменялась в пределах по вспашке – 1,08-1,20 г/см³, чизелеванию – 1,07-1,11, по мелкой обработке – 1,04-1,17, по поверхностной – 1,06-1,20 г/см³. Полученные данные показывают, что применение в качестве основной обработки почвы безотвальных способов не превышало оптимум плотности почвы.

По результатам многолетних исследований, структурный состав чернозема слитого выщелоченного характеризуется как хороший. Анализ структурного состояния почвы в период выметывания соцветий кукурузы показал существенные различия в зависимости от способа обработки. В слое 0-10 см содержание агрономически ценных агрегатов (10-0,25 мм) варьировало от 54,5 до 66,0 %. Наилучшие показатели были зафиксированы по чизельной обработке (66,0 %), что также обеспечило максимальный коэффициент структурности – 1,94. В сравнении со вспашкой (60,1 %), использование противоэрозионного культиватора и

тяжелой дисковой бороны показали более низкие результаты – 55,0 % и 54,5 % соответственно (табл. 3)

Агрегатно-структурный анализ почвы в посевах пшеницы (слой 0-10 см) показал заметные различия в зависимости от способа обработки. Максимальное содержание мезоагрегатов (0,25-10,0 мм) отмечено на варианте с отвальной обработкой 63,1 %. Применение дисковой бороны дало наименьший результат, снизив этот показатель до 36,1 %.

Исследование структурно-агрегатного состояния почвы под посевами клевера первого года жизни в пахотном слое 0-10 см продемонстрировало выраженную вариабельность показателей в зависимости от применяемой системы механической обработки, при этом отмечена тенденция к большей стабильности структурных характеристик в вариантах с минимальной антропогенной нагрузкой. Максимальная концентрация водопрочных агрегатов в интервале размеров 0,25-10 мм, относимых к категории агрономически ценных, отмечена при применении поверхностной обработки (63,9 %) и чизелевания (62,6 %).

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почвы в слое 0-10 см в опыте, %
Table 3. Structural and aggregate composition of soil in the 0-10 cm layer in the experiment, %

Культуры севооборота	Размер агрегатов, мм	Способ обработки почвы			
		вспашка	чизелевание	мелкая обработка	поверхностная обработка
Кукуруза на силос	>10,0	37,2	32,5	42,0	43,7
	10,0-0,25	60,1	66,0	55,0	54,5
	<0,25	2,7	1,5	3,0	1,8
	коэффициент структурности	1,51	1,94	1,22	1,20
Пшеница озимая	>10,0	34,7	44,8	45,1	36,1
	10,0-0,25	63,1	53,4	53,0	62,2
	<0,25	2,2	1,8	1,9	1,7
	коэффициент структурности	1,70	1,14	1,13	1,64
Клевер I года жизни	>10,0	43,5	37,0	40,2	35,5
	10,0-0,25	55,7	58,2	58,4	63,6
	<0,25	1,3	4,8	1,4	0,6
	коэффициент структурности	1,24	1,39	1,40	1,77
Клевер II года жизни	>10,0	26,1	33,1	33,8	35,2
	10,0-0,25	71,4	62,6	64,2	64,0
	<0,25	2,5	4,3	2,0	0,8
	коэффициент структурности	2,49	1,67	1,72	1,78

Исследование почвы под клевером первого года жизни в том же слое (0-10 см) показало более стабильные результаты. Лучшие показатели по количеству ценных агрегатов зафиксированы по поверхностной (63,9 %) и чизельной (62,6 %) обработках, тогда как вспашка и мелкая обработка показали 55,7 % и 58,2 % соответственно. В целом, рассчитанные коэффициенты структурности подтверждают, что почва находится в хорошем физическом состоянии.

В опытных образцах величины коэффициента структурности изменялись от 1,7 до 2,3 единиц. Эти значения статистически значимо превосходили контрольные и, согласно стандартизированным оценочным шкалам (С.И. Долгов, П.У. Бахтин и соавт.), квалифицируются как показатели, соответствующие «хорошему» уровню физической кондиции почвы.

Полученные данные коррелируют с показателями плотности сложения и пористости, подтверждая, что минимизация глубины и интенсивности механического воздействия способствует поддержанию устойчивого агрегатного состояния, критически важного для формирования развитой корневой системы бобовых культур и реализации их симбиотического потенциала в первый год вегетации.

Анализ почвенных образцов, взятых по посевам двухлетнего клевера, показал различия в структуре почвы в зависимости от способа обработки. Так, при традиционной вспашке содержание крупных макроагрегатов (>10 мм) составило 26,1 %. Применение чизельной обработки позволило увеличить этот показатель до 33,1 %, а при мелких обработках почвы содержание макроагрегатов оказалось выше контрольных значений на

7,7-9,1 %. При этом наибольшая доля мезоагрегатов была зафиксирована именно на варианте с постоянной вспашкой – 71,4 %.

Применяемые способы обработки почвы оказывали влияние на величину урожайности возделываемых культур (табл. 4).

Сравнительная оценка урожайности зелёной массы позволила установить, что максимальная продуктивность (16,9 т/га) достигается при применении традиционной отвальной технологии, принятой за эталон сравнения. Систематическое чизелевание также продемонстрировало высокую эффективность, обеспечив сбор силосной массы на уровне 16,6 т/га. Вместе с тем, внедрение безотвальных агрофонов сопровождалось устойчивой тенденцией к снижению урожайных показателей. Так, использование комбинированного почвообрабатывающего агрегата КПЭ-3,8 обусловило уменьшение урожайности на 0,4 т/га по отношению к контролю; максимальное падение продуктивности (на 1,6 т/га) зафиксировано в варианте с обработкой тяжёлой дисковой бороной БДМ-4.

По итогам трёхлетнего цикла полевых экспериментов наиболее высокий уровень зерновой продуктивности также отмечен на фоне классической отвальной вспашки – 4,83 т/га. Варианты с безотвальным рыхлением (чизелевание, культивация противоэрозионным орудием, дискование) сформировали группу со сходными количественными результатами: урожайность в указанных агрофонах колебалась в узком интервале от 4,70 до 4,71 т/га, что свидетельствует о сопоставимом воздействии данных приёмов на продукционный процесс культуры.

Таблица 4. Показатели урожайности сельскохозяйственных культур в условиях опыта, т/га
Table 4. Crop yield indicators under experimental conditions, t/ha

Вариант обработки почвы	Урожайность			
	кукуруза на силос 2015 г.	пшеница озимая 2016 г.	клевер I года жизни (за два укоса) 2017 г.	клевер II года жизни (за два укоса) 2018 г.
Вспашка (контроль)	16,9	4,83	8,62	14,0
Чизелевание	16,6	4,71	8,21	13,9
Мелкая обработка КПЭ-3,8	16,5	4,70	7,63	12,8
Поверхностная обработка БДМ-4	15,3	4,71	7,67	12,4
НСР ₀₅	0,29	0,13	0,85	1,46

По результатам третьего года полевых опытов установлена чёткая зависимость урожайности клевера от глубины механической обработки почвенного профиля. На первом году вегетации культуры применение мелкого и поверхностного рыхления сопровождалось снижением сбора зелёной массы относительно контрольного варианта на 0,99 и 0,95 т/га соответственно.

На второй год жизни травостоя выявленная закономерность сохранилась. Наивысшая продуктивность (14,0 т/га) зафиксирована в варианте с ежегодной отвальной вспашкой. Чизельная обработка обеспечила урожайность на уровне контрольных значений, тогда как технологии без оборота пласта (мелкая и поверхностная) привели к уменьшению показателей до 12,8 и 12,4 т/га соответственно.

Заключение. Многолетний мониторинг физических параметров почвенного профиля показал, что применение почвозащитных технологий: чизелевания, культивации противоэрозионными орудиями и дискования тяжёлыми боронами – не сопровождалось деградацией ключевых физических характеристик пахотного горизонта. Верхние слои почвы во всех исследуемых агрофонах характеризовались пониженными значениями плотности сложения по сравнению с нижележащими горизонтами, что соответствует естественному профильному распределению данного показателя. Величины объёмной массы в пределах изучаемых слоёв варьировали в интервале 1,03-1,23 г/см³, что квалифицируется как оптимальный диапазон для развития корневых систем большинства полевых культур.

Оценка запасов продуктивной влаги в метровом слое (0-100 см), усреднённая по

всем культурам севооборота, позволила отнести данный показатель к категории «удовлетворительных» согласно общепринятым агрономическим градациям. При этом выявлено отчётливое преимущество безотвальных фонов в отношении аккумуляции влаги: на делянках, обработанных противоэрозионным культиватором, доступные влагозапасы колебались в пределах 85,1-138,1 мм; применение тяжёлой дисковой бороны обеспечило сходный интервал значений – 85,5-138,5 мм.

Содержание агрономически ценных мезоагрегатов в посевном слое за весь период наблюдений устойчиво превышало 53 % во всех вариантах опыта. Наиболее выраженная оструктуренность почвы зафиксирована на следующих агрофонах: чизелевание под кукурузу на силос (66,0 %), поверхностная обработка на посевах клевера первого года жизни (63,6 %) и отвальная вспашка под клевером второго года пользования (71,4 %). Указанные значения свидетельствуют о сохранении благоприятной агрегатной архитектоники даже при длительном применении минимизированных технологий.

Сравнительная оценка влияния систем обработки почвы на урожайность культур выявила наиболее высокую эффективность отвальной технологии, принятой за эталон сравнения. На фоне систематического чизелевания продуктивность полевых культур уступала контрольному уровню в среднем на 2,4 %. Более значительное снижение урожайных показателей наблюдалось при трёхлетнем применении поверхностного и мелкого рыхления – потери относительно контроля составили 8,5 % и 6,2 % соответственно, что коррелирует с ухудшением агрофизических условий корнеобитаемой зоны при указанных приёмах.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузина Е.В. Влияние способов обработки почвы на физические свойства черноземов, влагообеспеченность посевов и урожайность яровой пшеницы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. Т. 6, № 3 (381). С. 40-43.
2. Accumulation and preservation of productive moisture in resource-saving technologies / Lapshinov N.A. [et al.] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2013. No. 4 (11). P. 131-134.
3. Влияние приемов основной обработки почвы в севообороте на динамику влажности и агрофизические свойства чернозема выщелоченного / В.Н. Романов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 5. С. 32-34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10508.
4. The effect of the methods of basic soil treatment on its agrophysical parameters / Mamsirov N.I. [et.al.] // International Journal of Engineering & Technology. 2018. No. 7 (4.38). P. 1167-1173.
5. Чумаченко Ю.А., Мамсиров Н.И., Шапацев А.К. Влияние агрофизических и агрохимических свойств слитых и выщелоченных черноземов на урожайность сельскохозяйственных культур // Новые технологии / New technologies. 2017. Вып. 4. С. 134-138.
6. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Оценка агрофизических свойств чернозема в условиях перехода на почвозащитные технологии обработки // Агрофизика. 2021. № 3. С. 1-9. DOI: 10.25695/AGRPH.2021.03.01.
7. Дедов А.В., Шевченко В.А. Влияние способов основной обработки почвы, удобрений на агрофизические свойства почвы, урожайность и энергетическую эффективность выращивания ячменя // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1 (76). С. 13-25. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_13-25.
8. Влияние способов обработки почвы и видов удобрений на агрофизические свойства почвы, засоренность посевов и урожайность ячменя / Носкова Е.Н. [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (31). С. 148-158. EDN: URZDYV.
9. Гулаев В.М., Зудилин С.Н., Гулаева Н.В. Влияние основной обработки почвы на агрофизические показатели плодородия почвы на посевах сои // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 5 (3). С. 1090-1092.
10. Влияние минимальной обработки на структурное состояние почвы / В.Н. Романов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 58-65. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-58-65.
11. Борин А.А., Лощинина А.Э. Агрофизические свойства и засоренность почвы при применении агротехнологий разной интенсивности // Агрофизика. 2020. № 2. С. 7-14. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.02.02.
12. Сахаров А.В., Мищенко В.В., Еремин Д.И. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного при различном его использовании в лесостепной зоне Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 3. С. 62-67.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
14. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
15. Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 272 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для высших сельскохозяйственных учебных заведений).
16. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
17. Лучинский С.И., Тарасенко Б.И., Кравченко Р.В. Управление агрофизическими свойствами почвы: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2021. 106 с.

REFERENCES

1. Kuzina E.V. Effect of soil cultivation methods on physical properties of chernozems, moisture supply of crops and the yield of spring wheat // International Agricultural Journal. 2021. Vol. 6, No. 3 (381). P. 40-43. [In Russ.].

2. Accumulation and preservation of productive moisture in resource-saving technologies / Lapshinov N.A. [et al.] // International scientific-research journal. 2013. No. 4 (11). P. 131-134.
3. Effect of primary tillage techniques in crop rotation on the moisture dynamics and agrophysical properties of leached chernozem / Romanov V.N. [et al.] // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32, No. 5. P. 32-34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10508. [In Russ.].
4. The effect of the methods of basic soil treatment on its agrophysical parameters / Mamsirov N.I. [et al.] // International Journal of Engineering & Technology. 2018. No. 7 (4.38). P. 1167-1173.
5. Chumachenko Yu.A., Mamsirov N.I., Shkhapatsev A.K. Influence of agrophysical and agrochemical properties of drained and leached chernozems on the yield of agricultural crops // Novye tehnologii / New technologies. 2017. Iss. 4. P. 134-138. [In Russ.].
6. Belousova E.N., Belousov A.A. Assessment of agrophysical properties of chernozem in the context of the transition to soil-protective processing technologies // Agrophysics. 2021. No. 3. P. 1-9. DOI: 10.25695/AGRPH.2021.03.01. [In Russ.].
7. Dedov A.V., Shevchenko V.A. The influence of primary tillage methods and fertilizers on the agrophysical properties of the soil, crop yield, and energy efficiency of barley cultivation // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2023. Vol. 16, No. 1 (76). P. 13-25. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_13-25. [In Russ.].
8. The influence of tillage methods and types of fertilizers on the agrophysical properties of the soil, weed infestation of crops and the yield of barley / Noskova E.N. [et al.] // Tavricheskiy Vestnik Agrarnoi Nauki. 2022. No. 3 (31). P. 148-158. EDN: URZDYV. [In Russ.].
9. Gulaev V.M., Zudilin S.N., Gulaeva N.V. The influence of primary tillage on the agrophysical indicators of soil fertility in soybean crops // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. Vol. 16, No. 5 (3). P. 1090-1092. [In Russ.].
10. The influence of minimum tillage on the structural state of the soil / V.N. Romanov [et al.] // Bulletin of KrasSAU. 2022. No. 5. P. 58-65. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-58-65. [In Russ.].
11. Borin A.A., Loshchinina A.E. Agrophysical properties and soil weed infestation with different intensity of agricultural technologies // Agrophysics. 2020. No. 2. P. 7-14. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.02.02. [In Russ.].
12. Sakharov A.V., Mishchenko V.V., Eremin D.I. Agrophysical properties of leached chernozem with different uses in the forest-steppe zone of the Trans-Urals // Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2020. No. 3. P. 62-67. [In Russ.].
13. Dospekhov B.A. Methods of field experiments. Moscow: Kolos, 1979. 416 p. [In Russ.].
14. Practical training in Agriculture / B.A. Dospekhov, I.P. Vasiliev, A.M. Tulikov. 2nd revised and add. edition. Moscow: Agropromizdat, 1987. 383 p.: ill. (Textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions). [In Russ.].
15. Practical training in Soil science / edited by I.S. Kaurichev. 3rd revised and add. edition. Moscow: Kolos, 1980. 272 p.: ill. (Textbooks and teaching aids for higher agricultural educational institutions). [In Russ.].
16. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods for studying the physical properties of soils. 3rd revised and add. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p.: ill. (Textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions). [In Russ.].
17. Luchinsky S.I., Tarasenko B.I., Kravchenko R.V. Management of agrophysical properties of soil: a tutorial. Krasnodar: KubSAU, 2021. 106 p. [In Russ.].

Информация об авторах / Information about the authors

Благополучная Ольга Анатольевна, старший научный сотрудник отдела земледелия, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»; 385064, Российская Федерация, г. Майкоп, п. Подгорный, ул. Ленина, 48, ORCID: 0000-0002-6135-6057, e-mail: blagopolu4naya@list.ru

Мамсиров Нурбий Ильясович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии производства сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, Российская Федерация, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, ORCID: 0000-0003-4581-5505; e-mail: nur.urup@mail.ru

Olga A. Blagopoluchnaya, Senior Researcher, Department of Agriculture, Research Institute of Agriculture, Maykop State Technological University; 385064, the Russian Federation, Maikop, Podgorny, 48 Lenin St., ORCID: 0000-0002-6135-6057, e-mail: blagopolu4naya@list.ru

Nurbii I. Mamsirov, Dr Sci. (Agr.), Associate Professor, Maykop State Technological University; 385000, the Russian Federation, Maikop, 191 Pervomayskaya St. ORCID: 0000-0003-4581-5505, e-mail: nur.urup@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Благополучная Ольга Анатольевна – разработка методики, проведение эксперимента, обработка результатов исследований.

Мамсиров Нурбий Ильясович – проведение эксперимента, оформление статьи по требованию журнала.

Claimed contribution of the authors

Olga A. Blagopoluchnaya – development of the methodology, conducting the experiment, and processing the research results.

Nurbii I. Mamsirov – conducting the experiment and formatting the article in accordance with the requirements of the Journal.

Поступила в редакцию 08.07.2026

Поступила после рецензирования 10.08.2026

Принята к публикации 12.08.2026

Received 08.07.2026

Revised 10.08.2026

Accepted 12.08.2026



Влияние приёмов возделывания на агрофизические свойства чернозёмных почв и продуктивность полевых культур

Н.И. Девтерова✉

*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»;
г. Майкоп, Российская Федерация,
✉devterovan@gmail.com*

Аннотация. Введение. Трансформация агрофизических параметров и элементов плодородия, вследствие минимизации обработок в севообороте, требует разработки высокоэффективных приёмов возделывания. **Методы.** В краткосрочном опыте изучали влияние чередования вспашки на 25-27 см с обработкой почвы дисковой бороной на 12-16 см в сочетании с минеральным азотным удобрением, комплексным NPK-удобрением на микробиологической основе, на изменение агрофизических показателей и элементов плодородия в чернозёме, выщелоченном слитом. **Цель.** Разработка эффективных приёмов возделывания, способствующих созданию для вегетации растений оптимальных физико-химических параметров, на основе чередования разноглубинных почвенных обработок в севообороте, в сочетании с удобрениями при корректировке их норм для условий южно-предгорной зоны Адыгеи. **Результаты.** Недостаточная водообеспеченность в периоды активного водопотребления в сочетании с превышением норм дневных и среднесуточных температур воздуха способствовали формированию критического <20 мм и отрицательного запаса продуктивной влаги. Оптимальному впитыванию атмосферной влаги в виде дождя способствовал факт разуплотнения почвы под овсом зимующим и пшеницей озимой в слоях. 0...10 и 10...25 см, на фоне дисковых обработок: по овсу, пшенице: 1,19 (в посевах сои); 1,07; 1,03 г/см³. В среднем, показатели плотности исследуемых слоёв: 0...10 см – 1,1; 10...25 см – 1,17; 30...40 см – 1,29 г/см³ не выходили за пределы оптимальных для культур севооборота значений. Большее количество агрономически ценных агрегатов Σ 10...0,25 мм сформировано в слое 0-10 см – 49,3 %, снижение их количества в слоях 10-25 и 30-40 см, в сравнении с посевным слоем 0...10 см, составило 27,75; 37,28 % соответственно. **Заключение.** Использование предложенного приёма способствовало созданию, оптимальных почвенных характеристик, росту продуктивности культур на 11,2-15,4-24,9 %. На лучшем варианте с внесением аммиачной селитры 162,4 кг/га. д. в. N + биопрепарат 6,0 л/га, продуктивность составила 5,42 т/га ЗЕ.

Ключевые слова: обработки почвы, севооборот, минимизация, удобрения, метеоусловия, агрофизические параметры, приёмы возделывания

Для цитирования: Девтерова Н.И. Влияние приёмов возделывания на агрофизические свойства чернозёмных почв и продуктивность полевых культур. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3):94-104. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-94-104>

The effect of cultivation practices on the agrophysical properties of chernozem soils and the productivity of field crops

N.I. Devterova ✉

*Research Institute of Agriculture, Maykop State Technological University;
Maikop, the Russian Federation,
✉devterovan@gmail.com*

Abstract. Introduction. Transformation of agrophysical parameters and fertility elements due to the minimization of tillage in crop rotation requires the development of highly effective cultivation practices. **The methods.** A short-term experiment examined the effects of alternating plowing at 25-27 cm depth with disc harrowing at 12-16 cm depth, combined with mineral nitrogen fertilizer and a complex micro-biologically based NPK fertilizer, on changes in agrophysical parameters and fertility elements in leached chernozem. **The goal of the research** was to develop effective cultivation techniques that facilitate the creation of optimal physicochemical parameters for plant vegetation, based on alternating soil cultivation at different depths in crop rotation, combined with fertilizers, while adjusting their rates for the conditions of the southern foothill zone of Adygea. **The results:** insufficient water supply during periods of active water consumption, combined with exceeding the norms of daily and average daily air temperatures, contributed to the formation of a critical <20 mm and a negative reserve of productive moisture. The optimal absorption of atmospheric moisture in the form of rain was facilitated by the fact of soil loosening under oats, overwintering and winter wheat in layers. It was 0...10 and 10...25 cm, against the background of disk cultivation: for oats, wheat: 1.19 (in soybean crops); 1.07; 1.03 g/cm³. On average, the density indicators of the studied layers were as follows: 0...10 cm – 1.1; 10...25 cm – 1.17; 30...40 cm – 1.29 g/cm³ did not go beyond the optimal values for crop rotation crops. A greater amount of agronomically valuable aggregates (10-0.25 mm) was formed in the 0-10 cm layer – 49.3 %, while their amount in the 10-25 and 30-40 cm layers, compared to the 0–10 cm seed layer, decreased by 27.75 %, 37.28 %, and 37.28 %, respectively. **Conclusion.** The proposed method contributed to the creation of optimal soil characteristics and an increase in crop productivity by 11.2-15.4-24.9 %. In the best case scenario, with the application of ammonium nitrate at 162.4 kg/ha, active ingredient N, and biopreparation at 6.0 l/ha, productivity was 5.42 t/ha of ZE.

Keywords: tillage, crop rotation, minimization, fertilizers, meteorological conditions, agrophysical parameters, cultivation practices

For citation: Devterova N.I. The effect of cultivation practices on the agrophysical properties of chernozem soils and the productivity of field crops. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):94-104. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-94-104>

Введение. Преимущественное использование в современном растениеводстве ресурсосберегающих технологий, и в частности, применение для возделывания полевых культур дифференциации почвенных обработок в севооборотах, требует разработки приёмов возделывания, учитывающих частичное исключение из системы обработок основной функции вспашки – глубокого рыхления пласта и как следствие изучения трансформации агрофизических параметров и элементов плодородия. Основанием для минимизации почвенных обработок на чер-

нозёмных почвах является факт устойчивости их сложения. Объёмная масса почвы или плотность сложения – это одна из главных физических характеристик её структурного состояния. Оптимальная равновесная плотность пахотного слоя чернозёмных почв равнинной зоны Адыгеи 1,20-1,27 г/см³. Допустимые значения равновесной плотности – 1,25-1,30 г/см³, критические – больше 1,35-1,37 г/см³. В большинстве своем на чернозёмных почвах равновесная плотность превышает предел оптимума (опт. 1,15-1,25 г/см³) [1, с. 22-32; 2, с. 28-46; 3, с. 288-297].

В подпахотном слое при минимизации обработки плотность почвы может достигать 1,42-1,45 г/см³ [4, с. 144-148]. Плотность почвы может увеличиваться с глубиной до 1,45-1,47 г/см³. Изменение показателей оптимальной плотности сложения коррелируют с содержанием гумуса и гранулометрическим составом [5, с. 10; 6, с. 49; 7, с. 7]. При выборе способа обработки следует учитывать, что оптимальная плотность сложения должна быть не только в посевном слое, но и в пахотных и подпахотных слоях. Если равновесная плотность не превышает оптимума, обработку почвы можно минимизировать. Слитые черноземы обладают высоким уровнем потенциального плодородия, но склонны к переуплотнению. Агрохимические и агрофизические свойства этих почв находятся в зависимости от применяемых способов обработки и систем удобрений. Использование отвальных и безотвальных способов обработки в сочетании с внесением удобрений ведёт к снижению процессов деградации [8, с. 467].

Цель исследований: разработка эффективных приёмов возделывания, способствующих созданию для функционирования растений оптимальных физико-химических параметров, на основе использования дифференциации почвенных обработок в севообороте и удобрений, и средств защиты растений при корректировке их норм для условий южно-предгорной зоны Адыгеи.

Методика и методология проведения полевых и лабораторных исследований. Исследования в 2023-2025 гг. проводили на научных полях НИИСХ ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет».

Географические координаты 44,°31' с.ш. и 40°,11' в.д., ЮФО РА Майкопский район, х. Косинов. Район относится к зоне предгорного влажного климата, ГТК 1,2. Годовая сумма осадков от 700 до 1130 мм при характерном для южно-предгорной зоны Адыгеи неравномерном распределении осадков по периодам вегетации сельскохозяйственных культур. Почва опыт-

ного участка – чернозем слитой выщелоченный, слабогумусный, сверхмощный (на делювиальных глинах с наличием в слое 0-100 см. от 60 до 80 % глинистых частиц), характеризующийся невысоким содержанием гумуса в верхних горизонтах и неблагоприятными водно-физическими свойствами [9; с. 39-43; 10, с. 16-17].

Содержание в почвенных пробах гумуса 4,29 % соответствуют низкой группе обеспеченности по методу Тюрина (<5,0 %); рН_{сол.} 5,04; (4,6-5,0 – среднекислая; 5,1-5,5 – слабокислая); рН_{вод.} 6,66; рН_{гидрол.} 5,49; фосфора подвижного – 40,3 мг/кг, повышенная группа обеспеченности по методу Мачигина (31,0-45,0 мг/кг почвы); содержание азота нитратного – 7,75, мг/кг и азота аммиачного – 7,4 мг/кг почвы соответствует низкой группе обеспеченности по Кравкову (5,1-10,0); калия обменного 411,0 мг/кг почвы, высокая группа обеспеченности (401,0-600,0); суммы поглощенных оснований 28,88 мг экв./100 г. почвы (Ca²⁺ 82,2 %; Mg²⁺ 17,8 %).

Закладка опытов проведена в соответствии с методикой полевого опыта Б.А. Доспехова 1985, опытные деланки площадью 50 м², рендомизация, повторение четырёхкратное [11, с. 67-73; с. 311-317].

Исследования проводили в трёхпольном севообороте: на посевах культур, адаптированных к природно-климатическим условиям южно-предгорной зоны Адыгеи: сои сорта Амфор РС1, овса зимующего сорта Мезмай (*Avena sativa* L.), пшеницы озимой сорта Таня (*Triticum aestivum* L.).

Изучали влияние приёмов возделывания на агрофизические свойства и основные показатели почвенного плодородия слитых чернозёмов. Приёмы возделывания включали использование дифференцированного способа обработки почвы в севообороте: чередование вспашки на 25-27 см под первую культуру севооборота – сою с обработкой почвы дисковой бороной (БДМ-4) на глубину 12-16 см – двукратно, под последующие культуры севооборота: овёс зимующий и пшеницу озимую, с при-

менением в вариантах исследований азотных минеральных удобрений различных норм внесения комплексного NPK-удобрения на микробиологической основе и средств защиты растений.

Аммиачную селитру на посевах сои (схема 1) вносили в фазу бутонизации – начала цветения, 115,9 кг/га в физическом весе (40 кг/га. д.в. N). Для борьбы с сорняками вносили гербицид Клоцет КЭ, 1,7 л/га. Две внекорневые подкормки препаратом Азафок проводили в фазу цветения и налива бобов.

Аммиачную селитру на посевах пшеницы озимой и овса зимующего вносили в фазу начала активной вегетации весной, 177,4 кг/га в физическом весе (61,2 кг/га. д. в. N). По посевам зерновых и зимующих культур проводили обработку посевов послевсходовыми гербицидами, фунгицидами, стимуляторами роста, инсектоакарицидами: Старане Премиум 0,375 л/га, Гранстар 20,0 г/га; Балий 0,75 л/га; Гумат Калия «Суфлёр» 150,0 мл/га, Максифол Рутфарм 250,0 мл/га, Кунгфу 150 мл/га. Две внекорневые подкормки препаратом Азафок проводили в фазу колошения и в фазу налива зерна по пшенице озимой и в фазу вымётывания и налива зерна по овсу зимующему. Регистрация микробиологического препарата Азафок проведена на всех культурах

севооборота в дозах, рекомендованных производителем «Щёлково Агрохим» (от 1,0 до 3,0 л/га единовременно). Дозы внесения препарата по вариантам составили: В1. 0,0; В2. (1,0 + 1,0 л/га); В3. (2,0 + 2,0 л/га); В4. (3,0 + 3,0 л/га).

Отбор почвенных проб для определения агрофизических показателей проводили в конце вегетации (в фазу налива зерна) по зерновым, и в фазу образования бобов на растениях сои – это фазы активного роста и созревания, когда растения очень чувствительны к недостатку влаги и питательных веществ [12, с. 32].

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89).

Оценка запасов продуктивной влаги проводилась по шкале А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной [13, с. 146-152].

Плотность сложения почвы – по методу Качинского Н.А. (1987) [14, с. 94-96].

Структурно-агрегатный состав – по методу сухого просеивания Саввинова Н.И. [15, с. 34-36].

Характеристика мягкой пшеницы озимой сорта Таня (*Triticum aestivum* L.)

Сорт Таня относится к группе среднеранних сортов. Сорт полукарликовый, высота растений до 90 см. Высокая потенциальная урожайность – 120 ц/га. Масса 1000 зёрен 43-45 гр.

Схема 1. Внесение азотных минеральных удобрений в сочетании с биопрепаратом на посевах культур севооборота, по вариантам опыта

Scheme 1. Application of nitrogen mineral fertilizers combined with a biopreparation to crop rotation crops, according to experimental variants

Вариант	Соя, 2023г N ₄₀	Овёс зимующий, 2024г N _{61,2}	Пшеница озимая, 2025г N _{61,2}	Итого
1	(1,16 ц/га) Без внесения биопрепарата	(1,77 ц/га) Без внесения биопрепарата	(1,77 ц/га) Без внесения биопрепарата	N _{162,4} (4,70 ц/га)
2	(1,16 ц/га) + биопрепарат 1,0 + 1,0 л/га N ₄₀	(1,77 ц/га) + биопрепарат 1,0 + 1,0 л/га N _{61,2}	(1,77 ц/га) + биопрепарат 1,0 + 1,0 л/га N _{61,2}	N _{162,4} (4,70 ц/га)
3	(1,16 ц/га) + биопрепарат 2,0 + 2,0 л/га N ₄₀	(1,77 ц/га) + биопрепарат 2,0 + 2,0 л/га N _{61,2}	(1,77 ц/га) + биопрепарат 2,0 + 2,0 л/га N _{61,2}	N _{162,4} (4,70 ц/га)
4	(1,16 ц/га) + биопрепарат 3,0 + 3,0 л/га N ₄₀	(1,77 ц/га) + Биопрепарат 3,0 + 3,0 л/га N _{61,2}	(1,77 ц/га) + биопрепарат 3,0 + 3,0 л/га N _{61,2}	N _{162,4} (4,70 ц/га)

Натура зерна 795-810 г/л. По качеству зерна отвечает требованиям ГОСТа, предъявляемым к «ценным» пшеницам, включён в реестр сортов «филлеров». Полевая устойчивость к бурой, жёлтой, стеблевой ржавчинам и септориозу. Засухоустойчивость высокая.

Допущен для возделывания в Северо-Кавказском и Нижне-Волжском регионах РФ. Вегетационный период 217-289 дней [16, с. 53].

Лучшие сроки сева – оптимальные для зоны возделывания. Нормы высева 4-5 млн. всхожих семян на 1 га.

Характеристика овса зимующего сорта Мезмай (*Avena sativa* L)

Сорт овса зимующего Мезмай зернового направления, среднеспелый (вегетационный период 228-295 дней). По данным оригинатора (Адыгейский НИИ СХ), урожайность зерна в производственных условиях составляет 4,52 т/га.

Сорт устойчив к бактериальной пятнистости, корончатой и стеблевой ржавчинам, полеганию, зимостоек. Масса 1000 зерен 28-31 граммов. Натура зерна 462-511 г/л [17, с. 47].

В почвенно-климатических условиях Адыгеи при изучении трёх норм высева: 2,0 - 3,5 - 5,0 млн. всхожих зерен на 1,0 га, и трёх сроков сева: раннего – I декада сентября; оптимального – II-III декада сентября; позднего – I декада октября, – урожайность зерна сорта Мезмай варьировала в диапазоне 2,65-6,37 т/га. Сорт является более высокоурожайным в сравнении с другими исследуемыми сортами Подгорный и Гузерипль. Наиболее благоприятны ранний (5-10 сентября) и оптимальный (15-25 сентября), сроки посева, с рекомендованной нормой высева 2,0-3,0 млн. семян на гектар.

Максимум урожайности зерна сорта Мезмай (6,37 т/га), получен на опытных полях НИИСХ ФГБОУ ВО «МГТУ», при посеве по черному пару в оптимальные сроки с рекомендованной нормой высева [18, с. 223-226].

Характеристика микробиологического препарата Азафок

Препарат Азафок зарегистрирован компанией «Щёлково Агрохим» в 2023 году. По

данным производителя, АЗАФОК – это единственное в России комплексное NPK-удобрение на микробиологической основе. Жидкое удобрение содержит консорциум в культуральной жидкости хозяйственно-ценных штаммов 3-х видов полезных бактерий, общий титр не менее $1 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, для улучшения питания растений азотом, фосфором и калием. Новое микробиологическое удобрение обеспечивает стабильное питание растений в течение всего сезона, высокую эффективность листового применения, обладает ростостимулирующим действием, фунгицидными и бактерицидными свойствами. Азафок можно применять тремя способами: при обработке посадочного/посевного материала, путём внесения весной в почву, в качестве листовых подкормок (betaren.ru. Щёлково Агрохим. Азафок. Интернет-ресурс) [19].

Результаты исследований. Использование в исследованиях 2023-2025 гг. приёмов возделывания полевых культур, включающих отвальные и безотвальные способы обработки почвы в сочетании с минеральным азотным удобрением, комплексным NPK-удобрением на микробиологической основе, а также проведение обработок посевов послевсходовыми гербицидами, фунгицидами, стимуляторами роста, инсектоакарицидами, способствовало оптимизации физико-химических параметров (плотности сложения, гранулометрического состава), росту урожайности, продуктивности культур в севообороте.

Анализ метеоусловий в периоды вегетации растений сои, пшеницы озимой и овса зимующего показал, что во время оптимальных сроков сева сои, в мае 2023 г., наблюдалось переувлажнение – при норме 73 мм, выпало 158,1 мм осадков, что составило 216,6 % месячной нормы. Сумма осадков за период вегетации (апрель 2022 г.-сентябрь 2023 г.) составила 578,4 мм, или 146,0 %, от нормы (396,0 мм) (Интернет-ресурс admin@pogoda360.ru) [20].

На накопление запасов продуктивной влаги, наряду с фактором обработки почвы, большое влияние оказывает фактор погодных

условий, а именно: количество атмосферных осадков, температурный режим.

Наряду с периодами переувлажнения наблюдали превышение нормы дневных и среднесуточных температур воздуха в течение всего периода вегетации. В таблице 1 указано, что отклонение среднесуточных температур составили: апрель 2022 - сентябрь 2023 гг. от нормы: +1,3; -0,1; +1,2; +1,9; +4,7; +3,3 [21].

Данное обстоятельство способствовало высокой степени испарения влаги и формированию неудовлетворительного (критического <20 мм) запаса продуктивной влаги (табл. 2).

Средняя сумма атмосферных осадков сентября 2024-июня 2025 гг. (578,4 мм) приблизительно соответствовала климатической норме – 579 мм. (VK.com Погода и климат/Краснодарский край/Адыгея) [22]. При общем достаточном количестве осадков вегетация пшеницы озимой и овса зимующего проходила в условиях неравномерного распределения влаги по фазам развития. В период оптимальных сроков сева овса зимующего (2-3 декада сентября) и пшеницы озимой (2-3 декада октября) наблюдался недобор осадков: в сентябре при норме 57 мм осадков в месяц выпало 44 мм, что составило 77,2 % от нормы, в октябре при норме 58 мм выпало 51 мм, или 87,9 % от нормы, при более высоком, в сравнении с нормой, температурном режиме: отклонение сентября +3,9 °C; октября +1,6 °C.

Наблюдалось переувлажнение зимнего периода: декабрь 2024-февраль 2025 гг. – 331 мм при норме 317 мм или 104,4 %, что могло способствовать накоплению запаса продуктивной влаги. Весной (март 2025 г.) в фазу начала активной вегетации и кущения, когда растения озимых культур потребляют большое количество питательных веществ и воды из почвы, наблюдался недобор осадков: отклонение составило 18 мм, при норме 47,0 мм выпало 29,0 мм, или 61,7 %. Период созревания зерна и уборки (июнь 2025 г.) также характеризовался недобором осадков – 56,0 мм, при

норме 89 мм выпало 33 мм, или 37,1 %. Таким образом, отмечали недобор осадков при неравномерном характере увлажнения по периодам вегетации, что способствовало формированию отрицательного запаса продуктивной влаги в посевах овса зимующего и пшеницы озимой (табл. 2).

Растения использовали атмосферную влагу в виде дождя, а её оптимальному впитыванию способствовал факт разуплотнения почвы в слоях 0...10 и 10...25 см под овсом зимующим и пшеницей озимой на фоне дисковых обработок. Плотность почвы в посевах культур севооборота.

На слитых черноземах южно-предгорной зоны Адыгеи нормативный оптимум плотности пахотного слоя почвы для возделывания сои составляет 1,15-1,30 г/см³; пшеницы озимой – 1,24-1,27 г/см³, овса зимующего – 1,0-1,2 г/см³ (1,35 г/см³ критическая). При интенсивной эксплуатации земель фактические изменения плотности сложения могут достигать значений 1,40-1,47 г/см³ [5, с. 10; 6, с. 49; 7, с. 7]. В таблице 3 указано что, в целом, показатели объемной массы исследуемых слоёв находятся в оптимальных для культур севооборота пределах (в среднем: в слое 0...10 по сое – 1,19, по овсу зимующему – 1,07 и по пшенице озимой – 1,03 г/см³). Проведение дисковых обработок на меньшую (12-16 см), в сравнении со вспашкой, глубину (25-27 см) способствовало разуплотнению почвы в слоях 0...10 и 10...25 см под овсом зимующим и пшеницей озимой. Средние показатели плотности верхнего посевного слоя почвы (0-10 см), не превысили оптимальных показателей плотности для культур севооборота, а также оказались меньше в сравнении с более глубокими слоями: 0...10 см – 1,1; 10...25 см – 1,17; 30...40 см – 1,29 г/см³. В процентном отношении плотность верхнего слоя почвы по обоим способам обработки оказалась меньшей по сравнению с более глубокими слоями на 6,4...17,3 %. В посевах сои, вниз по профилю, в слоях почвы 10-25; 30-40 см, отмечено увеличение плотности почвы в диапазоне 1,17-1,29 г/см³, максимально 1,30 г/см³.

Таблица 1. Среднесуточные температуры воздуха периода вегетации
апрель 2022-сентябрь 2023 гг.

Table 1. Average daily air temperatures during the growing season
from April, 2022 to September, 2023

Год, месяцы 2023 г.	Температура воздуха, °С				
	дневные	ночные	среднесуточные	норма	Откл, (±)
Апрель	+16	+8	+12	+10,7	+1,3
Май	+20	+12	+16	+16,1	–0,1
Июнь	+25	+16	+20,5	+19,3	+1,2
Июль	+29	+19	+24	+22,1	+1,9
Август	+33	+20	+26,5	+21,8	+4,7
Сентябрь	+27	+14	+20,5	+17,2	+3,3

Таблица 2. Влажность почвы в посевах культур севооборота (средние данные)

Table 2. Soil moisture in crop rotation crops (average data)

Слой почвы, см	Влажность почвы, % /Продуктивная влага, мм						Коэффициенты перевода в мм
	Соя, 2023г	Овёс, зимующий, 2024г	Пшеница озимая, 2025г				
0...10	16,8	0,00	11,8	0,00	15,35	0,00	3,24
10...25	25,15	10,59	18,3	0,00	19,75	0,00	3,24
30...40	27,5	17,05	17,8	0,00	20,1	0,00	3,78
0...40	23,15	0,61	15,97	0,00	18,4	0,00	3,78

Таблица 3. Изменение плотности сложения почвы в зависимости от способов основной
обработки (средние данные)

Table 3. Changes in soil bulk density depending on primary tillage methods (average data)

Основная обработка почвы	Слой почвы, см	Плотность сложения почвы, Р (d), г/см ³			
		Соя, 2023 г.	Овёс, зимующий 2024 г.	Пшеница озимая, 2025 г.	средняя
Вспашка на 25-27см – после- действие вспашки / поверх- ностная обработка на 12-16 см	0...10	1,19	1,07	1,03	1,10
	10...25	1,22	1,15	1,13	1,17
	30...40	1,30	1,28	1,28	1,29
	0...40	1,24	1,17	1,15	1,19

Агрегатный состав почвы

Оптимальные показатели содержания агрегатов Σ 0.25-10 мм в пахотном слое черноземов предкавказских, тяжелосуглинистого гранулометрического состава при антропогенном воздействии находятся в пределах 65-75 %; допустимые 50-65 %; критические <50 [5, с. 10].

Чередование в севообороте способов обработки почвы различной глубины оказало влияние на ее агрегатный состав. Анализ статистических данных за три года исследований, представленных в таблице 4, показал, что, в среднем, наибольшее количество агрономически ценных агрегатов (Σ 10...0,25 мм) отмечено в слое 0-10 см – 49,3 %, снижение их количества в пахотном и подпахотном слоях 10-25 и 30-40 см, в сравнении с посевным слоем 0...10 см, составило 13,68 (27,75) %; 18,38 (37,28) % соответственно. Количество агрегатов в слое 0-10 см по вспашке под посев сои и

по последствию вспашки и двукратного дискования под посев овса зимующего приблизительно одинаково – 57,6; 56,11 % (первый и второй год исследований). Снижение количества ценных агрегатов на третий год исследований отмечено при использовании двукратного дискования под посев пшеницы озимой – 34,2 %. Снижение количества ценных агрегатов в слоях 10-25 и 30-40 см, в сравнении с посевным слоем 0...10 см, составило соответственно при использовании:

– вспашки под посев сои 29,47 (51,2) % и 34,18 (59,34) %;

- последствия вспашки и двукратного дискования под посев овса зимующего 16,5 (29,48) %; 14,76 % (26,3) %;

– двукратного дискования под посев пшеницы в слое в слое 30...40 см 6,2 (18,1) %;

– в слое 10...25 см в посевах пшеницы, отмечали повышение содержания ценных агрегатов на 4,96 (14,5) %.

Таблица 4. Агрегатный состав почвы в зависимости от способов основной обработки (средние данные)

Table 4. Aggregate composition of soil depending on primary tillage methods (average data)

Основная обработка почвы	Слой почвы, см	Количество агрегатов почвы размером Σ 10...0,25 мм в почве по культурами, %			
		Соя, 2023 г.	Овёс, зимующий, 2024 г.	Пшеница озимая, 2025 г.	среднее
Вспашка на 25 – 27см – последствие вспашки / поверхностная обработка 12 – 16 см	0...10	57,6	56,11	34,2	49,3
	10...25	28,13	39,57	39,16	35,62
	30...40	23,42	41,35	28,00	30,92
	0...40	36,38	45,68	33,79	38,62

Таблица 5. Урожайность и продуктивность культур севооборота 2023-2025 гг.

Table 5. Crop yield and productivity of crop rotations 2023-2025

Урожайность по вариантам опыта, т/га, зерновые единицы (т/га ЗЕ)									
Соя, 2023 г.		Овёс, зимующий, 2024 г.		Пшеница озимая, 2025 г.		Средняя в опыте			
т/га	т/га ЗЕ	т/га	т/га ЗЕ	т/га	т/га ЗЕ	т/га	прибавки ±	т/га ЗЕ	Прибавки ±
2,1	2,46	6,50	5,20	5,35	5,35	4,65	±0,0	4,34	±0,0
2,3	2,69	7,20	5,76	6,02	6,02	5,17	+0,52	4,82	+0,48
2,4	2,81	8,00	6,4	5,82	5,82	5,41	+0,76	5,01	+0,67
2,7	3,16	8,40	6,72	6,38	6,38	5,83	+1,18	5,42	+1,08
НСР ₀₅ +0,53		+0,97		+0,48				Средняя 4,90	

Урожайность культур севооборота

В таблице 5 указано, что за три года исследований, в среднем, в вариантах получена урожайность в диапазоне 4,65-5,83 т/га. Достоверные прибавки урожайности составили: В1. контроль ±0,0; В2. + 0,52; В3. + 0,76; В4. + 1,18 т/га (НСР₀₅ + 0,53; + 0,97; + 0,48 т/га).

Продуктивность 1 га пашни в среднем за 2023-2025 гг. составила 4,90 т/га ЗЕ (табл. 5). Применение расчётных доз минерального азотного удобрения в фазу интенсивного потребления питательных веществ и возрастающих норм внесения комплексного НРК-удобрения на микробиологической основе – в фазы цветения и налива бобов по сое, колошения и налива зерна по пшенице озимой и вымётывания и налива зерна по овсу обеспечило рост продуктивности возделываемых культур в среднем по: В1. Контроль ±0,0; В2. + 0,48; В3. + 0,67; В4. + 1,08, т/га ЗЕ, или на 11,2-15,4-24,9 % соответственно.

Наиболее оптимален вариант с внесением 162,4 кг/га д. в. N аммиачной селитры (4,70 ц/га) + биопрепарат Азафок 3,0 + 3,0

л/га, с наиболее высоким уровнем продуктивности 5,42 т/га ЗЕ (рис. 1).

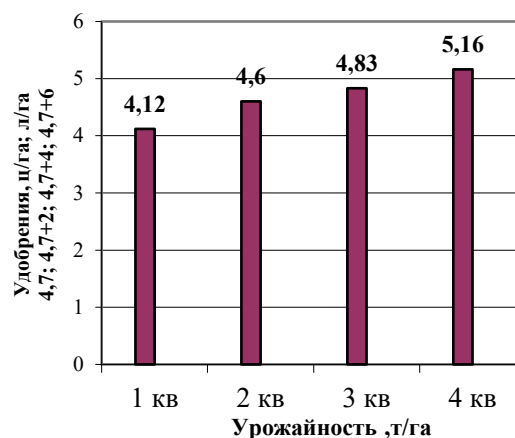


Рис.1. Зависимость урожайности культур севооборота от доз внесения удобрений, биопрепарата и средств химизации

Fig. 1. Dependence of productivity of crop rotations on the application rates of fertilizers, biopreparations and chemicals

Закключение. В природно-климатических условиях южно-предгорной зоны Адыгеи, на черноземных слитых выщелоченных слабогумусных сверхмощных глинистых почвах, на основе анализа данных экспери-

ментальных полевых исследований, отделом земледелия НИИСХ ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» разработан эффективный приём возделывания полевых культур в трёхпольном севообороте, включающий дифференциацию почвенных обработок в сочетании с минеральным азотным удобрением; комплексным NPK-удобрением Азафок на микробиологической основе и средствами защиты растений.

Приём возделывания:

Дифференциация способов обработки почвы в севообороте заключалась в чередовании отвальной обработки – вспашки на 25-27 см под первую культуру севооборота сою, с безотвальной – на 12-16 см, дисковой бороной (БДМ-4) двукратно, под последующие культуры севооборота: овёс зимующий и пшеницу озимую. Проведение последующих агротехнических мероприятий (культивация, боронование) – в рамках существующих технологий.

Применение в вариантах исследований:

1. Азотных минеральных удобрений, на посевах пшеницы озимой и овса зимующего в фазу начала активной вегетации весной, на посевах сои в фазу бутонизации – начала цветения, при корректировке норм их внесения по результатам почвенной диагностики участка исследований.

2. Возрастающих норм внесения комплексного NPK-удобрения Азафок на микробиологической основе, в рекомендованных от 1,0 до 3,0 л/га дозах, одновременно. Дозы внесения препарата в вариантах: 1. 0,0 л/га; 2. (1,0 + 1,0 л/га); 3. (2,0 + 2,0 л/га); 4. (3,0 + 3,0 л/га), в фазы: колоше-

ния и налива зерна по пшенице озимой, вымётывания и налива зерна по овсу и цветения и налива бобов по сое.

3. Средств защиты растений по посевам зерновых и зимующих культур проводили в фазы кущения и трубкования – цветения.

Использование для возделывания полевых культур в трёхпольном севообороте разработанного приёма возделывания способствовало:

– разуплотнению почвы в слоях 0...10 и 10...25 см под овсом, зимующим и пшеницей озимой, при проведении дисковых обработок на меньшую (12-16см), в сравнении со вспашкой, глубину (25-27см);

– оптимизации агрофизического состояния почвы: показатели объёмной массы слоя 0...10 см не выходили за пределы оптимума для культур севооборота значений: по сое 1,19, по овсу, зимующему 1,07 и по пшенице озимой 1,03 г/см³;

– уменьшению плотности посевного слоя почвы 0-10 см, в посевах культур севооборота, в сравнении с более глубокими слоями почвы: 0...10 см – 1,1; 10...25 см – 1,17; 30...40 см – 1,29 г/см³ (6,4...17,3 %.);

– повышению содержания агрономически, ценных агрегатов (Σ 10...0,25 мм) в слое 0-10 см – 49,3 %;

– обеспечению роста продуктивности возделываемых культур в среднем на: В1. Контроль $\pm 0,0$; В2. + 0,48; В3. + 0,67; В4. + 1,08, т/га ЗЕ, или на 11,2 – 15,4 – 24,9 % соответственно.

Наиболее оптимален вариант с внесением 162,4 кг/га. д. в. N (4,70 ц/га) + биопрепарат 3,0 + 3,0 л/га, с наиболее высоким уровнем продуктивности 5,42 т/га ЗЕ.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The author declares no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Онищенко Л.М., Питание и удобрение зерновых, крупяных и зернобобовых культур. Краснодар: КубГАУ, 2012. 231 с.
2. Шеуджен А.Х. Питание и удобрение зерновых бобовых культур. Краснодар: КубГАУ, 2012. 56 с.

3. Рекомендации по системе ведения сельского хозяйства в Краснодарском крае. Краснодар, 1981. 556 с.
4. Тарасенко Б.И., Бардак Н.И., Макаренко А.А. Обработка почвы: учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Краснодар: КубГАУ, 2021. 162 с. ISBN 978-5-907474-79-6.
5. Кузнецова И.В., Азовцева Н.А., Бондарев А.Г. Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухостепной, полупустынной зон европейской территории России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2011. Вып. 67. С. 3-19.
6. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2018. 308 с.
7. Современное состояние и продуктивность чернозёма, выщелоченного Западного Предкавказья / Шеуджен А.Х. [и др.] // Вестник КубГАУ. 2019. № 153 (09). С. 2-14.
8. Mamsirov N.I., Chumachenko Y.A., Udhuu A.C. Agrochemical properties of fused chernozem, depending on the methods of basic processiong and the norms of fertilization // Ecology, Environment and Conservation. 2018. Т. 24, № 1. С. 462-471.
9. География Республики Адыгея: учебное пособие / под ред. А.Ш. Бузарова. Майкоп: Адыгейское Республиканское книжное издательство, 2005. 200 с.
10. Шеуджен А.Х., Нецадим Н.Н., Онищенко Л.М. Система удобрения. Агрохимическая характеристика почв и климатические условия Северного Кавказа: учебное пособие / под ред. А.Х. Шеуджена. Краснодар, 2009. 206 с.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Колос, 1979. 416 с.
12. Девтерова Н.И., Благополучная О.А. Влияние различных приёмов обработки почвы на продуктивность культур и агрофизические свойства слитых чернозёмов // Земледелие. 2019. № 3. С. 31-33.
13. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для высших учебных заведений).
14. Практикум по почвоведению / под ред. И.С. Кауричева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 272 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для сельскохозяйственных учебных заведений).
15. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов И.П. Васильев, А.М. Тупиков. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
16. Сорта и гибриды: каталог / Л.А. Беспалова [и др.]. Краснодар: ЭДВИ, 2025. 172 с.
17. Кузенко М.В., Гудкова Г.Н. Сортовая агротехника зимующего овса // Земледелие. 2014. № 7. С. 46-48.
18. Кузенко М.В. Особенности агротехники возделывания сортов зимующего овса // Актуальные проблемы и инновационные решения в развитии агропромышленного комплекса юга России: сборник докладов по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (2-3 окт. 2025 г.). Майкоп: Магарин О.Г., 2025. 443 с.
19. betaren.ru. Щёлково Агрохим. Азафок. Интернет - ресурс.
20. (Интернет-ресурс admin@pogoda360.ru).
21. <https://world-weather.ru/pogoda/russia/maykop/2023/>.
22. VK.com Погода и климат/Краснодарский край/Адыгея.

REFERENCES

1. Sheudzhen A.Kh., Bondareva T.N., Onishchenko L.M., Nutrition and fertilization of grain, cereal, and legume crops. Krasnodar: KubSAU, 2012. 231 p. [In Russ.].
2. Sheudzhen A.Kh., Nutrition and fertilization of grain and legume crops. Krasnodar: KubSAU, 2012. 56 p. [In Russ.].
3. Recommendations for agricultural management systems in the Krasnodar Territory. Krasnodar, 1981. 556 p. [In Russ.].
4. Tarasenko B.I., Bardak N.I., Makarenko A.A. Soil tillage: a study guide. 3rd ed., revised and add. Krasnodar: KubSAU, 2021. 162 p. ISBN 978-5-907474-79-6. [In Russ.].
5. Kuznetsova I.V., Azovtseva N.A., Bondarev A.G. Standards for changes in the physical properties of soils in the steppe, dry steppe, and semi-desert zones of the European Russia // Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. 2011. Iss. 67. P. 3-19. [In Russ.].

6. Sheudzhen A.Kh. Agrobiogeochemistry of chernozem. 2nd ed. add. and revised. Maikop: Polygraph-YUG, 2018. 308 p. [In Russ.].
7. Current state and productivity of leached chernozem in the Western Ciscaucasia / Sheudzhen A.Kh. [et al.] // Bulletin of KubSAU. 2019. No. 153 (09). P. 2-14. [In Russ.].
8. Mamsirov N.I., Chumachenko Y.A., Udhuu A.C. Agrochemical properties of fused chernozem, depending on the methods of basic processing and the norms of fertilization // Ecology, Environment and Conservation. 2018. Vol. 24, No. 1. P. 462-471. [In Russ.].
9. Geography of the Republic of Adygea: a tutorial / edited by A.Sh. Buzarov. Maikop: Adyghe Republican Book Publishing House, 2005. 200 p. [In Russ.].
10. Sheudzhen A.Kh., Neshchadim N.N., Onishchenko L.M. Fertilizer system. Agrochemical characteristics of soils and climatic conditions of the North Caucasus: a tutorial / edited by A.Kh. Sheudzhen. Krasnodar, 2009. 206 p. [In Russ.].
11. Dospekhov B.A. Field experiment methodology. Kolos, 1979. 416 p. [In Russ.].
12. Devterova N.I., Blagopoluchnaya O.A. Effect of various tillage methods on crop productivity and agrophysical properties of uncultivated chernozems // Zemledelie. 2019. No. 3. P. 31-33. [In Russ.].
13. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods for studying the physical properties of soils. 3rd rev. and add. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p.: ill. (Textbooks and teaching aids for higher educational institutions). [In Russ.].
14. Soil Science Workshop / ed. by I.S. Kaurichev. 3rd revised and add. M.: Kolos, 1980. 272 p.: ill. (Textbooks and teaching aids for agricultural educational institutions). [In Russ.].
15. Practical training in Agriculture / B.A. Dospekhov, I.P. Vasiliev, A.M. Tupikov. 2nd ed., revised and eadd. M: Agropromizdat, 1987. 383 p.: ill. (Textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions). [In Russ.].
16. Varieties and hybrids: a catalog / L.A. Bespalova [et al.]. Krasnodar: EDVI, 2025. 172 p. [In Russ.].
17. Kuzenko M.V., Gudkova G.N. Varietal agricultural technology of wintering oats // Zemledelie. 2014. No. 7. P. 46-48. [In Russ.].
18. Kuzenko M.V. Features of agricultural technology for cultivating wintering oat varieties // Current problems and innovative solutions in the development of the agro-industrial complex of southern Russia: a collection of reports based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation (October 2-3, 2025). Maikop: Magarin O.G., 2025. 443 p. [In Russ.].
19. betaren.ru. Shchyolkovo Agrokhim. Azafok. Internet resource.
20. (Internet resource admin@pogoda360.ru).
21. <https://world-weather.ru/pogoda/russia/maykop/2023/>.
22. VK.com Weather and climate/ The Krasnodar Territory/Adygea.

Информация об авторе / Information about the author

Девтерова Наталья Ильинична, старший научный сотрудник отдела земледелия, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»; 385064, Российская Федерация, г. Майкоп, п. Подгорный, ул. Ленина, 48, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5859-2630>, e-mail: devterovan@gmail.com

Natalia I. Devterova, Senior Researcher, Department of Agriculture, Research Institute of Agriculture, Maykop State Technological University; 385064, the Russian Federation, Maikop, 48 Lenin Street, Podgorny, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5859-2630>, e-mail: devterovan@gmail.com

Поступила в редакцию 08.07.2026

Поступила после рецензирования 10.08.2026

Принята к публикации 12.08.2026

Received 08.07.2026

Revised 10.08.2026

Accepted 12.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-105-117>

УДК [633.174:631.527] (470.44/47)



Оценка коллекционных образцов зернового сорго для селекции сортов многоцелевого назначения в условиях Нижневолжского региона

И.Г. Ефремова, Д.С. Семин, С.С. Куколева✉,
Е.В. Подгорнов, В.В. Светлов

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Российский
научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы;
г. Саратов, Российская Федерация,
✉lily74-88@mail.ru*

Аннотация. Введение. В связи с аридизацией климата интерес к зерновому сорго возрастает в условиях засушливых регионов страны, в том числе Нижнего Поволжья РФ. Потенциал многоцелевой культуры зернового сорго раскрывается в разных областях АПК, таких как кормопроизводство, производство пищевых продуктов, а также в перерабатывающей крахмалопаточной промышленности. Создание новых продуктивных, адаптированных к биотическим и абиотическим стрессорам сортов зернового сорго невозможно без использования богатого разнообразия генетических ресурсов мировой коллекции растительного материала ВИР, который является фундаментом для создания новых сортов. **Объект и методы исследования.** Исследования проведены в 2023-2025 гг. на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». В работе проанализировано 38 коллекционных сортообразцов зернового сорго различного эколого-географического происхождения, оцененные по морфометрическим параметрам и показателям зерновой продуктивности. Статистический анализ данных проведен в программе Агрос 2.09 с применением метода «статистический анализ выборки». **Цель исследований.** Сравнительный анализ образцов зернового сорго из питомника коллекции ВИР в целях выведения продуктивных сортов и гибридов разного направления использования. **Результаты и обсуждение.** Установлена высокая изменчивость сортообразцов зернового сорго по морфометрическим показателям и элементам продуктивности. Отмечены образцы по массе 1000 семян отличающиеся крупнозерностью: к-4075, к-2058, О-к-8803/1 с 31,83-36,22 г., а также ценные константные образцы, характеризующиеся повышенной урожайностью зерна – 06-2037, к-9115, к-2058, О-к-8803 (1) (4,72-5,11 т/га) и биомассы – к-9115, к-10112, В-03-3003 (17,69-19,85 т/га). **Заключение.** В изученной рабочей коллекции зернового сорго особую ценность представляют 3 образца к-2058, О-к-8803/1, к-4075 с комплексом ценных показателей – крупнозерностью, высокой урожайностью зерна, значительным содержанием крахмала (71,0-75,0%), семенами светлой белоголубой окраской, устойчивым ежегодным вызреванием семян. Все эти характеристики соответствуют показателям модели сорта, оптимального для переработки в крахмал и крахмалопродукты.

Ключевые слова: коллекционные образцы ВИР, зерновое сорго, селекция растений, элементы продуктивности, морфометрические показатели, признаки модели сорта для переработки на крахмалопродукты, статистический анализ выборки

Для цитирования: Ефремова И.Г., Семин Д.С., Куколева С.С., Подгорнов Е.В., Светлов В.В. Оценка коллекционных образцов зернового сорго для селекции сортов многоцелевого назначения в условиях Нижневолжского региона. *Новые технологии / New technologies*. 2026;22(3):105-117. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-105-117>

Evaluation of grain sorghum accessions for the breeding of multipurpose varieties in the Lower Volga Region

I.G. Efremova, D.S. Semin, S.S. Kukoleva✉,
E.V. Podgornov, V.V. Svetlov

*Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn;
Saratov, the Russian Federation,
✉lily74-88@mail.ru*

Abstract. Introduction. Due to climate aridization, interest in grain sorghum is increasing in arid regions of the country, including the Lower Volga region of the Russian Federation. The potential of grain sorghum as a multipurpose crop is being realized in various areas of the agro-industrial complex, such as forage production, food production, and the starch and syrup processing industry. The development of new productive grain sorghum varieties adapted to biotic and abiotic stressors is impossible without utilizing the rich diversity of genetic resources in the global plant material collection at VIR, which forms the foundation for developing new varieties. **The research object and methods.** The research was conducted in 2023-2025s on the experimental field of the Rossorgo. The study analyzed 38 collection accessions of grain sorghum of various ecological and geographical origins, assessed for morphometric parameters and grain productivity indicators. Statistical analysis of the data was performed in Agros 2.09 program using the “statistical analysis of a sample” method. **The goal of the research was** to analyze grain sorghum accessions from the VIR nursery collection for the purpose of developing productive varieties and hybrids for various applications. **The results and discussion.** High variability of grain sorghum accessions in morphometric parameters and productivity elements was established. The following samples were noted by the weight of 1000 seeds, distinguished by large grain size: k-4075, k-2058, O-k-8803/1 with 31.83-36.22 g, as well as valuable constant samples, characterized by increased grain yield – 06-2037, k-9115, k-2058, O-k-8803 (1) (4.72-5.11 t/ha) and biomass – k-9115, k-10112, B-03-3003 (17.69-19.85 t/ha). **Conclusion.** Among the studied collection of grain sorghum, three accessions – K-2058, O-K-8803/1, and K-4075-are particularly valuable. They possess a combination of valuable traits: large grain size, high grain yield, significant starch content (71.0-75.0%), light white-blue seeds, and stable annual seed maturation. All these characteristics correspond to those of a model variety optimal for processing into starch and starch products.

Keywords: VIR collection accessions, grain sorghum, plant breeding, productivity factors, morphometric parameters, traits of a model variety for processing into starch products, statistical analysis of the sample

For citation: Efremova I.G., Semin D.S., Kukoleva S.S., Podgornov E.V., Svetlov V.V. Evaluation of grain sorghum accessions for the breeding of multipurpose varieties in the Lower Volga Region. *Novye Tehnologii / New technologies*. 2026;22(3):105-117. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-105-117>

Введение. Специалистами института создано 26 сортов и гибридов зернового сорго, обладающих высокой засухоустойчивостью. Данные селекционные достижения допущены к использованию в различных агроклиматических регионах России. Всю линейку светлозерных образцов и линий зернового сорго селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» объединяет высокое содержание крахмала зерна, что делает такие сорта универсальным сырьем, пригодным как для пищевой промышленности, так и для изготовления высококачествен-

ных кормовых добавок в животноводстве. Также в портфеле института имеются сорта и перспективные линии с высоким содержанием других питательных веществ зерна (протеин, жиры, безазотистые экстрактивные вещества, многие из которых созданы с использованием генотипа коллекционных сортообразцов [1-4].

В современных условиях аграрный сектор планомерно расширяет структуру посевных площадей за счет яровых культур. Сегодня наблюдается устойчивый рост интереса к сорго, которое становится приори-

тетной сельскохозяйственной культурой в рамках севооборота. Культура неприхотлива, быстро развивается и вызревает в засушливых условиях возделывания. Зерновое сорго успешно создается на базе образцов мировой коллекции ВИР и традиционно возделывается не только в областях Северо-Кавказского региона [5], новые сорта создаются и в северной части Нижневолжского региона в Самарской области и уверенно занимают все большие площади [6-7].

Селекционная работа в области сорго на территории Российской Федерации осуществляется рядом ведущих научно-исследовательских организаций: ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», ФГБНУ «АНЦ «Донской», Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН и др. Согласно данным этих организаций, зерновое сорго активно используется в агропромышленном комплексе регионов в качестве универсального высокопитательного корма с отличной усвояемостью. Зерновое сорго очень эффективно для откорма птицы, КРС, свиней, использования для аквакультуры. В последние годы зерновое сорго всё активнее применяют в технических целях: из него получают сахаросодержащие компоненты, перерабатывают крахмал, а также используют для производства глюкозо-фруктозного сиропа, экологически чистого биотоплива [8-9]. Масштабное внедрение сорго в сельскохозяйственное производство позволяет оптимизировать кормовую базу предприятий всех форм собственности, обеспечить рост урожайности и устойчивости агрокультур, а также добиться значительного снижения затрат на производство кормов.

Коллекция ВИР представляет собой важный источник генетического разнообразия зернового сорго и является важнейшей базой для поиска и выделения источников признаков, основополагающих для создания новых продуктивных сортов, адаптированных к засушливым условиям

Нижневолжского региона. Зарубежные селекционеры для выведения новых сортов зернового сорго также широко используют коллекционные сортообразцы в качестве исходного материала при создании новых ценных форм [9-10].

Научные исследования коллекционных образцов зернового сорго в период 2023-2025 гг. позволили провести оценку параметров вегетативных и генеративных признакам. Проведенная статистическая обработка данных по селекционно-ценным признакам образцов зернового сорго позволила выявить диапазоны варьирования показателей, определить их средние величины и соответствующие ошибки, а также оценить уровень изменчивости признаков среди изученных образцов.

Цель исследования. Цель работы предусматривала системный анализ образцов зернового сорго из коллекции ВИР по показателям, важным для практического применения, с последующим отбором стабильно вызревающих форм, которые использованы в селекции для повышения зерновой продуктивности и урожайности биомассы в разных хозяйственных направлениях. Для выполнения цели исследований решены основные задачи:

- сравнительный анализ основных морфометрических показателей растений образцов зернового сорго, влияющих на повышение урожайности;
- оценка элементов зерновой продуктивности и урожайности биомассы;
- выявление наиболее ценных образцов для создания продуктивных сортов и гибридов.

Материал и методы исследования. Исследования выполнены в условиях опытного поля ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (г. Саратов) в 2023-2025 гг. Материалом послужили 38 сортообразцов коллекции мировых генетических ресурсов ВИР различного эколого-географического происхождения (табл. 1).

Таблица 1. Образцы зернового сорго коллекции ВИР и их происхождение
Table 1. Grain sorghum samples from the VIR collection and their origin

Страна происхождения	Количество образцов	Страна происхождения	Количество образцов
1. Бразилия	6	8. Южная Америка	1
2. США	6	9. Франция	1
3. Китай	6	10. Эфиопия	1
4. Россия	5	11. Туркмения	1
5. Индия	5	12. Египет	1
6. Сенегал	2	13. Австралия	1
7. Израиль	1	14. Молдова	1

Полевые опыты заложены в соответствии с агротехническими рекомендациями, утвержденными для условий Нижнего Поволжья. Посев селекционных образцов зернового сорго осуществлялся в оптимальный агротехнический период (вторая декада мая) с использованием сеялки СКС-6-10. Применялся широкорядный способ посева с шириной междурядий 0,7 м., площадь делянок образцов составила 7,7 м² в трехкратной повторности. Для обеспечения заданной густоты стояния (100-120 тыс. раст./га) проводилось ручное прореживание посевов.

Анализ образцов включал оценку ключевых морфометрических показателей: интенсивности начального роста (высота растений через 30 суток после появления всходов), высоты растений в фазе созревания, площади наибольшего и флагового листа, параметров соцветий (длина и ширина метелки, выдвинутость ножки соцветия). Кроме того, определены элементы продуктивности образцов: масса 1000 семян, урожайность биомассы и семян в сравнении с районированным по Нижневолжскому региону сортом-стандартом Старт. Оценка хозяйственно-значимых признаков и свойств проведена согласно методикам государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [11] и «Широкого унифицированного классификатора СЭВ и международного классификатора СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench*» [12]. Статистическая обработка результатов исследований проведена с помощью программы Агрос 2.09 методом статистического анализа выборки [13].

Саратовская область характеризуется резко континентальным климатом, для которого типичны регулярные воздушные и почвенные засухи. Климатические условия региона отличаются неоднородностью температурного режима и уровня увлажнения. Годовое количество осадков колеблется от 250 до 450 мм. В период вегетации сорговых культур сумма активных температур достигает 2400-3100°C. Среднегодовой показатель температуры воздуха составляет +4,8°C, при этом амплитуда экстремальных значений значительна: от -40°C в январе до +42°C в пиковые летние месяцы. Самым жарким и влажным месяцем является июль, когда среднесуточная температура достигает 21,0-21,7°C, а объем осадков составляет около 51 мм.

В период вегетации растений метеорологические условия значительно отличались от среднемноголетних показателей и были различными по обеспечению осадками и суммой активных температур: гидротермические коэффициенты (ГТК) оказались различными в этот период и составили в 2023 году – 0,69 (среднее увлажнение, проявление слабой засухи); в 2024 году – 0,54 (недостаточное увлажнение и наличие средней засухи); в 2025 году – 0,61 (наличие слабой засухи).

Результаты. Проведена оценка 38 сортообразцов коллекционного питомника зернового сорго из коллекции мировых генетических ресурсов ВИР по морфометрическим показателям и элементам продуктивности. На основе анализа статистических параметров выборки определены особенности варьирования морфологических и урожай-

ных признаков, что обеспечило возможность комплексной оценки селекционного материала по результатам трехлетних испытаний.

Статистический анализ показал, что коэффициент вариации (V), отражающий степень разброса данных относительно среднего значения, свидетельствует о существенной изменчивости исследуемых показателей и выявлено значительное варьирование изученных признаков – от 13,9% (высота растений через 30 дней после всходов)

до 41,4% (выдвинутость ножки соцветия). Варьирование высоты начального роста растений (после 30 дней от всходов) составило 51,6-106,9 см, при этом коэффициент вариации равнялся 13,9%, среднее значение признака в питомнике – 68,4 см. Существенно превысили сорт-стандарт Старт по величине показателя сортообразцы из Бразилии В-03-3001, В-03-3003 и В-03-3005, интенсивность начального роста которых составила 87,4-106,9 см (табл. 2).

Таблица 2. Статистический анализ морфометрических характеристик и показателей продуктивности коллекционных образцов зернового сорго, 2023-2025 гг
Table 2. Statistical analysis of morphometric characteristics and productivity indicators of grain sorghum collection samples, 2023-2025

Признак	Значение признака (min...max)	Средняя и её ошибка	Коэффициент вариации V, (%)
Высота растений через 30 дней после всходов	51,6-106,9	68,4±1,5	13,9
Высота растений при созревании, см	101,3-196,8	127,9±3,7	18,3
Площадь наибольшего листа, см ²	116,7-285,5	192,1±7,1	23,0
Площадь флагового листа, см ²	48,8-120,8	87,9±2,9	20,5
Длина соцветия, см	15,9-25,5	21,2±0,4	11,8
Ширина соцветия, см	4,6-15,6	8,6±0,5	35,8
Выдвинутость ножки метелки, см	3,9-26,5	13,8±0,9	41,4
Масса 1000 семян, г	18,8-36,2	25,4±0,6	15,8
Урожайность семян, т/га	2,21-5,11	3,53±0,12	21,2
Урожайность биомассы, т/га	9,76-19,85	14,08±0,36	15,9

В ходе исследований выявлена существенная вариабельность высоты растений в фазе созревания (от 101,3 до 196,8 см) при среднем значении 127,9 см и коэффициенте вариации 18,3%. Столь широкий диапазон изменчивости открывает перспективы для селекции зернового сорго в двух направлениях: кормового использования и создания светозерных форм для крахмала и крахмалопродуктов. Для достижения максимальной продуктивности в условиях региона рекомендуется придерживаться модельных параметров высоты 120-140 см. Данный диапазон является оптимальным, так как способствует концентрации ресурсов растения на интенсивном формировании и созревании зерна.

В наших исследованиях сравнены важные показатели фотосинтетической деятельности растений – величина площади наибольшего и флагового листа. Листья – органы высших растений – выполняют

функцию фотосинтеза, транспирации и газообмена, оказывая многогранное влияние на поддержание жизнедеятельности, роста и адаптации организма [14]. В селекции этот параметр служит маркером для оценки сортовых характеристик. Сравнительные исследования [15] классических и современных подходов [16] определения площади листовой поверхности, в том числе расчетный метод, быстрый и удобный, основанный на измерении линейных параметров листа с использованием поправочного коэффициента, который для листьев сорговых культур составляет 0,746 и может быть использован в течение всего вегетационного периода.

При изучении образцов в коллекционном питомнике отмечено значительное варьирование площади наибольшего и флагового листьев (V=23,0% и 20,5%), что вызвано наличием форм с различной площадью фотосинтетической поверхности изу-

чаемых листьев, при этом среднее значение этих показателей в питомнике составило 192,1-87,9 см², соответственно (табл. 2). Площадь наибольшего листа варьировала у образцов питомника в пределах 116,7-285,5 см², а флагового – 48,8-120,8 см². Самой значительной площадью наибольшего листа отличились образцы: к-10792 – 285,5 см², к-10112 – 277,3 см², к-9480 – 259,2 см², а наибольшей площадью флагового листа образцы: к-9480 – 162,1 см², к-8885 – 112,8 см², к-8477 – 112,0 см².

К показателям продуктивности причисляются такие характеристики соцветия, как его длина и ширина, а также степень выдвинутости ножки метелки, которые продемонстрировали существенные варьирования показателей – 11,8, 35,8 и 41,4% соответственно. Варьирование показателя длины соцветия составило 15,9-25,5 см, ширины – 4,6-15,6 см, выдвинутости ножки метелки – 3,9-26,5 см. Благодаря широкой изменчивости признаков удалось выделить формы, отличающиеся наибольшими значениями показателей. Наиболее длинными продуктивными соцветиями (более 20,0 см) характеризовались образцы В-03-3008 из Бразилии – 25,4 см, к-177 из США – 25,0 см, к-2058 из Египта – 25,5 см. Шириной соцветий, приближенной к наибольшей величине показателя у стандарта Старт (15,6 см), отличились образцы В-139 (1) – 13,4 см, к-177 – 15,5 см, а также к-1883 из Индии – 13,4 см. В ходе исследования установлено, что среднее значение показателя «выдвинутость ножки соцветия» составило 13,8 см. Семь образцов продемонстрировали превышение данного показателя – их значения достигли уровня около 20,0 см и выше; при этом среди них были выявлены существенно выделяющиеся по величине данного признака образцы: В-03-3001 – 24,6 см, В-03-3003 – 26,5 см, В-139 (1) – 18,7 см, В-139 (2) – 21,7 см, В-4845 – 20,2 см, R-05-001 из Бразилии – 18,3 см, к-8885 из Индии – 23,2 см.

Показатель «масса 1000 семян» также является элементом зерновой продуктивности образцов, которому исследователи

уделяют достаточно серьезное внимание: поскольку повышение крупности зерновок (массы 1000 семян) рассматривается как конечный результат взаимодействия среды и генотипа в процессе становления продуктивности сорго. Это экономически важный показатель, так как крупнозерные образцы легче дозировать при посеве. Крупное зерно характеризуется повышенным выходом сухого вещества, а также более высоким содержанием белка и крахмала по сравнению с зерном стандартных размеров. Выявлена значимая корреляция размера семян с такими хозяйственно ценными признаками, как всхожесть, устойчивость к высоким температурам и полеганию [17]. В коллекционном питомнике проведена оценка варьирования показателя массы 1000 зерен: диапазон значений признака составил 18,8-36,2 г, среднее значение – 25,4 г, коэффициент вариации – 15,8%, что свидетельствует о среднем уровне изменчивости признака. В соответствии с Широким унифицированным классификатором СЭВ [12], образцы сорговых культур с массой 1000 семян выше 30 г, отнесены к 7-му баллу по величине зерновки. В рамках работы в коллекционном питомнике выделены наиболее крупнозерные формы, соответствующие данному критерию: к-4075 – 31,8 г, В-03-3008 – 34,6 г, к-7606 – 30,5 г, к-2058 – 36,2 г, О-к-8803 (1) – 33,7 г.

Урожайность зерна выступает в качестве комплексного показателя, отражающего совокупное проявление всех элементов продуктивности зернового сорго в течение вегетационного периода. По результатам исследований за 2023-2025 гг. установлено, что урожайность семян коллекционных линий зернового сорго характеризуется средним уровнем варьирования (коэффициент вариации $V = 21,2\%$) при среднем значении показателя 3,53 т/га. Диапазон изменчивости урожайности составил от 2,21 до 5,11 т/га. Девять образцов продемонстрировали урожайность зерна свыше 4,0 т/га, существенно превысив среднее значение по питомнику. В их числе выделены

наиболее продуктивные формы, обеспечившие урожайность более 4,5 т/га: к-2058 – 4,87 т/га, к-3941 – 4,52 т/га, к-8803 – 4,72 т/га, к-9115 – 4,78 т/га, 06-2037 – 5,11 т/га.

Средняя урожайность биомассы исследованных сортообразцов варьировала в пределах от 9,76 до 19,85 т/га, коэффициент вариации составил при этом 15,9%, а среднее значение величины признака в питомнике равнялось 14,08 т/га. На уровне средней урожайности надземной массы в питомнике, а также урожайности биомассы сорта-стандарта Старт (13,68 т/га) оказались 15 образцов, сформировавших 13,23-14,63 т/га биомассы. Урожайность биомассы наиболее продуктивных образцов достигла свыше 17,0 т/га: к-

10112– 19,85 т/га, к-9115 – 17,69 т/га, В-03-3003 – 18,20 т/га, к-2058 – 17,13 т/га, к-3941 – 17,00 т/га, к-9115 – 17,69 т/га.

Проведенный анализ статистических параметров выборки селекционно-значимых признаков коллекционных сортообразцов позволил оценить вариабельность показателей и отобрать ценные формы по комплексу хозяйственно-полезных признаков. Среди изученных сортообразцов значительной площадью наибольшего (232,2-259,2 см²) и флагового (112,0-120,8 см²) листа выделились образцы к-8477, к-8885, к-9480, а также образец к-10112 с самым высоким значением листовой поверхности наибольшего листа – 277,3 см² (табл. 3).

Таблица 3. Морфометрические показатели сортообразцов зернового сорго коллекционного питомника, 2023-2025 гг

Table 3. Morphometric parameters of grain sorghum varieties from the collection nursery, 2023-2025

Образец	Происхождение	Высота растений, см		Площадь листа, см ²	
		через 30 дней от всходов	при созревании	наибольшего	флагового
Старт (St)	Россия	52,8	122,6	137,2	87,9
к-10112	Молдова	72,6	188,9	277,3	98,1
В-03-3001	Бразилия	89,6	177,2	199,8	48,4
В-03-3003	Бразилия	106,9	196,8	174,6	53,2
В-01-3005	Бразилия	87,4	140,4	227,5	88,1
к-2058	Египет	74,1	135,0	198,7	115,8
к-4075	США	57,7	118,4	202,7	75,1
О-к-8803/1	Индия	66,5	130,2	198,5	112,7
к-9115	Эфиопия	73,4	161,6	190,2	99,54
06-2037	Китай	60,9	101,9	207,8	92,3
к-8477	Франция	62,8	104,3	251,0	112,0
к-8885	Индия	75,6	113,5	232,2	112,8
к-9480	Россия	61,8	111,1	259,2	120,8

В селекции сортов и гибридов зернового сорго в интересах кормопроизводства для получения моноорма, зерносенажа работа селекционеров направлена на создание более высокорослых форм зернового сорго с большей высотой в конце вегетации и, следовательно, урожайностью надземной биомассы. В ходе исследования установлено, что большинство образцов по значению признака практически идентичны стандарту сорту Старт (122,6 см), у них высота при созревании варьирует в пределах 111,1 см (к-9480) – 143,3 см (к-2058). Однако в рабочей коллекции выявлены и вы-

сокорослые формы: В-03-3001, В-03-3003, к-175, к-9115, к-10112, высота травостоя которых составляет 161,6-196,8 см.

В рабочей коллекции образцов выделены высокорослые формы из Бразилии В-03-3001 и В-03-3003, сформировавшие растения, высота которых при созревании достигла 177,2 и 196,8 см соответственно, формирующие высокую урожайность биомассы – 16,76-18,20 т/га, а также имеющие зерновую продуктивность свыше 3,00 т/га, что делает их перспективными для селекции сортов кормового назначения в производстве зерносенажа, моноорма.

Масса 1000 семян – это показатель, который характеризует крупность и выполненность семян. Используется для расчёта нормы высева семян и оценки потенциальной урожайности. Для ее определения берут семена и тщательно перемешивают, затем отсчитывают две пробы по 500 семян (без выбора), далее взвешивают каждую пробу с точностью до сотой доли грамма и вычисляют сумму результатов взвешивания двух проб. Масса 1000 семян сорго должна быть не менее 15 г согласно ГОСТ 11229-89 «Семена сорго. Сортовые и посевные качества. Технические условия».

Установлены крупнозерновые образцы с массой 1000 семян свыше 30,0 г: к-2058 – 36,22 г, к-4075 – 31,83 г, О-к-8803/1 – 33,74 г (табл. 4). Выявлены наиболее продуктивные формы с урожайностью зерна выше 4,5 т/га: к-2058 – 4,87 т/га, к-3941 – 4,52 т/га, О-к-8803/1 – 4,72 т/га, к-9115 – 4,78 т/га, 06-2037 – 5,11 т/га, среди них 3 образца к-2058, О-к-8803/1 и к-4075 отличались комплексом ценных показателей – крупнозерностью, высокой зерновой продуктивностью и светлой бело-голубой окраской семян.

Таблица 4. Элементы продуктивности сортообразцов зернового сорго коллекционного питомника, 2023-2025 гг.

Table 4. Productivity elements of grain sorghum varieties from the collection nursery, 2023-2025

Образец	Масса 1000 семян, г	Урожайность, т/га	
		зерна	биомассы
Старт (St)	30,71	4,25	13,68
к-10112	24,74	3,82	19,85
В-03-3001	26,90	3,71	16,76
В-03-3003	22,36	3,16	18,20
В-01-3005	22,57	4,09	14,34
к-2058	36,22	4,87	17,13
к-4075	31,83	3,66	13,03
О-к-8803/1	33,74	4,72	15,38
к-9115	25,29	4,78	17,69
06-2037	24,05	5,11	15,83
к-8477	24,97	3,39	17,31
к-8885	28,13	3,00	14,53
к-9480	20,76	4,45	13,23

При разработке модели сорта сорго для применения в качестве сырья для перерабатывающей промышленности необходимо учитывать как агроклиматические условия региона, так и биологические особенности культуры, в том числе устойчивость к факторам внешней среды. Поэтому повышение холодоустойчивости и засухоустойчивости, устойчивости к болезням и вредителям является обязательным требованием к новым сорта и гибридам сорго.

Согласно литературным данным, Поволжский экономический регион характеризуется 2065-3500^оС суммой активных температур. Такая теплообеспеченность позволяет возделывать на территории региона раннеспелые, среднеранние, среднеспелые сорта и гибриды сорго. Для дости-

жения новыми сортами зернового сорго полной спелости зерна вегетационный период не должен превышать 115-120 дней. При моделировании сорта сорго при выращивании в засушливых условиях необходимо достигать оптимальной высоты растений. Так, интенсивность стартового роста (высота растений через 30 дней после всходов) желательна более 45 см, чтобы растения на начальных этапах роста и развития могли успешно бороться с сорняками. В период созревания высота растений должна быть в пределах 110,0-140,0 см, такие параметры обеспечивают технологичность уборки урожая. Основным признаком для селекционера при оценке исходного материала – зерновая урожайность, которая в данной модели сорта установ-

лена в пределах от 5,2 до 5,8 т/га. Проведенными ранее исследованиями установлено, что для использования сорго в крах-

малопаточной промышленности в зерне должно быть высокое содержание крахмала, в пределах 71-77% (табл. 5).

Таблица 5. Основные селекционные показатели модели сорта сорго для получения продуктов переработки крахмала

Table 5. Key selection parameters of a sorghum variety model for obtaining starch processing products

Признак	Значение
Хозяйственные признаки	
Интенсивность начального роста, см	более 45
Высота растений, см	110,0-140,0
Площадь наибольшего листа, см ²	170,0-205,0
Диаметр стебля, мм	10-15
Число надземных узлов, шт.	7-10
Общая кустистость, шт.	1,0-1,5
Урожайность биомассы, т/га	15,0-17,0
Урожайность зерна, т/га	5,2-5,8
Масса 1000 зерен, г	более 30,0
Окраска зерна	светлая
Степень обнаженности зерновки от колосковых чешуй	сильно открытая
Степень вымолачиваемости	легкая
Качественные признаки	
Содержание крахмала в зерне, %	71-77
Теоретический выход крахмала, т/га	3,20-3,85

Выявленные 3 коллекционных образца к-2058, О-к-8803/1 и к-4075 отличились комплексом ценных показателей: крупнозерностью и светлой бело-голубой окраской семян, высокой зерновой продуктивностью, а также концентрацией крахмала в зерне – 71,0-75,0%. Этот ценный исходный материал отличается также устойчивым ежегодным вызреванием семян, характеризуется комплексом признаков, соответствующих показателям модели сорта для переработки на получение крахмала и крахмалопродуктов. Такие отличительные особенности позволяют перевести эти образцы для изучения в селекционный питомник в следующем году, а далее в питомник предварительного сортоизучения.

Закключение. В результате трехлетних исследований коллекционного питомника зернового сорго выделены образцы, отличающиеся наиболее крупной массой зерновки: к-4075, к-2058, О-к-8803/1 с массой 1000 семян в диапазоне 31,8-36,2 г. Кроме того, выявлен ряд образцов с повышенной

продуктивностью зерна – 06-2037, к-9115, к-2058, О-к-8803 (1) (4,72-5,11 т/га) и биомассы – к-9115, к-10112, В-03-3003 (17,69-19,85 т/га). Выявлены 3 образца к-2058, О-к-8803/1 и к-4075 с комплексом ценных показателей – крупнозерностью, высокой зерновой продуктивностью, высоким содержанием крахмала в зерне (71,0-75,0%), светлой бело-голубой окраской зерновки. Этот ценный исходный материал отличается устойчивым ежегодным вызреванием семян, характеризуется набором признаков, соответствующих показателям модели сорта для переработки на получение крахмала и крахмалопродуктов.

Научный подход к решению проблемы вовлечения в переработку на крахмал жаровыносливой культуры зернового сорго позволит выявить физико-химические и технологические свойства и особенности этого крахмалоноса, которые могут стать для регионов с засушливым климатом источниками обеспечения продовольственной безопасности России.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АТЛАС – биоресурсная коллекция сорговых культур ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» / Титов В.Н. [и др.]. Саратов. Техно-Декор, 2022. 188 с.
2. Селекция зернового сорго для повышения ассортимента зернофуражных культур в засушливых регионах России / Семин Д.С. [и др.] // Аграрная наука. 2026. № 2. С. 83-90.
3. Коллекционные сортообразцы зернового сорго как исходный материал для селекции продуктивных сортов с высоким выходом протеина зерна [Электронный ресурс] / Семин Д.С. [и др.] // АгроЭкоИнфо. 2024. № 3. С. 63. Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/3/st_310.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202143310>.
4. Коллекционные образцы зернового сорго для селекции сортов с высоким выходом крахмала / Семин Д.С. [и др.] // Научная жизнь. 2024. Т. 19, № 6.
5. Алабушев А.В., Ковтунов В.В., Ковтунова Н.А. Качество зерна коллекционных образцов сорго зернового. Ростов н/Д: Книга. 2013. 144 с.
6. Основные итоги и перспективы развития лаборатории селекции и семеноводства крупяных и сорговых культур / Антимонов А.К. [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 2 (2). С. 390-395.
7. Сыркина Л.Ф., Антимонов А.К., Антимонова О.Н. Сахарное и зерновое сорго как альтернативный кормовой ресурс в животноводстве в условиях планетарного потепления климата // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. 2023. Т. 2, № 2. С. 8-14.
8. Зерновое сорго – сельскохозяйственная культура с большими возможностями: биологический потенциал, использование в пищевой промышленности и кормопроизводстве: монография // Сазонова И.А. [и др.]. Саратов: Наука, 2023. 127 с.
9. Effects of Short-Term High Temperature on Photosynthesis and Photosystem II Performance in Sorghum / Yan K. [et al.] // Journal of Agronomy and Crop Science. 2011. No. 197 (5). P. 400-408. 10.1111/j.1439-037x.2011.00469.x.
10. Recent advancements in the breeding of sorghum crop: current status and future strategies for marker-assisted breeding / Baloch F.S. [et al.] // Front. Genet. 2023. Vol. 14. P. 1150616. doi: 10.3389/fgene.2023.1150616.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М. 1989. 194 с.
12. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench / Якушевский Е.С [и др.]. Л.: 1982. 34 с.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс. 2014. 351 с.
14. Киселева Н.С. Способ вычисления площади листа груши по линейным измерениям с помощью расчетных коэффициентов и методом вариационной статистики // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 52 (1). С. 211-217. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.211rus.
15. Дорофеева М.М., Бонецкая С.А. Сравнительный анализ некоторых классических и современных методик определения площади листовой поверхности // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56, № 2. С. 182-192. DOI: 10.31857/S0033994620020041.
16. Методика измерения параметров листовых пластинок по цифровому изображению с использованием специализированного программного обеспечения / Самаркина Е.И. [и др.] // Растительные ресурсы. 2019. № 4 (55). С. 537-547. DOI: 10.1134/S0033994619040101.
17. Беседа Н.А. Создание признакововой и генетической коллекции крупнозерных форм сорго зернового // Научный журнал КубГАУ. 2010. № 62 (08). С. 12-13. <http://ej.kubagro.ru/2010/08/pdf/03.pdf> 1.

REFERENCES

1. ATLAS – bioresource collection of sorghum crops of the Rossorgo / Titov V.N. [et al.]. Saratov: Techno-Decor, 2022. 188 p. [In Russ.].
2. Breeding of grain sorghum to increase the range of grain forage crops in arid regions of Russia / Semin D.S. [et al.] // Agrarian science. 2026. No. 2. P. 83-90. [In Russ.].
3. Collection accessions of grain sorghum as source material for breeding productive varieties with a high yield of grain protein [Electronic resource] / Semin D.S. [et al.] // AgroEcoInfo. 2024. No. 3. P. 63. Access mode: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/3/st_310.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/202143310>. [In Russ.].
4. Collection samples of grain sorghum for breeding varieties with high starch yield / Semin D.S. [et al.] // Scientific life. 2024. Vol. 19, No. 6. [In Russ.].
5. Alabushev A.V., Kovtunov V.V., Kovtunova, N.A. Grain quality of collection samples of grain sorghum. Rostov n / D: Kniga. 2013. 144 p. [In Russ.].
6. Main results and prospects for the development of the laboratory for breeding and seed production of cereal and sorghum crops / Antimonov A.K. [et al.] // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 20, No. 2 (2). P 390-395. [In Russ.].
7. Syrkina L.F., Antimonov A.K., Antimonova O.N. Sweet and grain sorghum as an alternative feed resource in animal husbandry under conditions of planetary warming // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Agricultural sciences. 2023. Vol. 2, No. 2. P. 8-14. [In Russ.].
8. Grain sorghum as an agricultural crop with great potential: biological potential, use in the food industry and forage production: a monograph / Sazonova I.A. [et al.]. Saratov: Nauka, 2023. 127 p. [In Russ.].
9. Effects of Short-Term High Temperature on Photosynthesis and Photosystem II Performance in Sorghum / Yan K. [et al.] // Journal of Agronomy and Crop Science. 2011. No. 197 (5). P. 400-408. 10.1111/j.1439-037x.2011.00469.x.
10. Recent advancements in the breeding of sorghum crop: current status and future strategies for marker-assisted breeding / Baloch F.S. [et al.] // Front. Genet. 2023. Vol. 14. P. 1150616. doi: 10.3389/fgene.2023.1150616.
11. Methodology of state variety testing of agricultural crops. Moscow, 1989. 194 p. [In Russ.].
12. Broad Unified Classification of CMEA and International Classification of CMEA Cultivated Species of the Genus Sorghum Moench / Yakushevsky E.S. [et al.]. L: 1982. 34 p. [In Russ.].
13. Dospekhov, B.A. Methodology of field experiments (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., revised and add. Moscow: Alliance, 2014. 351 p. [In Russ.].
14. Kiseleva, N.S. Method for calculating pear leaf area from linear measurements using calculated coefficients and the method of variation statistics // Agricultural Biology. 2017. No. 52 (1). P. 211-217. DOI: 10.15389/agrobiol.2017.1.211rus. [In Russ.].
15. Dorofeeva M.M., Bonetskaya S.A. Comparative analysis of some classical and modern methods for determining the leaf surface area // Plant Resources. 2020. Vol. 56, No. 2. P. 182-192. DOI: 10.31857/S0033994620020041. [In Russ.].
16. Methodology for measuring the parameters of leaf blades from a digital image using specialized software / Samarkina E.I. [et al.] // Plant Resources. 2019. No. 4 (55). P. 537-547. DOI: 10.1134/S0033994619040101. [In Russ.].
17. Beseda N.A. Creation of a trait and genetic collection of large-grain forms of grain sorghum // Scientific journal of KubSAU, 2010. No. 62 (08). P. 12-13. <http://ej.kubagro.ru/2010/08/pdf/03.pdf> 1. [In Russ.].

Информация об авторах / Information about the authors

Ефремова Ирина Григорьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»);

410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7188-9332>, e-mail: efremova-irina1946irina@yandex.ru

Семин Дмитрий Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»); 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6782-5256>, e-mail: sds-balashov@yandex.ru

Куколева Светлана Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»); 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0582-9024>, e-mail: lily74-88@mail.ru

Подгорнов Евгений Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела агротехнологий в производственно-семеноводческом центре управления научно-технологического обеспечения, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»); 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6228-9791>, e-mail: podgornow0308@mail.ru

Светлов Владислав Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»); 410050, Российская Федерация, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0270-1970>, e-mail: svsvetlov1992@mail.ru

Irina G. Efremova, PhD (Agr.), Leading Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn (Rossorghum); 410050, the Russian Federation, Saratov, 4 1st Institutsky Proezd, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7188-9332>, e-mail: efremova-irina1946irina@yandex.ru

Dmitry S. Semin, PhD (Agr.), Chief Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn (Rossorghum); 410050, the Russian Federation, Saratov, 4 1st Institutsky Proezd, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6782-5256>, e-mail: sds-balashov@yandex.ru

Svetlana S. Kukoleva, PhD (Agr.), Senior Researcher, Department of Breeding and Primary Seed Production, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn (Rossorghum); 410050, the Russian Federation, Saratov, 4 1st Institutsky Proezd, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0582-9024>, e-mail: lily74-88@mail.ru

Evgeny V. Podgornov, PhD (Agr.), Senior Researcher, Department of Agrotechnology, Production and Seed Center, Scientific and Technological Support Department, Russian Research,

Design and Technology Institute of Sorghum and Corn (Rossorghum); 410050, the Russian Federation, Saratov, 4 1st Institutsky Proezd, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6228-9791>, e-mail: podgornow0308@mail.ru

Vladislav V. Svetlov, PhD (Agr.), Researcher, Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research, Design and Technological Institute of Sorghum and Corn (Rossorghum); 410050, the Russian Federation, Saratov, 4 1st Institutsky Proezd, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0270-1970>, e-mail: svsvetlov1992@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Ефремова Ирина Григорьевна – разработка методик исследования, сбор данных, подбор литературных источников.

Семин Дмитрий Сергеевич – проведение эксперимента, подбор литературных источников.

Куколева Светлана Сергеевна – оформление статьи в соответствии с требованиями журнала, проведение эксперимента, подбор литературных источников, сбор данных.

Подгорнов Евгений Викторович – проведение эксперимента, сбор данных.

Светлов Владислав Владимирович – проведение эксперимента, сбор данных.

Claimed contribution of the authors

Irina G. Efremova – development of research methods, data collection, and selection of literary sources.

Dmitry S. Semin – experimentation and selection of literary sources.

Svetlana S. Kukoleva – article formatting in accordance with the Journal requirements, conducting the experiment, selecting literary sources, and data collection.

Evgeny V. Podgornov – experimentation and data collection.

Vladislav V. Svetlov – experimentation and data collection.

Поступила в редакцию 23.07.2026

Поступила после рецензирования 26.08.2026

Принята к публикации 28.08.2026

Received 23.07.2026

Revised 26.08.2026

Accepted 28.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-118-136>

УДК [634.226+634.22]:631.526.32 (470.67)



Оценка адаптивности и устойчивости продуктивности сортов алычи и сливы в условиях сухих субтропиков Южного Дагестана

Н.Г. Загиров¹, А.В. Сатибалов✉²,
Р.Н. Керимханова¹, З.М. Буттаева²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»;
г. Сочи, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»;
г. Нальчик, Российской Федерации,
✉aslan-07@list.ru

Аннотация. Введение. В статье обосновывается ориентация плодового хозяйства на систему адаптивно-ландшафтного земледелия и адаптивного садоводства. Определены ключевые направления: специализация и размещение сортов с учётом почвенно-климатических особенностей, оптимизация схем посадки, разработка региональных систем содержания почвы и увлажнения. Показаны перспективы реализации концепции в Республике Дагестан: рост урожайности, экономический эффект. **Цель исследования.** Определение связей урожайности, устойчивости, продуктивности и адаптивности от экологических условий. **Объекты и методы исследования.** Объекты исследования – сорта сливы Кабардинская Ранняя, Венгерка Белорусская, Венгерка Итальянская, Адмирал Нахимов, Стенлей, Президент, Анжелика, Золотая Капля, а также сорта алычи Раджабли, Обильная, Пурпуровая, Десертная, Жемчужина, Спутница, Пионерка, Комета; подвой – алыча местная, дикорастущая. Наблюдения и учёт при определении критериев роста и развития дерева и плода проводятся с применением общепринятых в плодоводстве методов с применением методов обработки экспериментальных данных в плодоводстве. **Результаты и обсуждение.** Проведена комплексная оценка соответствия экологических условий территории на основе изучения и обобщения многолетних результатов исследований. Представлена комплексная оценка адаптивности сортообразцов сливы и алычи, а также связь уровня адаптивности с изменением технологического обеспечения и экономическими показателями, отражающими кризисные процессы в садоводстве. Уточнены пределы колебания коэффициента устойчивости продуктивности плодоношения и многолетней урожайности сортов сливы и алычи. **Заключение.** Выявленные закономерности связей биологического потенциала сортов сливы и алычи с окружающей средой позволяют провести размещение в специфических микрорайонах и расширить насаждения в районах сухих субтропиков. Экономическая оценка сортов сливы показала, что уровень рентабельности достигает от 70 до 140%. Расчёты экономической эффективности адаптивного (устойчивого) возделывания сортов алычи показывают, что среднегодовой эффект составляет 2172-4178 тыс. руб.

Ключевые слова: сухие субтропики, климатические условия, слива, алыча, устойчивость продуктивности, уровень адаптивности, технологический оптимум, экономическая эффективность

Для цитирования: Загиров Н.Г., Сатибалов А.В., Керимханова Р.Н., Буттаева З.М. Оценка адаптивности и устойчивости продуктивности сортов алычи и сливы в условиях сухих субтропиков южного Дагестана. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3)118-136. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-118-136>

Финансирование: Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ РАН FGRW -2024-0003, № госрегистрации 124022000093-1

Assessing the adaptability and productivity resilience of cherry plum and plum varieties in the dry subtropics of the Southern Dagestan

N.G. Zagirov¹, A.V. Satibalov✉²,
R.N. Kerimkhanova¹, Z.M. Buttaeva²

¹*Subtropical Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
Sochi, the Russian Federation*

²*The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture;
Nalchik, the Russian Federation,
✉aslan-07@list.ru*

Abstract. Introduction. The article substantiates the orientation of fruit growing toward a system of adaptive landscape farming and adaptive horticulture. The key areas have been identified: specialization and placement of varieties taking into account soil and climatic features, optimization of planting patterns, development of regional soil maintenance and moisture systems. The prospects for implementing the concept in the Republic of Dagestan have been shown: yield increase, economic effect. **The goal of the research** is to determine the relationships between yield, stability, productivity and adaptability from environmental conditions. **The objects and methods of the research** are the following plum varieties: Kabardinskaya Rannyaya, Vengerka Belorusskaya, Vengerka Italiyskaya, Admiral Nakhimov, Stanley, President, Angelica, Zolotaya Kaplya, as well as the following cherry plum varieties: Rajabli, Obilnaya, Purpurovaya, Dessertnaya, Zhemchuzhina, Sputnitsa, Pionerka, Kometa; local and wild cherry plum rootstock. Observations and records when determining the criteria for the growth and development of the tree and fruit have been carried out using generally accepted methods in fruit growing, using methods of processing experimental data in fruit growing. **The results and discussion.** A comprehensive assessment of the environmental conditions of the area has been conducted based on the study and synthesis of long-term research results. A comprehensive assessment of the adaptability of plum and cherry plum varieties has been presented, as well as the relationship between adaptability and changes in technological support and economic indicators reflecting the crisis processes in horticulture. The ranges of variation in the coefficient of sustainability of fruiting productivity and long-term yield of plum and cherry plum varieties have been clarified. **Conclusion.** The identified patterns of relationships between the biological potential of plum and cherry plum varieties and the environment allow for planting in specific microzones and expansion of plantings in dry subtropical regions. An economic assessment of plum varieties has shown that profitability levels range from 70 to 140%. Calculations of the economic efficiency of adaptive (sustainable) cultivation of cherry plum varieties indicate an average annual benefit of 2,172,000 to 4,178,000 rubles.

Keywords: dry subtropics, climatic conditions, plum, cherry plum, productivity stability, adaptability level, technological optimum, economic efficiency

For citation: Zagirov N.G., Satibalov A.V., Kerimkhanova R.N., Buttaeva Z.M. Assessing the adaptability and productivity resilience of cherry plum and plum varieties in the dry subtropics of the Southern Dagestan. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):118-136. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-118-136>

Funding: This publication was prepared within the framework of the Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (FRC RAS) state assignment FGRW-2024-0003, state registration number 124022000093-1

Введение. В результате просмотра довольно обширного объёма литературных источников представляется возможным получить некоторое реальное представление об экологической безопасности. Её реализация требует формирования комплексной системы мер (социально-правовых, технико-технологических, медико-биологических) для обеспечения равновесия между биосферой и совокупностью антропогенных и естественных воздействий.

Устойчивость аграрного производства определяется формированием сбалансированных агроландшафтов с учётом параметров территории и внедрением адаптивно-ландшафтных систем земледелия, сохраняющих почвенное плодородие и биоразнообразие.

Переход к современному низко затратному сельскому хозяйству ограничен ёмкостью земельных ресурсов и биологическим потенциалом агроэкосистем. Агроэкологический подход базируется на интеграции адаптивного потенциала культурных растений, природно-ресурсного и производственно-экономического потенциалов, что обеспечивает устойчивость агроэкосистем в условиях внешних вызовов [1-3].

В условиях нарастающей климатической нестабильности и диверсификации агротехнологий ключевое значение в современном садоводстве приобретает изучение адаптивности плодовых культур. Под адаптивностью в данном контексте понимается способность растений сохранять жизнеспособность и стабильную продуктивность в динамичных условиях внешней среды за счёт сопряжённого действия генетических программ онтогенетической и филогенетической адаптации.

Актуальность исследований в сфере адаптивного садоводства обусловлена необходимостью системного подхода к возделыванию плодовых пород и сортов. В этой связи первоочередную значимость приобретает комплексный анализ факторов культивирования, таких как агроклиматические, экологические и экономико-технологические, – позволяющие оптимизировать агротехнические решения применительно к конкретным агроэкологическим условиям.

Особого внимания заслуживает оценка биологического потенциала культур с учётом пространственной вариабельности микроклиматических, мезоклиматических и макроклиматических условий, что создаёт научную основу для селекции и районирования сортов, а также для формирования устойчивых агроценозов в различных почвенно-климатических зонах. Развитие садоводства как одного из ключевых сегментов агропромышленного комплекса во многом определяется уровнем государственной поддержки, направленной на обеспечение населения важнейшими продуктами питания – плодами, ягодами и виноградом, выступающими основным источником витаминов для поддержания трудоспособности и сохранения здоровья населения [4-6].

Интенсификация садоводства и виноградарства, а также деградация почв вследствие нерационального землепользования обусловили рост научного интереса к почвенно-климатическим условиям в последние десятилетия. В рамках развития адаптивного садоводства в нашей стране решается задача оптимального размещения плодово-ягодных культур по микроразнообразиям. Северный Кавказ, характеризующийся наличием перспективных европейских и американских сортов, выступает перспективной площадкой для комплексной оценки биологического потенциала и адаптивной способности плодовых культур [7-9].

При проведении комплексного анализа адаптивного потенциала плодовых культур с дифференциацией по агроклиматическим зонам, подзонам и локальным районам был сформирован и верифицирован набор из девяти ключевых биоэкологических и производственно-экономических индикаторов.

В число климатических детерминант входят:

- сумма активных температур (выше +10°C) как интегральный показатель теп-

лообеспеченности вегетационного периода, определяющий прохождение фенофаз и накопление сахаров в плодах;

- сумма эффективных температур (выше 0°C), отражающая общий тепловой ресурс территории и лимитирующая зимостойкость генеративных почек;
- фактическая среднегодовая норма атмосферных осадков, коррелирующая с водообеспеченностью насаждений и режимом орошения;
- продолжительность безморозного периода, лимитирующая сроки созревания поздних сортов и полноту вегетации;
- вероятность возвратных заморозков в фазу цветения – критический фактор, напрямую влияющий на урожайность за счёт повреждения пестиков и тычинок.

Почвенно-агрохимические условия оценивались по комплексному показателю качества почвы, включающему не только фактические агрохимические и физико-механические характеристики (содержание гумуса, pH, гранулометрический состав), но и дополнительные параметры, учитывающие микрорельеф, глубину залегания грунтовых вод и дренированность участка.

Терморезистентность культур анализировалась по двум экстремумам:

- абсолютному минимуму температуры воздуха за многолетний период, определяющему предельные возможности выживания надземной части растений;
- минимальной отрицательной температуре после зимней оттепели, провоцирующей вторичное обезвоживание тканей и растрескивание коры вследствие резких перепадов температур.

Отдельно выделен производственно-экономический блок, где фактический уровень рентабельности рассматривался в трёх сценариях: в дореформенный период, т.е. 1990...2000 годы (для ретроспективной оценки устойчивости агротехнологий), в современных рыночных условиях (с учётом логистики, себестоимости и цен реализации) и при достижении технологического оптимума (внедрение капельного

орошения, интегрированной защиты, механизированной уборки и т. п.). Такой многоуровневый подход позволил соотнести биологическую адаптивность сортов с их экономической целесообразностью в конкретных агроландшафтах.

Успешное развитие садоводства требует углублённого изучения как экологического потенциала региона, так и биологических особенностей возделываемых культур [10-12].

Биологизация пловодства представляет собой перспективное и высокоэффективное направление развития отрасли, прежде всего для косточковых культур, обладающих существенными биологическими резервами в свете повышения степени адаптивности, качества и количества продукции, а также её технологичности. Ключевым фактором реализации этого потенциала выступает уровень регулярной продуктивности. В современных экономических условиях особую актуальность приобретает селекция адаптивных сортов, обеспечивающих стабильную урожайность и качество плодов при минимальных затратах. Приоритетными являются сорта, проявляющие устойчивость к основным болезням и вредителям данной местности, к негативным факторам зимнего периода (раннему наступлению холодов, резким перепадам температуры воздуха, возвратным холодам), а также максимально совместимые с инновационными технологиями возделывания [13-17].

Из многочисленных литературных источников следует, что экологический потенциал территории формирует основу адаптивности, тогда как биологические ресурсы сортов представляют её надстройку – верхний уровень. Устойчивость отрасли обеспечивается подбором сортов, сохраняющих урожайность и качество продукции в условиях абиотических стрессов (засуха, переувлажнение, экстремальные температуры, вариативность инсоляции). Адаптивность плодовых культур определяется их способностью поддерживать репродуктивные функции и

формировать стабильные урожаи в динамично меняющихся факторах окружающей среды посредством координированной реализации генетических программ онто- и филогенетической адаптации [18-20].

На основании проведённых исследований, а также изученных литературных источников установлено, что в современном плодоводстве понятие «адаптивный сорт» трактуется как генотип, демонстрирующий высокую резистентность к лимитирующим абиотическим и биотическим факторам среды в специфических агроклиматических условиях конкретного региона. Адаптивность при этом рассматривается как комплексная характеристика, интегрирующая устойчивость к температурным стрессам (заморозкам, засухе, экстремальным летним температурам), почвенным стрессорам (засолению, кислотности, дефициту элементов питания), а также к распространённым патогенам и вредителям местной фитосанитарной зоны.

В условиях нарастающей климатической нестабильности и интенсификации сельскохозяйственного производства существенно возрастает методологическая значимость количественных подходов к оценке адаптивного потенциала культивируемых пород и сортов. Особую актуальность приобретают математические методы анализа устойчивости. Внедрение таких инструментов позволяет не только объективно ранжировать сортовой материал по адаптивности, но и прогнозировать его продуктивность в меняющихся условиях среды, что принципиально важно для селекции и регионального сортоиспытания [21-23].

Аналитический материал разных авторов показывает, что в период 1990...2000-х годов в результате слабой ценовой политики, нерациональной конвертации между аграрным и промышленным секторами, а также сворачивания финансовой поддержки со стороны государства работ по закладке и уходу за многолетними насаждениями привели к ухудшению материально-технического обеспечения. Анализ

имеющихся данных демонстрирует сокращение продуктивности и существенное понижение производства.

В современных экономических условиях уровень адаптивности плодовых культур в предгорно-горных районах существенно ниже, чем до кризиса в садоводстве. Трансформация экономической модели в сторону рыночных отношений инициировала формирование обновлённой системы критериев оценки эффективности садоводства, включая технологические решения, а также селекционные достижения. Данный процесс сопряжён с необходимостью ревизии устоявшейся технологической парадигмы в плодоводстве, где приоритетными направлениями выступают повышение адаптивного потенциала агроэкосистем, минимизация техногенной нагрузки и оптимизация ресурсоёмкости производственных процессов [24-26].

Развитие плодоводства необходимо ориентировать на научно-технологическую систему адаптивно-ландшафтного земледелия, в т.ч. на концепцию адаптивного садоводства. Ключевые направления в рамках данного подхода включают: научно обоснованную специализацию и размещение сортов плодовых культур с учётом почвенно-климатических особенностей регионов, районов, микрорайонов и отдельных участков; оптимизацию схем посадки и площадей питания деревьев; разработку региональных систем содержания почвы и режимов увлажнения, адаптированных к местным условиям и биологическим особенностям сортов.

Реализация этой концепции в Республике Дагестан, обладающей благоприятными природно-экономическими условиями, с опорой на достижения современной агроэкологии и передовой производственный опыт позволит существенно повысить урожайность плодовых насаждений, добиться значительного экономического эффекта за счёт рационализации садоводства, закрепить за регионом статус одного из ведущих промышленных центров Россий-

ской Федерации по производству плодово-ягодной продукции.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились в лаборатории интродукции и сортоизучения субтропических и южных плодовых культур Федерального государственного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» за период 2016...2025 годы.

Опытные насаждения заложены в 2012 году на территории научно-экспериментального полигона в селении Ходжа-Казмалар Магарамкентского района Республики Дагестан. Почвы представлены аллювиально-луговыми карбонатными плантажированными, тяжелосуглинистыми на аллювиальных, среднесуглинистых отложениях. Объектами исследования служат сорта сливы: Кабардинская Ранняя, Венгерка Белорусская, Венгерка Итальянская, Адмирал Нахимов, Стенлей, Президент, Анжелика, Золотая Капля, а также сорта алычи Раджабли, Обильная, Пурпуровая, Десертная, Жемчужина, Спутница, Пионерка, Комета; подвой – алыча местная, дикорастущая, которая является наилучшим подвоем культурных сортов во всех плодовых зонах Дагестана. Схема посадки – 6х4 м, формировка деревьев – чашевидная с детальной ежегодной обрезкой. Посадки заложены в 3-х краткой повторности, по 3 дерева в каждой. Все наблюдения и

учёты при определении критериев роста и развития дерева и плода проводятся с применением общепринятых в области пловодства методов, а также согласно с требованиями агротехнических исследований в садоводстве, с применением методов обработки экспериментальных данных в пловодстве.

Информация о погоде получена с метеорологической станции Дербент (Дагестан, Россия). Анализ почвенно-климатических условий показывает, что они вполне благоприятны для возделывания сортов алычи и сливы.

Результаты и их обсуждение. Многолетний опыт возделывания сортов алычи и сливы показывает, что температурные условия территории выступают ключевым экологическим фактором, лимитирующим распространение данных культур. Изучение теплообеспеченности территории показало, что среднегодовая температура воздуха сухих субтропиков за 2021...2025 годы составила 14,9°C, а средняя за период октябрь...март – 8,6°C, за период апрель...сентябрь – 18,0°C (табл. 1).

На территории сухих субтропиков абсолютный минимум температуры воздуха варьирует от 3,8°C до -11,7. Абсолютный максимум температуры за 2021...2025 гг. на исследуемой территории за период октябрь...март составила 27,3°C, за апрель...сентябрь доходит до 36,0°C (табл. 1).

Таблица 1. Теплообеспеченность за вегетационный период (метеостанция «Дербент»)
Table 1. Heat supply during the growing season (Derbent weather station)

Месяц	Температура воздуха		Отклонения (+, -)	Абсолютный максимум, t°	Абсолютный минимум, t°
	многолетняя	2021-2025 гг.			
X	+15,6	+16,0	+0,4	+27,3	+6,2
XI	+12,3	+13,3	+1,0	+20,4	+4,2
XII	+6,2	+6,7	+0,5	+17,3	-3,8
I	+3,9	+4,7	+0,8	+18,6	-5,7
II	+3,5	+3,9	+0,4	+21,0	-11,7
III	+6,6	+6,9	+0,3	+24,9	-7,2
Среднее за период	+8,0	+8,6	+0,6	+27,3	-11,7
IV	+11,2	+13,1	+1,9	+26,8	+2,8
V	+18,0	+17,7	-0,3	+32,5	+8,5
VI	+24,2	+24,3	+0,1	+35,0	+15,4
VII	+26,8	+26,9	+0,1	+36,0	+18,7
VIII	+26,6	+27,3	+0,7	+35,9	+17,4
IX	+21,8	+18,0	-3,8	+34,7	+12,0
Среднее за период	+21,4	+21,2	-0,2	+36,0	+2,8
Среднее за год	+14,7	+14,9	+0,2	+36,0	-11,7

Агроэкологическая оценка территории требует обязательного учёта условий увлажнения. Особое внимание следует уделять двум параметрам: общему объёму атмосферных осадков за год и их сезонному распределению, коррелирующему с фенологическими фазами развития плодовых культур. За период октябрь...март вы-

пало 43,5 мм осадков, их максимальный суточный показатель составил 22,2 мм. Влажность воздуха соответствовала 82% (табл. 2).

За период апрель...сентябрь среднее количество осадков в 2021...2025 гг. составило 32,7 мм, а максимальное значение – 43,3 мм, влажность воздуха – 75% (табл. 2).

Таблица 2. Влагообеспеченность за вегетационный период (метеостанция «Дербент»)
Table 2. Moisture availability during the growing season (Derbent weather station)

Месяц	Осадки, мм		Отклонения (+, -)	Максимальные суточные осадки, мм	Влажность воздуха, %
	многолетняя	2021-2025 гг.			
X	68,2	74,0	+5,8	22,2	78
XI	37,7	27,0	-10,7	10,3	79
XII	50,5	75,8	+25,3	20,3	86
I	30,5	16,4	-14,1	5,7	84
II	38,8	27,2	-11,6	9,0	85
III	31,6	40,7	+9,1	14,5	81
Среднее за период	42,9	43,5	+0,6	22,2	82
IV	20,6	24,2	+3,6	12,7	86
V	25,7	30,6	+4,9	11,6	80
VI	20,4	21,8	+1,4	8,4	73
VII	23,2	18,6	-4,6	11,2	67
VIII	19,5	8,8	-10,7	6,2	72
IX	47,0	92,2	+45,2	43,3	71
Среднее за период	26,1	32,7	+6,6	43,3	75
Среднее за год	34,5	38,1	+3,6	43,3	78

Наиболее распространенные на территории исследований аллювиально-луговые почвы обладают благоприятными характеристиками для роста и развития корневой системы сортов алычи и сливы. Исследования показали, что содержания фракций в % от абсолютно сухой почвы в слоях 0-50, 50-90, 90-130 см колеблется от 39,6 до 46,4 (сумма фракций менее 0,01 мм), плотность твёрдой фазы почвы 2,59...2,64 г/см³, пористость от 45 до 56%, плотность почвы от 1,13 до 1,45 г/см³, наименьшая влагоёмкость от 32,0 до 348,0 м³/га, аэрация от 16,2 до 25,4 %, дефицит влажности до НВ от 19,0 до 60,0 м³/га (табл. 3).

Анализ химических свойств почвы показывает, что реакция рН водной суспензии находится в пределах 7,2, поглощённый кальций колеблется в пределах 79,0-89,0%, поглощённый натрий – от 12,7 до 15,6%, подвижный Р₂О₅ – в пределах от 0,3 до 0,8 мг на 100 г, содержание гумуса в корнеобитаемом слое – в пределах 0,5...2,6%, с глубиной уменьшаясь в 5 и более раз (табл. 3).

Таким образом, физико-химическая характеристика почвы показывает, что по водно-физическим и агрохимическим свойствам они пригодны в пределах допустимых для выращивания сортов алычи и сливы с использованием основного районированного подвоя.

В качестве показателей для расчёта коэффициентов устойчивости продуктивности сортов алычи и сливы в условиях сухих субтропиков использованы данные фактической годовой и среднегодовой продуктивности за период исследований (2016...2025 гг.).

Исходя из данных, представленных в таблице 4, средняя продуктивность изучаемых сортообразцов за исследуемый период варьировала от 16,9 т/га (Пурпуровая) до 28,0 т/га (Раджабли). Ранжирование сортов алычи для сухих субтропиков Южного Дагестана по степени устойчивой продуктивности выявило ряд сортов с максимальной выраженностью данного элемента: Раджабли (0,91), Обильная (0,83), Пионерка (0,82); минимальный коэффициент у сорта

Спутница (0,56), средний показатель имеют сорта Десертная (0,68), Жемчужина (0,68), Пурпуровая (0,66), Комета (0,66). В общем по всем сортам средний показатель адаптивности соответствует 0,72.

Относительно сортов алычи можно отметить, что показатель адаптивности колеблется в пределах от 0,37 (Пурпуровая) до 0,80 (Раджабли). В целом этот параметр по всем сортам он равен 0,52 (табл. 4).

Таблица 3. Водно-физические и агрохимические параметры аллювиально-луговой почвы в условиях сухих субтропиков Южного Дагестана

Table 3. Water-physical and agrochemical parameters of alluvial-meadow soil in the dry subtropics of the Southern Dagestan

Механический состав почвы								
Слой почвы, см	Содержание фракций в % от абсолютной сухой почвы							
	1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	менее 0,001 мм	сумма фракций менее 0,01 мм	
0-50	1,1	51,3	1,2	15,2	20,0	11,2	46,4	
50-90	1,7	41,9	11,2	7,2	23,2	14,8	45,2	
90-130	2,2	51,0	7,2	8,4	19,2	12,0	39,6	
Водно-физические свойства								
Слой почвы, см	Плотность твёрдой фазы почвы, г/см³	Пористость, %	Плотность почвы, г/см³	Н В			Аэрация, %	Дефицит влажности до НВ, м³/га
				в % к массе	в % к объёму	м³/га		
0-10	2,59	56	1,13	29,0	32,5	325,0	25,4	19,0
30-40	2,62	49	1,35	25,4	34,3	343,0	19,2	56,0
60-70	2,64	45	1,45	24,0	34,8	348,0	16,2	60,0
Химический анализ почвы								
Глубина изъятия образца, см	Водной суспензии рН	Поглощенный кальций, %	Поглощенный натрий, %	Поглощенный магний, %	Подвижный Р₂О₅ мг на 100 г	Подвижный К₂О, мг на 100 г	Гумус, %	
0-50	7,2	82,5	4,8	12,7	0,8	38,0	2,6	
50-90	7,2	89,6	3,9	15,6	0,6	30,0	1,8	
90-130	7,2	79,0	5,7	15,3	0,3	35,0	0,5	

Таблица 4. Устойчивость продуктивности сортов алычи (2016...2025 гг.)

Table 4. Sustainability of productivity of cherry plum varieties (2016...2025)

Сорта алычи	Фактическая годовая продуктивность, т/га										$\sum P_f$	$\bar{P}$	U_n	А
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025				
Раджабли	20,8	23,5	31,8	32,0	27,8	28,0	30,2	30,4	27,2	28,0	280,3	28,0	0,91	0,80
Обильная	20,2	24,0	28,0	31,0	28,0	15,2	16,2	25,8	24,0	30,0	242,4	24,2	0,83	0,65
Пурпуровая	7,6	10,5	12,5	15,0	18,3	20,5	27,1	10,4	30,0	17,5	169,4	16,9	0,66	0,37
Десертная	7,5	8,0	17,5	16,0	21,4	23,8	24,5	28,0	33,3	25,0	205,0	20,5	0,68	0,40
Жемчужина	18,0	17,5	20,0	21,0	18,2	21,0	26,3	22,0	20,1	30,5	214,6	21,5	0,68	0,48
Спутница	7,9	6,2	16,1	14,0	27,5	28,7	29,5	30,0	31,0	26,3	217,2	21,7	0,56	0,40
Пионерка	15,0	16,0	21,0	19,5	24,5	23,4	20,2	18,0	28,0	29,0	214,6	21,5	0,82	0,61
Комета	6,0	8,7	14,4	18,0	26,1	28,0	29,7	23,2	24,0	27,5	205,6	20,6	0,66	0,45
$\sum P_f$	103,0	114,4	161,3	166,5	191,8	188,6	203,7	187,8	218,2	213,8	174,1	174,9	5,80	4,16
$\bar{P}$	12,9	14,3	20,2	20,8	24,0	23,6	25,5	23,5	27,3	26,7	218,6	21,9	0,72	0,52

Значения коэффициентов устойчивости продуктивности сортов сливы приведены в таблице 5. К сортам с максимальным проявлением этого признака относятся Кабардинская Ранняя (0,85), Венгерка Белорусская (0,85), Стенлей (0,85),

средний коэффициент у сортов Анжелина (0,82), Венгерка Итальянская (0,83), Адмирал Нахимов (0,80). Минимальный коэффициент у сортов Президент (0,62) и Золотая Капля (0,74). В среднем по всем сортам сливы он равен 0,79.

Средняя продуктивность сортов сливы за период наблюдений варьировала в пределах от 12,6 т/га (Анжелина) до 19,4 т/га (Адмирал Нахимов).

Адаптивность сортов сливы варьирует от 0,33 (Президент) до 0,76 (Венгерка Белорусская), минимальный показатель у сортов Президент, Золотая Капля, Венгерка Итальянская, а в среднем по всем сортам сливы он равен 0,58. Сорта Венгерка Белорусская, Кабардинская Ранняя, Стенлей предпочтительнее по сравнению с другими с точки зрения адаптивности (см. табл. 5).

Определение адаптивного потенциала изучаемых сортообразцов осуществлялось посредством комплексного многофакторного анализа, включавшего климатические, почвенные и экономические параметры.

В рамках климатического блока оценивались следующие показатели:

- сумма активных и эффективных температур (выше 5°C и 10°C) как индикатор теплообеспеченности вегетационного периода;

- среднегодовое количество атмосферных осадков, определяющее влагообеспеченность культур;

- продолжительность безморозного периода, лимитирующая продолжительность периода вегетации;

- вероятность возвратных заморозков в фазу цветения – критический фактор для репродуктивной стадии развития, особенно для косточковых культур в условиях региона;

- абсолютный минимум температуры воздуха за многолетний период, отражающий экстремальные нагрузки;

- минимальная отрицательная температура после зимней оттепели, характеризующая риск физиологических повреждений в условиях нестабильной зимовки.

Почвенный компонент оценки учитывал агрохимические и агрофизические характеристики ключевых типов почв ареала возделывания, включая гранулометрический состав, содержание гумуса, кислотность (pH), обеспеченность элементами минерального питания и водный режим.

Таблица 5. Устойчивость продуктивности сортов сливы (2016...2025 гг.)
Table 5. Sustainability of productivity of plum varieties (2016...2025)

Сорта сливы	Фактическая годовая продуктивность, т/га										$\sum P_{\phi}$	$\bar{P}$	Y_n	А
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025				
Кабардинская Ранняя	20,0	18,6	17,2	18,4	11,5	13,4	11,6	18,0	15,2	15,0	158,9	15,9	0,85	0,68
Венгерка Белорусская	14,5	19,6	17,4	16,2	11,2	12,0	13,4	17,0	13,7	18,0	153,0	15,3	0,85	0,76
Венгерка Итальянская	11,5	12,8	17,0	11,7	10,2	14,0	12,6	18,0	11,5	12,0	131,1	13,1	0,83	0,54
Адмирал Нахимов	19,8	20,8	26,2	24,3	25,2	18,0	17,0	14,8	12,8	15,0	193,9	19,4	0,80	0,58
Стенлей	15,8	18,4	17,8	12,4	18,2	14,3	16,5	11,8	11,0	16,0	152,2	15,2	0,85	0,65
Президент	8,7	9,5	9,1	7,9	8,9	11,5	18,0	23,0	24,8	14,0	135,4	13,5	0,62	0,33
Анжелина	7,4	8,9	11,8	12,8	14,8	15,3	16,5	11,7	11,8	15,0	126,0	12,6	0,82	0,61
Золотая Капля	8,2	6,5	8,4	11,5	12,8	18,5	16,4	15,8	14,2	15,0	127,3	12,7	0,74	0,47
$\sum P_{\phi}$	105,9	115,1	124,9	115,2	112,8	117,0	122,0	130,1	115,0	120,0	1178,0	117,8	6,36	4,62
$\bar{P}$	13,2	14,4	15,6	14,4	14,1	14,6	15,3	16,3	14,4	15,0	147,3	14,7	0,79	0,58

Экономическая составляющая базировалась на сравнительном анализе рентабельности производства в трёх временных сценариях: ретроспективном, текущем (с учётом современных агротехнологий и рыночных условий) и прогнозном (при условии достижения технологического оптимума – реализации комплекса агроприёмов, обеспечивающих максимальную реализацию биологического потенциала культуры). Та-

ных условий) и прогнозном (при условии достижения технологического оптимума – реализации комплекса агроприёмов, обеспечивающих максимальную реализацию биологического потенциала культуры). Та-

кой подход позволил не только оценить текущую адаптивность, но и спрогнозировать экономическую эффективность в перспективе с учётом климатической изменчивости и совершенствования агротехнологий.

Проведённая комплексная оценка адаптивности докризисного периода в плодоводстве Дагестана восьми сортов алычи продемонстрировала влияние режима орошения на итоговые показатели. Так, при нерегулярном орошении уровень адаптивности находился в диапазоне 0,26...0,61, тогда как переход к регулярному орошению способствовал его повышению до 0,30...0,63, что указывает на положительную реакцию сортов на оптимизацию водного режима (табл. 6).

Исследования адаптивности плодовых культур в условиях сухих субтропиков выявили следующие результаты: при непостоянном, периодичном орошении коэффициент адаптивности составляет 0,13...0,52, а при своевременном орошении данный показатель повышается до 0,16...0,57.

Сравнительный анализ демонстрирует существенное снижение уровня адаптивности относительно докризисного периода. Достижение оптимальных значений представляется возможным за счёт модернизации технологических подходов к возделыванию плодовых культур.

Реализация потенциально возможного уровня адаптивности плодовых культур обусловлена применением комплекса агрономических мер: оптимизацией соотношения элементов NPK в соответствии с биологическими потребностями культуры, мелиорацией почвы и применением инновационных агротехнологий. Экспериментальные данные, полученные в северной предгорной зоне при высоком уровне агротехнического сопровождения, демонстрируют вариативность показателей адаптивности сортов алычи: при нестабильном орошении значения коэффициента адаптивности составляют от 0,42 до 0,82, при систематичном – от 0,45 до 0,86 (табл. 6).

Таблица 6. Уровень адаптивности сортов сливы в условиях сухих субтропиков
Table 6. The level of adaptability of plum varieties in dry subtropical conditions

Сорта сливы	До наступления кризисных явлений		В нынешних экономических условиях		Возможный уровень	
	нерегулярное орошение (условно орошаемая)	регулярное орошение (при технологическом оптимуме)	нерегулярное орошение (условно орошаемая)	регулярное орошение (орошаемая)	нерегулярное орошение (условно орошаемая)	регулярное орошение (орошаемая)
Кабардинская Ранняя	0,56	0,60	0,27	0,30	0,72	0,77
Венгерка Белорусская	0,64	0,68	0,39	0,42	0,82	0,85
Венгерка Итальянская	0,43	0,47	0,18	0,21	0,61	0,64
Адмирал Нахимов	0,44	0,48	0,20	0,22	0,66	0,69
Стенлей	0,65	0,68	0,37	0,40	0,72	0,75
Президент	0,19	0,21	0,10	0,13	0,38	0,41
Анжелина	0,54	0,56	0,23	0,26	0,68	0,71
Золотая Капля	0,45	0,48	0,17	0,20	0,52	0,55
В среднем по сортам	0,49	0,52	0,24	0,27	0,64	0,67

Исходя из данных, представленных в таблице 7, в современных экономических условиях в пределах сухих субтропиков наибольшую адаптивность демонстрируют следующие сорта сливы: Кабардинская ранняя (0,30), Венгерка Белорусская (0,42) и

Стенлей (0,40). В период, предшествовавший кризисным явлениям в отрасли плодоводства региона, показатели адаптивности тех же сортов были существенно выше: Кабардинская ранняя – 0,60, Венгерка Белорусская – 0,68, Стенлей – 0,68. Оценка дина-

мики адаптивного потенциала плодовых культур проведена по трём временным срезам: до кризиса (базовый уровень), в текущих экономических условиях (с учётом ограничений и изменений в агротехнологиях) и в прогнозном сценарии технологического оптимума (максимизация биологического потенциала за счёт современных методов). Сопоставление полученных данных позволяет выявить факторы изменений адаптивности и определить пути повышения устойчивости плодовых агроэкосистем.

При достижении технологического оптимума, подразумевающего реализацию высокого уровня агротехнических мероприятий, потенциальный уровень адаптивности сортов сливы в условиях зоны сухих субтропиков может существенно превышать текущие показатели: Кабардинская ранняя (0,77), Венгерка Белорусская (0,85), Стен-

лей (0,75), Анжелина (0,71), Адмирал Нахимов (0,69), Венгерка Итальянская (0,64).

Сравнительная экономическая оценка сортов алычи показала, что наибольшая прибыль на 1 га получена на сортах Раджабли (695,8 тыс. руб./га), Обильная (540,3 тыс. руб./га), Спутница (432,0 тыс. руб./га). Высокий уровень рентабельности реализованных плодов имеют сорта Раджабли (140,0%), Обильная (130,0%), Спутница (120,0%) (табл. 8).

Экономические показатели сортов сливы указывают на то, что наиболее высокая прибыль получена на сортах – Стенлей (306,5 тыс. руб./га), Кабардинская Ранняя (337,0 тыс. руб./га) и Адмирал Нахимов (458,3 тыс. руб./га). Уровень рентабельности при выращивании сорта Адмирал Нахимов составил 140,0%, что превосходило сорт Анжелина на 60% (табл. 9).

Таблица 7. Уровень адаптивности сортов алычи в условиях сухих субтропиков
Table 7. The level of adaptability of cherry plum varieties in dry subtropical conditions

Сорта алычи	До наступления кризисных явлений		В нынешних экономических условиях		Возможный уровень	
	нерегулярное орошение (условно орошаемая)	регулярное орошение (при технологическом оптимуме)	нерегулярное орошение (условно орошаемая)	нерегулярное орошение (условно орошаемая)	регулярное орошение (при технологическом оптимуме)	нерегулярное орошение (условно орошаемая)
Раджабли	0,61	0,63	0,52	0,57	0,82	0,86
Обильная	0,55	0,56	0,44	0,46	0,71	0,74
Пурпуровая	0,38	0,41	0,13	0,16	0,42	0,45
Десертная	0,34	0,37	0,27	0,29	0,47	0,52
Жемчужина	0,33	0,36	0,18	0,21	0,48	0,50
Спутница	0,38	0,41	0,25	0,28	0,57	0,60
Пионерка	0,47	0,51	0,37	0,40	0,68	0,71
Комета	0,26	0,30	0,17	0,20	0,47	0,50
В среднем по сортам	0,42	0,44	0,29	0,32	0,58	0,61

Таблица 8. Экономическая оценка сортов алычи за 2016...2025 годы
Table 8. Economic assessment of cherry plum varieties for 2016...2025

Сорта алычи	Средне годовая урожайность, т/га	Выручка от реализации, тыс. руб./тонн	Полная себестоимость, тыс. руб./га	Средняя цена реализации, тыс. руб./га	Прибыль, тыс. руб./га	Уровень рентабельности, %
Раджабли	28,0	1192,8	497,0	42,6	695,8	140,0
Обильная	24,2	955,9	415,6	39,5	540,3	130,0
Пурпуровая	16,9	567,8	334,0	33,6	233,8	70,0
Десертная	20,5	727,7	404,3	35,5	323,4	80,0
Жемчужина	21,5	808,4	404,2	37,6	404,2	100,0
Спутница	21,7	792,0	360,0	36,5	432,0	120,0
Пионерка	21,5	743,9	354,2	34,6	389,7	110,0
Комета	20,6	793,1	417,4	38,5	375,7	90,0

Реализация концепции адаптивного садоводства обеспечит повышение урожайности сортов алычи и, соответственно, рост валового сбора. Расчётная стоимость товарной продукции у исследуемых сортообразцов алычи колеблется в пределах от 3027 до 5824

тыс. руб., расчётная себестоимость товарной продукции у сортов алычи варьирует в пределах от 1210 до 2329 тыс. руб., а ожидаемый среднегодовой эффект достигнет соответствующих значений в пределах 2172...4178 тыс. руб. (табл. 10, 11).

Таблица 9. Экономическая оценка сортов сливы за 2016-2025 годы
Table 9. Economic assessment of plum varieties for 2016-2025

Сорта сливы	Среднегодовая урожайность, т/га	Выручка от реализации, тыс. руб./тонн	Полная себестоимость, тыс. руб./га	Средняя цена реализации, тыс. руб./га	Прибыль, тыс. руб./га	Уровень рентабельности, %
Кабардинская ранняя	15,9	596,2	259,2	37,5	337,0	130,0
Венгерка Белорусская	15,3	560,0	254,5	36,6	305,5	120,0
Венгерка Итальянская	13,1	466,3	245,4	35,6	220,9	90,0
Адмирал Нахимов	19,4	785,7	327,4	40,5	458,3	140,0
Стенлей	15,2	585,2	278,6	38,5	306,6	110,0
Президент	13,5	455,0	227,5	33,7	227,5	100,0
Анжелина	12,6	436,0	256,5	34,6	179,5	70,0
Золотая Капля	12,7	527,0	292,8	41,5	234,2	80,0

Таблица 10. Расчёт ежегодного экономического эффекта от реализации концепции адаптивного садоводства (в ценах 2025 г.)

Table 10. Calculation of the annual economic effect from the implementation of the adaptive gardening concept (prices of 2025)

Сорта алычи	Расчётная стоимость товарной продукции, тыс. руб.		Расчётная себестоимость, тыс. руб.		Среднегодовой ожидаемый эффект, тыс. руб.
	фактическая	ожидаемая	фактическая	ожидаемая	
Раджабли	1820	5824	1137	2329	4178
Обильная	1500	4800	937	1920	3443
Пурпуровая	946	3027	591	1210	2172
Десертная	1189	3804	743	1521	2729
Жемчужина	1290	4128	806	1651	2961
Спутница	1280	4096	800	1638	2938
Пионерка	1225	3920	765	1568	2812
Комета	1256	4019	785	1607	2883

Таблица 11. Расчёт ежегодного экономического эффекта от реализации концепции адаптивного садоводства (в ценах 2025 г.)

Table 11. Calculation of the annual economic effect from the implementation of the adaptive gardening concept (prices of 2025)

Сорта сливы	Расчётная стоимость товарной продукции, тыс. руб.		Расчётная себестоимость, тыс. руб.		Среднегодовой ожидаемый эффект, тыс. руб.
	фактическая	ожидаемая	фактическая	ожидаемая	
Кабардинская ранняя	954	3052	596	1220	2190
Венгерка Белорусская	902	2886	563	1154	2071
Венгерка Итальянская	760	2432	475	972	1745
Адмирал Нахимов	1222	3910	763	1564	2805
Стенлей	927	2966	579	1186	2128
Президент	756	2419	472	967	1736
Анжелика	718	2297	448	918	1649
Золотая Капля	812	2598	507	1039	1864

Выводы и предложения. На основании многолетних данных за 2016...2025 гг. и комплексного анализа установлены особенности адаптации алычи и сливы в сухих субтропиках. Анализ агроэкологических условий приморской низменности Южного Дагестана показал, что существующая система возделывания сортов алычи и сливы характеризуется недостаточной адаптивностью к микроклиматическим и почвенным особенностям отдельных микрозон и микрорайонов, что препятствует рациональному использованию имеющихся природных ресурсов. Показано, что с помощью коэффициента плодоношения сортов алычи рассчитана устойчивость продуктивности в каждый конкретный год за ряд лет, и проанализировано изменение его уровня в динамике: средняя продуктивность по всем сортам колеблется в пределах от 16,9 до 28,0 т/га, устойчивость продуктивности за 10 лет наблюдений – от 0,56 до 0,91.

Обоснованный подбор сортов требует комплексной оценки двух фундаментальных агрономических характеристик – многолетней урожайности, отражающей продуктивность сорта в долгосрочной перспективе, и коэффициента устойчивости плодоношения, характеризующего стабильную урожайность независимо от условий возделывания. По результатам проведённого анализа исследуемые сорта были дифференцированы на три отчётливые группы: сорта с высокой устойчивостью плодоношения, сорта с высокой урожайностью и сорта со средней устойчивостью плодоношения. Такая классификация позволяет целенаправленно подбирать сорта в зависимости от приоритетов селекции и агротехнологических задач.

Использование коэффициента устойчивости продуктивности для оценки стабильности плодоношения и дополнение к средней урожайности позволяет повысить эффективность выявления нестабильно плодоносящих сортов на 15%.

Наибольшей устойчивостью плодоношения сортов сливы обладали: Кабардин-

ская Ранняя (0,85), Венгерка Белорусская (0,85), Венгерка Итальянская (0,83), а у алычи Раджабли (0,91), Обильная (0,83), Пионерка (0,82).

Анализ сортового состава и устойчивости продуктивности культивируемых сортов выявил недостаточную стабильность плодоношения в различных агроклиматических зонах. Причина – низкая экологическая устойчивость и адаптивность сортов к биотическим и абиотическим стрессовым факторам. Это приводит к существенным потерям урожая и неэффективному использованию ресурсного потенциала агросистем.

В нынешних экономических условиях уровень адаптивности всех сортов алычи в среднем был 0,29, а у сортов сливы 0,24. До наступления кризисных явлений составляет 0,44 и 0,52 соответственно. Установлено, что максимальная адаптивность культур реализуется исключительно в рамках выделенных микрозон и при условии комплексного применения агротехнологий: компенсации дефицита влажности, сбалансированного минерального питания, учёта экологической пластичности сортов и контроля температурного режима в районах с критическими условиями возделывания.

На современном этапе развития агропромышленного комплекса особо остро встаёт проблема идентификации и внедрения генотипов сельскохозяйственных культур с повышенной адаптивной способностью. Приоритет следует отдавать сортам, демонстрирующим стабильную продуктивность в динамике вегетационных циклов при оптимизации ресурсозатрат, резистентность к лимитирующим факторам среды, включая низкотемпературные стрессы и патогенную нагрузку, а также совместимость с инновационными агротехнологическими решениями, обеспечивающими полную реализацию биологического потенциала культуры.

На основании результатов анализа адаптивности сортов сливы и алычи установлено статистически значимое снижение показателей их комплексной оценки в

условиях современной экономической конъюнктуры. Выявленная закономерность подтверждает гипотезу о доминирующем влиянии макроэкономических факторов и отраслевых кризисных явлений на рентабельность культивирования перечисленных косточковых культур.

Уровень комплексной оценки адаптивности сортов сливы при возможном технологическом оптимуме варьирует в пределах от 0,45...0,86.

Оценка экономической эффективности сортов сливы показала, что самым высоко-

рентабельным стал сорт Адмирал Нахимов (140%), а у алычи – Раджабли (140%).

Оценка экономической эффективности адаптивного садоводства выявила дифференцированный эффект по косточковым культурам. Наибольшая отдача прогнозируется для алычи (4178 тыс. руб./год), что на 48,4% превышает показатель для сливы (2805 тыс. руб./год). Совокупный среднегодовой эффект от культивирования обеих культур достигает 6983 тыс. руб., подчёркивая потенциал концепции для повышения рентабельности садоводства.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жученко А.А. Эколого-генетические основы адаптивного садоводства // Проблема продуктивности плодовых и ягодных культур // Доклады научно-производственного совещания (Москва, Загорье, 9-12 сент. 1996 г.). М., 1996. С. 3-62.
2. Каштанов А.Н. Концепция устойчивого земледелия России // Земледелие. 2000. № 3. С. 10-11.
3. Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пушкино, 1993. 65 с.
4. Кашин В.И. Устойчивость садоводства России: дис. ... на соиск. уч. ст. д-ра с.-х наук. Мичуринск, 1995. 102 с.
5. Григорьев А.В. Сравнительный анализ состояния и мировые тенденции выращивания сливы и алычи // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2022. Т. 142. С. 82-90. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-142-82-90. ISSN 0513-1634.
6. Ахмедов Ф.Б., Загиров Н.Г. Оптимизация размещения сортов плодовых культур и винограда в условиях сухих субтропиков Южного Дагестана: монография. М.: Перо, 2023. 304 с. ISBN: 978-5-00218-4781.
7. Ресурсный потенциал земель Северного Кавказа для плодового садоводства: монография / И.А. Драгавцева [и др.]. Краснодар; Махачкала, 2016. 136 с.
8. Разработка метода зонирования агротерриторий для эффективного использования биологических особенностей плодовых культур и ресурсов среды и производственном процессе / И.А. Драгавцева [и др.] // Научные труды СКЗНИИСиВ. 2016. Т. 9. С. 15-28.
9. Беседина Т.Д. Прогнозирование размещения персика на основе анализа агроэкологических ресурсов влажных субтропиков России и адаптивного потенциала его сортов // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. № 66. С. 126-134.
10. Беседина Т.Д., Смагин Н.Е., Тория Г.Б. Агроэкологическая карта размещения культуры персика (*Prunus persica*) во влажных субтропиках России // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 55. С. 78-85.
11. Сатибалов А.В. Влияние глобального потепления на региональный климат и его последствия для плодовых культур // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. Т. 69, № 3. С. 101-122.
12. Загиров Н.Г., Трунов Ю.В. Влияние атмосферных осадков и температурных условий на сахаристость плодов граната в сухих субтропиках // Субтропическое и декоративное садоводство. 2024. Т. 89. С. 22-42 DOI: 10.31360/2225-3068-2024-89-22-42.

13. Кашин В. И., Волков Ф.А., Гутиев Г.И. Устойчивость и периодичность плодоношения плодовых культур в зонах товарного производства // Плодоводство и ягодоводства России: сборник научных работ / ВСТИСП. М., 2000.С. 3-12.
14. Новые научные подходы к управлению продукционным процессом на примере сортов абрикоса в условиях сложного рельефа Кабардино-Балкарии / Драгавцева И.А. [и др.] // Бюллетень ГНБС. 2023. Вып. 148. С. 22-30. DOI: 10 25684/0513-1634-2023-148-22-30. ISSN: 0513-1634.
15. Рындин А.В., Загиров Н.Г. Биолого-экологическая оценка территории сухих субтропиков для адаптивного возделывания интродуцированных сортов граната // Обеспечение устойчивого сельскохозяйственного производства путем смягчения последствий и адаптация к глобальным климатическим изменениям: материалы Международной научно-практической конференции (17-18 сент. 2024 г.). Баку: GubaZardabi, 2024. С. 108-115.
16. Трунов Ю.В., Трунов А.Ю., Загиров Н.Г. Динамика урожайности яблони в интенсивных садах средней полосы России // Научное обеспечение устойчивого развития Черноморского региона: материалы Международной научной конференции (2-4 окт. 2024 г.). Сочи, 2024. С. 115-127. DOI: 10 31360/2225-3068-2024-90-115-127.
17. Хозяйственно-биологическая оценка дипломированных пород на техногенно-нарушенных землях Северного Кавказа / Алиев И.Н. [и др.] // Субтропическое и декоративное садоводство 2025. Т. 94. С. 30-46. DOI: 10.31360/2225-30-68-2025-94-30-45.
18. Трунов Ю.В. Эколого-генетические основы современных технологий возделывания яблони в России // Адаптивное кормопроизводство. 2017. № 1. С. 94-98.
19. Драгавцева И.А., Морами А.С., Загиров Н.Г. Закономерности и особенности онтогенетической адаптации культуры персика к изменению климатических условий Республики Дагестан // Научные труды СКЗНИИСиВ. Краснодар: ФГБНУ СКЗНИИСиВ. 2017. Т. 12. С. 104-112.
20. Адаптация культуры яблони к условиям выращивания на юге России // И.А. Драгавцев [и др.] // Садоводство и виноградарство. 2016. № 1. С. 34-38.
21. Волков Ф.А., Загиров Н.Г. Возможность прогноза уровня адаптивности плодовых культур в различных почвенно-климатических зонах // Садоводство: тематический научный сборник. Киев, 2000. Вып. 51. С. 25-27.
22. Загиров Н.Г. Оценка адаптивных возможностей сортов граната для пополнения коллекций в сухих субтропиках // Субтропическое и декоративное садоводство. 2023. № 87. С. 9-31. DOI: 10 31360/2225-3068-2023-87-9-31.
23. Загиров Н.Г., Ахмедов Ф.Б. Моделирование адаптивно-ландшафтного размещения плодово-ягодных культур в Дагестане: монография. М: Перо, 2024. 266 с. ISBN: 978-5-00244-868-5.
24. Загиров Н.Г., Буржалиева З.Н. Анализ и оценка экономической эффективности садоводства в Республике Дагестан на микроуровне // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. № 66. С. 168-178.
25. Загиров Н.Г. Экономическая эффективность сырьевых плодовых насаждений в сухих субтропиках Южного Дагестана // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции (26-27 окт. 2023 г.). Махачкала, 2023. С. 35-31. ISBN: 5- 2 30-129-46-8.
26. Загиров Н.Г. Современные задачи производства и переработки плодов в Республике Дагестан // Актуальные вопросы биологии, селекции и агротехники садовых культур: материалы Международной научно-практической конференции (31 окт. 2023 г.). М.: РГАУ-МСХ А им. К.А. Тимирязева, 2023. С. 200-205.
27. Загиров Н.Г. Эколого-экономическая оценка территории сухих субтропиков для возделывания сортов граната // Субтропическое и декоративное садоводство. 2023. Т. 85. С. 9-32.
28. Загиров Н.Г., Габиев Т.Г., Габиев Г.Т. Экономическая эффективность производства молочной восточной при проведении нормировки завязи // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (29-30 окт. 2024 г.). Махачкала: ДагГТУ, 2024. С. 205-210. ISBN 971-5-00212-613-2.
29. Загиров Н.Г., Ибрагимов Н.А., Ахмедов Ф.Б. Экономическая эффективность сортов сливы в условиях сухих субтропиков Южного Дагестана // Повышение качества и безопасности пищевых про-

дуктов материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (29-30 окт. 2025 г.). Махачкала: ДаГТУ, 2025. С. 141-145.

30. Кирюшин В.И. Методика разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур. М., 1995. 81 с.

31. Кашин В.И. Агроэкологическая комплексная оценка сортов // Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999. С. 122-126.

32. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Н.П. Седова, Г.Л. Огольцовой. Орел: ВПИИСПК, 1999. 608 с.

33. Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А. Методические подходы к биологизации интенсификационных процессов (на примере промышленного плодоводства) // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. Т. 71, № 5. С. 1-22.

34. Разработка алгоритма принятия решения при подборе сортов под конкретные почвенно-климатические условия / Ильина И.А. [и др.] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. Т. 74, № 2. С. 1-16.

35. Методические аспекты оценки адаптивного потенциала сортов яблони на юге России / А.В. Сатибалов [и др.] // Методическое обеспечение устойчивого развития современного плодоводства: материалы Международной научно-практической конференции. Т. 18. Самохваловичи: Институт плодоводства НАН Беларуси, 2006. С. 52-56.

REFERENCES

1. Zhuchenko A.A. Ecological and genetic foundations of adaptive horticulture // The problem of productivity of fruit and berry crops: // reports of the scientific and production meeting (Moscow, Zagorje, September 9-12, 1996). Moscow, 1996. P. 3-62. [In Russ.].

2. Kashtanov A.N. The concept of sustainable agriculture in Russia // Zemledelie. 2000. No. 3. P. 10-11. [In Russ.].

3. Kiryushin V.I. The concept of adaptive-landscape agriculture. Pushchino, 1993. 65 p. [In Russ.].

4. Kashin, V.I. Sustainability of horticulture in Russia: dis. ... for the degree of Dr Sci. (Agr.). Michurinsk, 1995. 102 p. [In Russ.].

5. Grigoriev, A.V. Comparative analysis of the state and global trends in plum and cherry plum cultivation // Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2022. Vol. 142. P. 82-90. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-142-82-90. ISSN 0513-1634. [In Russ.].

6. Akhmedov F.B., Zagirov N.G. Optimization of the placement of varieties of fruit crops and grapes in the dry subtropics of Southern Dagestan: a monograph. Moscow: Pero, 2023. 304 p. ISBN: 978-5-00218-4781. [In Russ.].

7. Resource potential of the lands of the North Caucasus for fruit growing: a monograph / I.A. Dragavtseva [et al.]. Krasnodar; Makhachkala, 2016. 136 p. [In Russ.].

8. Development of a method for zoning agro-territories for the efficient use of biological characteristics of fruit crops and environmental resources in the production process / I.A. Dragavtseva [et al.] // Scientific works of SKZNIISiV. 2016. Vol. 9. P. 15-28. [In Russ.].

9. Besedina T.D. Forecasting the placement of peaches based on the analysis of agro-ecological resources of the humid subtropics of Russia and the adaptive potential of its varieties // Subtropical and ornamental gardening. 2018. No. 66. P. 126-134. [In Russ.].

10. Besedina T.D., Smagin N.E., Toria G.B. Agro-ecological map of the placement of peach crops (*Prunus persica*) in the humid subtropics of Russia // Fruit and berry growing of Russia. 2018. Vol. 55. P. 78-85. [In Russ.].

11. Satibalov A.V. The impact of global warming on regional climate and its consequences for fruit crops // Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia. 2021. Vol. 69, No. 3. P. 101-122. [In Russ.].

12. Zagirov N.G., Trunov Yu.V. The effect of atmospheric precipitation and temperature conditions on the sugar content of pomegranate fruits in dry subtropics // Subtropical and Ornamental Gardening. 2024. Vol. 89. P. 22-42 DOI: 10.31360/2225-3068-2024-89-22-42. [In Russ.].

13. Kashin V.I., Volkov F.A., Gutiev G.I. Stability and periodicity of fruiting of fruit crops in commercial production zones // Fruit and Berry Growing in Russia: Collection of Scientific Papers / VSTISP. Moscow, 2000. P. 3-12. [In Russ.].
14. New scientific approaches to managing the production process using the example of apricot varieties in the complex relief of the Kabardino-Balkaria / Dragavtseva I.A. [et al.] // Bulletin of the State Scientific Botanical Garden. 2023. Iss. 148. P. 22-30. DOI: 10 25684/0513-1634-2023-148-22-30. ISSN: 0513-1634. [In Russ.].
15. Ryndin A.V., Zagirov N.G. Biological and ecological assessment of the territory of dry subtropics for adaptive cultivation of introduced pomegranate varieties // Ensuring sustainable agricultural production by mitigating the consequences and adapting to global climate change: proceedings of the International scientific and practical conference (September 17-18, 2024). Baku: GubaZardabi, 2024. P. 108-115. [In Russ.].
16. Trunov Yu.V., Trunov A.Yu., Zagirov N.G. Dynamics of apple yield in intensive orchards of central Russia // Scientific support for sustainable development of the Black Sea region: proceedings of the International scientific conference (October 2-4, 2024). Sochi, 2024. P. 115-127. DOI: 10 31360/2225-3068-2024-90-115-127. [In Russ.].
17. Economic and biological assessment of certified breeds on technogenically disturbed lands of the North Caucasus / Aliev I.N. [et al.] // Subtropical and ornamental gardening 2025. Vol. 94. P. 30-46. DOI: 10.31360/2225-30-68-2025-94-30-45. [In Russ.].
18. Trunov Yu.V. Ecological and genetic foundations of modern technologies of apple cultivation in Russia // Adaptive forage production. 2017. No. 1. P. 94-98. [In Russ.].
19. Dragavtseva I.A., MoramiA.S., Zagirov N.G. Patterns and features of ontogenetic adaptation of peach crop to changing climatic conditions of the Republic of Dagestan // Scientific works of SKZNIISiV. Krasnodar: FGBNU SKZNIIS i V. 2017. Vol. 12. P. 104-112. [In Russ.].
20. Adaptation of apple crops to growing conditions in the south of Russia // I.A. Dragavtsev [et al.] // Horticulture and viticulture. 2016. No. 1. P. 34-38. [In Russ.].
21. Volkov F.A., Zagirov N.G. Possibility of forecasting the level of adaptability of fruit crops in different soil and climatic zones // Horticulture: thematic scientific collection. Kyiv, 2000. Iss. 51. P. 25-27. [In Russ.].
22. Zagirov N.G. Evaluation of adaptive capabilities of pomegranate varieties for replenishing collections in the dry subtropics // Subtropical and ornamental horticulture. 2023. No. 87. P. 9-31. DOI: 10 31360/2225-3068-2023-87-9-31. [In Russ.].
23. Zagirov N.G., Akhmedov F.B. Modeling adaptive landscape placement of fruit and berry crops in Dagestan: a monograph. Moscow: Pero, 2024. 266 p. ISBN: 978-5-00244-868-5. [In Russ.].
24. Zagirov N.G., Burzhalieva Z.N. Analysis and assessment of the economic efficiency of horticulture in the Republic of Dagestan at the micro level // Subtropical and ornamental gardening. 2018. No. 66. P. 168-178. [In Russ.].
25. Zagirov N.G. Economic efficiency of raw fruit orchards in the dry subtropics of the Southern Dagestan // Improving the quality and safety of food products: proceedings of the XIII All-Russian scientific and practical conference (October 26-27, 2023). Makhachkala, 2023. P. 35-31. ISBN: 5- 2 30-129-46-8. [In Russ.].
26. Zagirov N.G. Modern tasks of fruit production and processing in the Republic of Dagestan // Current issues in Biology, Breeding and Agricultural technology of horticultural crops: proceedings of the International scientific and practical conference (October 31, 2023). Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural University named after K.A. Timiryazev, 2023. P. 200-205. [In Russ.].
27. Zagirov N.G. Ecological and economic assessment of the dry subtropical territory for growing pomegranate varieties // Subtropical and ornamental gardening. 2023. Vol. 85. P. 9-32. [In Russ.].
28. Zagirov N.G., Gabibov T.G., Gabibov G.T. Economic efficiency of producing oriental pomegranate during ovary standardization // Improving the quality of food safety: proceedings of the XIV All-Russian scientific and practical conference with international participation (October 29-30, 2024). Makhachkala: DagSTU, 2024. P. 205-210. ISBN 971-5-00212-613-2. [In Russ.].

29. Zagirov N.G., Ibragimov N.A., Akhmedov F.B. Economic efficiency of plum varieties in the dry subtropics of the Southern Dagestan // Improving the quality and safety of food products: proceedings of the XIV All-Russian scientific and practical conference with international participation (October 29-30, 2025). Makhachkala: DagSTU, 2025. P. 141-145. [In Russ.].
30. Kiryushin V.I. Methodology for developing adaptive-landscape farming systems and technologies for cultivating agricultural crops. Moscow, 1995. 81 p. [In Russ.].
31. Kashchin V.I. Agroecological integrated assessment of varieties // Program and methods for variety study of fruit, berry, and nut crops. Orel, 1999. P. 122-126. [In Russ.].
32. Program and methods for variety study of fruit, berry, and nut crops / edited by N.P. Sedov, G.L. Ogoltsova. Orel: VPIISP, 1999. 608 p. [In Russ.].
33. Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Kochyan G.A. Methodological approaches to the biologization of intensification processes (the case of industrial fruit growing) // Fruit growing and viticulture of the South of Russia. 2021. Vol. 71, No. 5. P. 1-22. [In Russ.].
34. Development of an algorithm for making decisions when selecting varieties for specific soil and climatic conditions / Ilyina I.A [et al.] // Fruit growing and viticulture of the South of Russia. 2022. Vol. 74, No. 2. P. 1-16. [In Russ.].
35. Methodological aspects of assessing the adaptive potential of apple varieties in the south of Russia / A.V. Satibalov [et al.] // Methodological support for sustainable development of modern fruit growing: materials of the International scientific and practical conference. Vol. 18. Samokhvalovich: Institute of Fruit Growing of the National Academy of Sciences of Belarus, 2006. P. 52-56. [In Russ.].

Информация об авторах / Information about the authors

Загиров Надир Гейбегулаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории интродукции и сортоизучения субтропических и южных плодовых культур, Субтропический научный центр Российской академии наук; 354002, Российская Федерация, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, <https://orcid.org/0009-0000-0544-1444>, e-mail: nadir_dag@mail.ru

Сатибалов Аслан Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом селекции и сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Шарданова, 23, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2500-613X>, e-mail: aslan-07@list.ru

Керимханова Ракужат Надировна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории интродукции и сортоизучения субтропических и южных плодовых культур, Субтропический научный центр Российской академии наук; 354002, Российская Федерация, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, e-mail: kerimhanova/rakuzhat@yandex.ru

Буттаева Зарена Михайловна, научный сотрудник отдела селекции и сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Шарданова, 23, <https://orcid.org/0000-0002-0917-1864>, e-mail: buttaevazarena@gmail.com

Nadir C. Zagirov, Dr Sci. (Agr.), Professor, Chief Researcher, Laboratory of Introduction and Varietal Study of Subtropical and Southern Fruit Crops, Subtropical Research Center of the Russian Academy of Sciences; 354002, the Russian Federation Sochi, 2/28 Yan Fabricius St., <https://orcid.org/0009-0000-0544-1444>, e-mail: nadir_dag@mail.ru

Aslan V. Satibalov, Dr Sci. (Agr.), Associate Professor, Head of the Department of Breeding and Variety Study of Fruit, Berry and Nut Crops, The North Caucasian Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture; 360004, the Russian Federation, Nalchik, 23 Shardanov St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2500-613X>, aslan07@list.ru

Rakuzhat N. Kerimkhanova, PhD (Agr.), Researcher, Laboratory of Introduction and Variety Study of Subtropical and Southern Fruit Crops, Subtropical Research Center of the Russian Academy of Sciences; 354002, the Russian Federation, Sochi, 2/28 Yan Fabritsius St., e-mail: kerimkhanova/rakuzhat@yandex.ru

Zarena M. Buttaeva, Researcher, Department of Breeding and Variety Study of Fruit, Berry, and Nut Crops, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Horticulture; 360004, the Russian Federation, Nalchik, 23 Shardanov St., <https://orcid.org/0000-0002-0917-1864>, e-mail: buttaevazarena@gmail.com

Заявленный вклад авторов

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Загиров Надир Гейбетулаевич – разработка методики исследования.

Сатибалов Аслан Владимирович – подбор литературных источников, оформление статьи по требованиям журнала.

Керимханова Ракужат Надировна – проведение эксперимента.

Буттаева Зарена Михайловна. – валидация данных.

Claimed contribution of the authors

All authors made an equal contribution to the preparation of this publication.

Nadir G. Zagirov – development of the research methodology.

Aslan V. Satibalov – selection of the literary sources and formatting the article in accordance with the Journal requirements.

Rakuzhat N. Kerimkhanova – conducting the experiment.

Zarena M. Buttaeva – validating the data.

Поступила в редакцию 23.06.2026

Поступила после рецензирования 03.08.2026

Принята к публикации 05.08.2026

Received 23.06.2026

Revised 03.08.2026

Accepted 05.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-137-148>

УДК [633.11 «324»:615] (470.65)



Применение биологических препаратов при возделывании озимой пшеницы в условиях Северной Осетии

А.А. Тедеева, Д.М. Мамиев, В.В. Тедеева✉

*Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»;
Российская Федерация, РСО-Алания,
✉vikkimarik@bk.ru*

Аннотация. Введение. В современных агротехнических приемах при возделывании сельскохозяйственных культур для нормального роста и развития растений применение биопрепаратов нового поколения стала необходимым направлением. Исследования проводили с целью выявления действия биологических препаратов на посевах озимой пшеницы для получения устойчивых урожаев высококачественной продукции зерна. **Объект и методы исследования.** Работа выполнялась в 2023-2025 гг. в степной зоне Республики Северная Осетия-Алания на каштановых почвах. Агрохимические показатели почвы: содержание гумуса (по Тюрину) – 3,0-3,5%, легкогидролизуемого азота 60-68 мг/кг почвы, pH 7,5-7,8, содержание подвижного фосфора – 15-17 мг/кг (по Мачигину), обменного калия – 201-282 мг/кг почвы. В ходе экспериментальных работ проводили учеты, наблюдения и анализы по общепринятым методам, описанным в «Учебно-методическом руководстве по проведению исследований в агрономии». **Результаты и обсуждение.** Выявлено, что Биопрепарат АгроМинерал – 2 л/га обеспечил фотосинтетический потенциал по сортам – 2,56-2,59 млн. м²/га × дни соответственно. В среднем за вегетацию показатели ЧПФ по опыту варьировали в пределах от 4,38-4,72 г/м² сутки по сорту Федор, и 4,42-4,78 г/м² сутки по сорту Бумба. Количество сухого вещества накапливалось – от 4,92 до 5,64 т/га по вариантам опыта сорта Федор, от 4,97 до 5,570 т/га сорта Бумба, а наибольшее его количество – 4,72-4,78 т/га формировалось по сортам на варианте применения препарата Биостим Зерновой – 1,5 л/га + АгроМинерал – 1,5 л/га. **Заключение.** Установлено, что урожайность озимой пшеницы на контроле составила – 4,23-4,29 т/га. Биопрепараты повышали продуктивность зерна на 11,1...38,1 % по сорту Федор, и на 12,8-41,3 % по сорту Бумба. Прибавка урожая составила – 0,47-1,61 т/га, и 0,55-1,77 т/га соответственно.

Ключевые слова: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорта, степная зона, биопрепарат, фотосинтетическая деятельность, агротехнические мероприятия, фаза кущения, фаза выхода в трубку, структура урожая, урожайность, качество зерна, экономическая эффективность

Для цитирования: Тедеева А.А., Мамиев Д.М., Тедеева В.В. Применение биологических препаратов при возделывании озимой пшеницы в условиях Северной Осетии. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3):137-148. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-137-148>

Application of biological preparations in the cultivation of winter wheat in the North Ossetia

A.A. Tedeeva, D.M. Mamiev, V.V. Tedeeva✉

*The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
the Russian Federation, the Republic of North Ossetia-Alania,
✉vikkimarik@bk.ru*

Abstract. Introduction. In modern agricultural practices, the use of new-generation biopreparations for normal plant growth and development has become essential. The research was conducted to determine the effect of biopreparations on winter wheat crops to achieve stable yields of high-quality grain. **The object and methods.** The research was conducted from 2023 to 2025 in the steppe zone of the Republic of North Ossetia-Alania on chestnut soils. Agrochemical parameters of the soil: humus content (according to Tyurin) – 3.0-3.5%, easily hydrolyzable nitrogen 60-68 mg/kg of soil, pH 7.5-7.8, mobile phosphorus content – 15-17 mg/kg (according to Machigin), exchangeable potassium – 201-282 mg/kg of soil. During the experiment, records, observations and analyses were carried out according to the generally accepted methods described in the “Educational and Methodological Guide for Conducting Research in Agronomy”. **The results and discussion.** It was revealed that the AgroMineral biopreparation in the amount of 2 l/ha provided the photosynthetic potential for varieties of 2.56-2.59 million m² /ha × days, respectively. On average, during the growing season, the NPF indicators in the experiment varied within the range of 4.38-4.72 g / m² per day for the Fedor variety, and 4.42-4.78 g / m² per day for the Bumba variety. The amount of dry matter accumulated from 4.92 to 5.64 t / ha for the Fedor variety experimental variants, from 4.97 to 5.570 t / ha for the Bumba variety, and its greatest amount – 4.72-4.78 t / ha was formed for the varieties using the Biostim Grain in the amount of 1.5 l / ha + AgroMineral in the amount of 1.5 l / ha. **Conclusion.** It was established that the yield of winter wheat in the control group was 4.23-4.29 t / ha. Biological products increased grain productivity by 11.1-38.1% for the Fedor variety and by 12.8-41.3% for the Bumba variety. Yield increases amounted to 0.47-1.61 t/ha and 0.55-1.77 t/ha, respectively.

Keywords: winter wheat (*Triticum aestivum* L.), varieties, steppe zone, biological product, photosynthetic activity, agronomic measures, tillering stage, booting stage, crop structure, yield, grain quality, economic efficiency

For citation: Tedeeva A.A., Mamiev D.M., Tedeeva V.V. Application of biological preparations in the cultivation of winter wheat in the North Ossetia. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):137-148. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-137-148>

Введение. В настоящее время основной задачей и средством обеспечения стабильного развития сельскохозяйственного производства является целесообразное использование земельных ресурсов, сохранение и улучшение плодородия почв [1]. Товаро-сельхозпроизводители при возделывании сельскохозяйственных культур не соблюдают севооборот (из-за отсутствия животноводства в республике), идет нарушение методов ведения земледелия и растениеводства, недостаток почвы элементами питания, пестицидная нагрузка приводят к истощению земель и в конечном результате

к недобору получаемой сельскохозяйственной продукции [2-3].

Для решения этих задач фундаментальной должна стать биологизация сельскохозяйственного производства, которая включает использование нетрадиционных методов органического вещества, совершенствование, регулирование минерального питания [4-5]. В современных агротехнических приемах при возделывании сельскохозяйственных культур для нормального роста и развития растений применение биопрепаратов нового поколения стала необходимым направлением [6-7].

Биопрепараты и регуляторы роста приобретают все большее распространение в сельскохозяйственном производстве, так как они повышают устойчивость растений к негативным условиям внешней среды, оказывают влияние на рост, развитие, физиологические и биохимические процессы в растениях, повышают продуктивность сельскохозяйственных растений и качественные показатели зерна [8-9]. Использование биопрепаратов (регуляторов роста, биомелиорантов, биофунгицидов) рассматривается как экологически чистый способ получения качественной продукции. Применение биопрепаратов выгодно с экономической точки зрения [10].

Применение биопрепаратов, оценка и их подбор для каждой сельскохозяйственной культуры позволит повысить плодородие почв, улучшить продуктивность и качество получаемой продукции, сохранить экологию окружающей среды [11-12].

В связи с вышесказанным, разработка способов и приемов применения биологических факторов в севообороте является актуальной задачей современного ведения сельского хозяйства.

Цель исследования – выявить действие биологических препаратов на посевах озимой пшеницы для получения устойчивых урожаев высококачественной продукции зерна на каштановых почвах степной зоны РСО-Алания.

Задачи исследований – изучить действие биостимулятора роста «Биостим Зерновой» и микроудобрения «АгроМинерал» на основные показатели фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы, на урожай и качество зерна и дать экономическую оценку эффективности биологическим препаратам.

Объекты и методы исследования. Работу выполняли в 2023-2025 гг. в СКНИИ-ГПСХ ВНИЦ РАН, в отделе адаптивно-ландшафтного земледелия. Объект исследования – районированные сорта озимой пшеницы, биостимулятор роста Биостим Зерновой и микроудобрение АгроМинерал.

В степной зоне РСО-Алания проведены исследования в НПО «Октябрьское», на опытных участках, принадлежащих Владикавказскому научному центру РАН, где климат – континентальный, осадков за год наблюдается 265-345 мм. Среднесуточная температура воздуха выше 10°C составляет 3500°C. Безморозный период длится 185-205 суток.

В степной зоне преобладают каштановые почвы, где содержание гумуса (по Тюрину) составляет – 3,0-3,5%, реакция почвенной среды слабо щелочная (pH = 7,5-7,8). Количество легкогидролизуемого азота 60-68 мг/кг почвы – среднее, фосфором каштановые почвы низко обеспечены – 15-17 мг/кг почвы, содержание обменного калия, наоборот, высокое – 201-282 мг/кг почвы (по Чирикову). Равновесная объемная масса пахотного горизонта колеблется в пределах 1,33-1,37 г/см³. Природные ресурсы данной зоны наиболее благоприятны для возделывания всех озимых зерновых культур.

Для выполнения исследований были выбраны районированные сорта озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Федор и Бумба – оригинатор ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко», г. Краснодар. Озимая пшеница сорт Федор – новинка 2022 года. Этот сорт мягкой пшеницы лютеценс сочетает высокую урожайность (до 104,7 ц/га) с отличными хлебопекарными качествами, устойчив к морозам, засухе и болезням. Сорт официально допущен к использованию в двух регионах: Центрально-Черноземном и Северо-Кавказском.

Сорт Бумба был выведен в 2017 году. Пшеница относится к мягким озимым сортам, назначение сорта – сильная пшеница с отличными хлебопекарными качествами. Отличается высокой урожайностью, средняя урожайность составляет 80,3 ц/га. Сорт обладает высокой засухоустойчивостью и устойчивостью к полеганию. Пшеница Бумба рекомендована для посева в Северо-Кавказском регионе.

Сорта обладают повышенной морозостойкостью и засухоустойчивостью, что

делает их надёжным выбором для регионов с нестабильными погодными условиями. Особенно это ценно для Северо-Кавказского региона, где зимой возможны резкие перепады температур, а весной — возвратные заморозки.

Из препаратов применяли биостимулятор роста «Биостим Зерновой», производитель АО «Щелково Агрохим» и микроудобрение «АгроМинерал», производитель ООО ТД «Кирово-Чепецкая Химическая Компания».

Схема опыта:

1. Без обработки (контроль);
2. Биостим Зерновой – 2,0 л/га, (в фазе кушения – выхода в трубку);
3. АгроМинерал – 2,0 л/га, (в фазе кушения – выхода в трубку);
4. Биостим Зерновой – 1 л/га + АгроМинерал – 1 л/га, (в фазе кушения – выхода в трубку);
5. Биостим Зерновой – 1,5 л/га + АгроМинерал – 1,5 л/га, (в фазе кушения – выхода в трубку).

Варианты опыта располагали в 3-х кратной повторности. Общая площадь опыта составляла 1 га, площадь одной деланки – 666 м², учетная площадь – 650,8 м².

Агротехнические мероприятия возделывания озимой пшеницы соответствовали принятой для степной зоны республики. Озимую пшеницу высевали по предшественнику картофель. Перед посевом семенной материал обрабатывали трёхкомпонентным фунгицидом с выраженным физиологическим эффектом, для защиты семян озимой пшеницы от комплекса патогенов – Максим Форте, КС – 1,5 л/т зерна, обладает стимулирующим действием на растения – это и увеличение толщины проростков при прорастании семян, и увеличение длины и массы корневой системы, что очень важно при преодолении стрессов, таких как засуха, пониженные температуры, различные заболевания.

Посев пшеницы в 2023-2024 гг. осуществляли зерновой сеялкой СЗТ – 3,6 в начале октября, из-за нехватки влаги в

почве посев озимой пшеницы в 2025 году провели в конце октября. За изучаемые годы норма высева семян насчитывала 5 млн. всхожих семян/га. Внекорневую обработку посевов препаратами проводили в фазе кушения – выхода в трубку опрыскивающей техникой (ОП-2000), обеспечивающей распыление рабочего раствора препарата в количестве 200-300 л/га. Препараты совместимы с гербицидами, микроэлементами и химическими удобрениями. Уборку урожая осуществляли комбайном ACROS 530.

В ходе экспериментальных работ проводили учеты, наблюдения и анализы по общепринятым методам, описанным в «Учебно-методическом руководстве по проведению исследований в агрономии» [13].

Экономическую эффективность возделывания рассчитывали на основании технологических карт и в соответствии с методическими рекомендациями по расчету экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Статистическая обработка полученных данных проводилась методом дисперсионного анализа с расчетом t-критерия Стьюдента и наименьшей существенной разницы (НСР₀₅) с использованием программного пакета Microsoft Office.

Результаты исследования и их обсуждение. Исследования показали, что изучение биологических препаратов на сортах озимой пшеницы в условиях степной зоны дает возможность полнее оценить свойства отдельных сортов, их особенности и требования к условиям выращивания, получения повышенного урожая с высокими качественными показателями зерна.

Исследования показали, что применение биопрепаратов в период вегетации растений благоприятно влияли на процесс формирования листовой поверхности озимой пшеницы (табл.1).

Максимальную листовую поверхность 46,5-46,9 тыс. м²/га (на 15,2...15,4 % больше контроля) обеспечил вариант совместного применения аминокислотного

удобрения Биостим Зерновой и биостимулятор АгроМинерал с дозой использования по – 1,5 л/га. Другие варианты опыта имели несколько меньшую площадь листьев: по сорту Федор – 44,3-45,7 тыс. м²/га, по сорту Бумба – 44,7-45,9 тыс. м²/га.

По сорту озимой пшеницы Федор ФП на изучаемых вариантах колебался от 2,56-2,75 млн. м²/га×дн., по сорту Бумба от 2,59-2,86 млн. м²/га×дн. Наибольшими показателями фотосинтетического потенциала (2,75-2,86 млн. м²/га×дн.) характеризовался вариант с применением Биостим Зерновой – 1,5 л/га+АгроМинералом – 1,5 л/га. ФП изменялся как под влиянием биопрепаратов (доля их влияния 30,2-32,6 %), так и в зависимости от сортовых особенностей культуры (15,9-18,8 %).

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) сортов озимой пшеницы по вариантам варьировала в пределах 4,38-4,72 г/м²×сутки по сорту Федор, и 4,42-4,78 г/м²×сутки по сорту Бумба. Высокий показатель ЧПФ (4,72-4,78 г/м²×сутки) отмечен в варианте комплексного использования препаратов.

От чистой продуктивности фотосинтеза зависит прирост листовой поверхности и накопление сухого вещества [14]. Данные по накоплению сухого вещества показы-

вают, что варианты с применением аминокислотного удобрения и биостимулятора роста превосходили растения контрольных вариантов. Сухая биомасса растений контрольного варианта по сортам составляла 4,19-4,25 т/га, тогда как применяемые биопрепараты повышали этот показатель до 4,92-5,70 т/га или на 17,4-34,1 %. Улучшенное условие питания растений озимой пшеницы повышало накопление сухого вещества растениями, но были различия по вариантам опыта.

Элементы структуры урожая озимой пшеницы в зависимости от применяемых биологических препаратов представлены в таблице 2.

Анализ данных таблице 2 показывает, что применяемые биопрепараты оказывали положительное влияние на растения озимой пшеницы, повышая общее число стеблей. При подсчете побегов высокая кустистость (481 шт/м² по сорту Федор и 485 шт/м² по сорту Бумба) наблюдалась при использовании аминокислотного удобрения Биостим Зерновой – 1,5 л/га + биостимулятор АгроМинерал – 1,5 л/га, что на 7,8-8,3% больше контрольного варианта. Обработка растений Биостимом Зерновым – 2 л/га увеличивала число стеблей на 2,7%, а препаратом АгроМинерал – 2 л/га на 1,8%.

Таблица 1. Фотосинтетический потенциал (ФП) озимой пшеницы в зависимости от применения биопрепаратов (средний за 2023-2025 гг.)

Table 1. Photosynthetic potential (PP) of winter wheat depending on the use of biopreparations (average for 2023-2025)

Варианты опыта	Площадь листьев, тыс. м ² /га	ФП, млн. м ² /га х дни	ЧФП, г/м ² ×сутки	Сухая биомасса, т/га
Федор				
1. Контроль (без биопрепаратов)	40,3	2,04	3,41	4,19
2. Биостим Зерновой – 2л/га	45,2	2,71	4,53	5,21
3. АгроМинерал – 2 л/га	44,3	2,56	4,38	4,92
4. Биостим Зерновой – 1л/га +АгроМинерал-1л/га	45,7	2,68	4,69	5,17
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМинерал – 1,5л/га	46,5	2,75	4,72	5,64
НСР ₀₅	0,78	0,55	0,90	0,10
Бумба				
1. Контроль (без биопрепаратов)	40,7	2,07	3,45	4,25
2. Биостим Зерновой – 2л/га	45,8	2,80	4,61	5,35
3. АгроМинерал – 2 л/га	44,7	2,59	4,42	4,97
4. Биостим Зерновой – 1л/га +АгроМинерал – 1л/га	45,9	2,71	4,71	5,29
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМинерал – 1,5л/га	46,9	2,86	4,78	5,70
НСР ₀₅	0,89	0,77	0,88	0,09

Таблица 2. Структура урожая сортов озимой пшеницы в зависимости от биологических препаратов (средняя за 2023-2025 гг.)

Table 2. The structure of winter wheat varieties yields depending on biological preparations (average for 2023-2025)

Варианты опыта	Общее число стеблей, шт./м ²	Продуктивная кустистость, шт./растение	Масса зерна одного колоса, г	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Федор					
1. Контроль (без биопрепаратов)	436	1,2	0,97	41	40,2
2. Биостим Зерновой – 2л/га	458	1,5	1,07	44	41,4
3. АгроМинерал – 2 л/га	453	1,3	1,06	43	40,6
4. Биостим Зерновой – 1л/га + АгроМинерал-1л/га	473	1,7	1,12	46	41,5
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМинерал – 1,5л/га	481	1,9	1,23	49	42,7
НСР ₀₅	9,2	0,03	0,02	0,89	0,82
Бумба					
1. Контроль (без биопрепаратов)	438	1,3	0,98	42	40,4
2. Биостим Зерновой – 2л/га	466	1,6	1,07	45	41,9
3. АгроМинерал – 2 л/га	457	1,5	1,06	44	40,9
4. Биостим Зерновой – 1л/га + АгроМинерал-1л/га	478	1,8	1,14	49	42,3
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМинерал – 1,5л/га	485	2,2	1,25	56	43,6
НСР ₀₅	8,9	0,04	0,02	0,94	0,83

Продуктивная кустистость, как элемент структуры урожая, играет важную роль в его формировании [15-16]. В опытах наиболее высокая продуктивная кустистость – 1,9-2,2 шт./растение выявлена на варианте комплексного применения препарата Биостим Зерновой – 1,5 л/га + АгроМинерал – 1,5 л/га.

Продуктивная кустистость пшеницы по вариантам опыта находилась в пределах 1,3-1,9 шт./растение по сорту Федор, и 1,5-2,2 шт./растение по сорту Бумба. Масса зерна одного колоса контрольного варианта по сортам составила 0,97-0,98 г, тогда как комплексное применение Биостима Зернового и АгроМинерала в дозе 1,5 л/га повысило этот показатель до 1,23-1,25 г. Влияние биопрепаратов способствовало увеличению количества зерен в колосе на 2-14 штук. Масса 1000 зерен в среднем по сорту Федор составила 41,28 г., вариабельность данного показателя – 8,256 г, по сорту Бумба – 41,82-8,364 г. Все варианты опыта превысили контроль по данному показателю. Интенсивное повышение веса 1000 зерен (42,7-43,6 г) обеспечивал вариант комплексного применения аминокислотного удобрения и биостимулятора (по 1,5 л/га).

Опрыскивание посевов биопрепаратами с разными дозами оказывало неодинаковое влияние на урожайность зерна озимой пшеницы (табл.3).

Данные таблицы 3 показывают, что применяемые в опыте биопрепараты повышали урожайность озимой пшеницы до 4,70-6,06 т/га, тогда как на контроле этот показатель составлял 4,23-4,29 т/га. Семенная продуктивность сорта Бумба в среднем по опыту составила 5,13 т/га. Максимальные показатели по урожайности зерна по обоим изучаемым сортам (5,92-6,06 т/га) были достигнуты на варианте применения аминокислотного удобрения Биостим Зерновой комплексно с биостимулятором АгроМинерал по 1,5 л/га, что выше контроля на 1,61-1,77 т/га.

Многочисленными исследованиями установлено, что правильное применение биологических препаратов изменяет не только общую массу урожая, но и его качество. Важными показателями качества зерна озимой пшеницы являются содержание белка, натура зерна, стекловидность, которые существенно повышались под действием биопрепаратов [17-18].

Таблица 3. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы (среднее за 2023-2025 гг.)

Table 3. The impact of biopreparations on the productivity and quality of winter wheat grain (average for 2023-2025)

Варианты опыта	Уро- жай- ность, т/га	При- бавка, т/га	Натура зерна, г/л.	Содержание, %			Уро- вень рента- бельно- сти, %
				Проте- ина	Крах- мал	Клей- ковины	
Федор							
1. Контроль (без биопрепаратов)	4,23	-	768	14,1	48	27,9	93,0
2. Биостим Зерновой – 2л/га	4,90	0,67	787	15,5	65	30,1	117,0
3. АгроМинерал – 2 л/га	4,70	0,47	779	14,8	56	29,2	112,2
4. Биостим Зерновой – 1л/га + АгроМи- нерал-1л/га	5,30	1,07	790	15,9	60	30,8	131,2
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМи- нерал – 1,5л/га	5,84	1,61	796	16,4	67	31,7	154,5
НСР ₀₅	0,37		10,1	0,31	1,1	1,7	
Бумба							
1. Контроль (без биопрепаратов)	4,29	-	769	14,2	49	28,0	95,5
2. Биостим Зерновой – 2л/га	4,99	0,70	789	15,7	65	30,5	120,9
3. АгроМинерал – 2 л/га	4,84	0,55	782	15,0	58	29,8	113,9
4. Биостим Зерновой – 1л/га + АгроМи- нерал-1л/га	5,45	1,16	793	16,1	64	31,6	137,1
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМи- нерал – 1,5л/га	6,06	1,77	799	16,6	71	32,3	160,7
НСР ₀₅	0,49		9,5	0,30	1,2	1,6	

Содержание сырого протеина на контроле составило 14,1-14,2%, а на изучаемых вариантах было в пределах 14,8-16,6%. Вариант применения АгроМинерал – 2л/га по обоим сортам обеспечил средние показатели содержания сырого протеина в зерне – 14,8-15,0%. Высокий показатель протеина (16,4-16,6%) обеспечил вариант комплексного применения Биостим Зерновой + АгроМинерал. Кроме того повышался и диапазон содержания клейковины по вариантам опыта на 1,3-4,3%, натуры зерна на 11-30 г/л. Высокий процент стекловидности зерна (65 %) по сорту Федор наблюдался на варианте применения Биостим Зерновой – 2 л/га, и комплексного применения Биостим Зерновой+АгроМинерал – 1,5 л/га (67%), по сорту Бумба – 69% и 71%, соответственно.

При возделывании любой сельскохозяйственной культуры главной задачей является обеспечение максимального выхода продукции с минимальными затратами [19-20].

Как показывают данные таблице 4, себестоимость зерна 1т. на контрольных

вариантах составила 8,17-8,29 руб., а обработка растений озимой пшеницы по вегетации препаратами Биостим Зерновой и АгроМинерал приводила к снижению себестоимости продукции с 7,54 до 6,29 рублей по сорту Федор, и с 7,48 до 6,14 рублей по сорту Бумба.

Условно чистый доход при возделывании сортов озимой пшеницы был наивысшим – 57,5-59,8 тыс. руб. вариант комплексного применения Биостим Зерновой – 1,5 л/га + АгроМинерал – 1,5 л/га, при уровне рентабельности 154,5-160,7%.

Таким образом, сорта Федор и Бумба в условиях предгорной зоны республики дают хорошие урожаи зерна, из вариантов дает лучший экономический эффект и перспективен Биостим Зерновой и АгроМинерал комплексного применения по 1,5 л/га.

Заключение. Применяемые биологические препараты на посевах озимой пшеницы в условиях степной зоны РСО-Алания положительно влияли на рост, развитие, урожайность и качество зерна.

Таблица 4. Экономическая Эффективность возделывание озимой пшеницы в зависимости от биопрепаратов (среднее за 2023-2025 гг.)

Table 4. Economic efficiency of winter wheat cultivation depending on biopreparations (average for 2023-2025)

Варианты опыта	Урожай зерна, т/га	Стоимость затрат на 1 га тыс./руб.	Себестоимость 1т, руб.	Стоимость в ценах реализации, тыс./руб.	Себестоимость реализованной продукции, тыс./руб.	Чистый доход с 1га, тыс./руб.	Уровень рентабельности, %
Федор							
1. Контроль (без биопрепаратов)	4,23	35,07	8,29	67,7	35,07	32,6	93,0
2. Биостим Зерновой – 2л/га	4,90	36,15	7,38	78,4	36,15	42,3	117,0
3. АгроМинерал – 2 л/га	4,80	36,18	7,54	76,8	36,18	40,6	112,2
4. Биостим Зерновой – 1л/га +АгроМинерал-1л/га	5,30	36,66	6,92	84,8	36,66	48,1	131,2
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМинерал – 1,5л/га	5,92	37,21	6,29	94,7	37,21	57,5	154,5
Бумба							
1. Контроль (без биопрепаратов)	4,29	35,07	8,17	68,6	35,07	33,5	95,5
2. Биостим Зерновой – 2л/га	4,99	36,15	7,24	79,8	36,15	43,7	120,9
3. АгроМинерал – 2 л/га	4,84	36,18	7,48	77,4	36,18	41,2	113,9
4. Биостим Зерновой – 1л/га +АгроМинерал-1л/га	5,45	36,66	6,73	87,2	36,66	50,5	137,1
5. Биостим Зерновой – 1,5л/га + АгроМинерал – 1,5л/га	6,06	37,21	6,14	97,0	37,21	59,8	160,7

Высокий суммарный фотосинтетический потенциал – 2,75-2,85 млн. м² /га × дни – отмечен на вариантах опыта при комплексной обработке биопрепаратами с дозой по 1,5 л/га, а обработка Биостим Зерновой – 2 л/га; фотосинтетический потенциал был несколько ниже и составил 2,71 млн. м² /га × дни по сорту Федор, и 2,80 млн. м² /га × дни по сорту Бумба.

В среднем за вегетацию показатели ЧПФ по опыту варьировали в пределах от 4,38-4,72 г/м² сутки по сорту Федор, и 4,42-4,78 г/м² сутки по сорту Бумба.

Урожайность озимой пшеницы на контроле составила 4,23-4,29 т/га. Биопрепараты повышали продуктивность зерна на 11,1-38,1% по сорту Федор, и на 12,8-41,3% по сорту Бумба. Прибавка урожая соста-

вила – 0,47-1,61 т/га и 0,55-1,77 т/га соответственно.

Содержание протеина увеличивалось по сорту Федор на 0,7-2,3%, по сорту Бумба на 0,8-2,4%. Содержание клейковины возросло по сортам на 1,3-3,8%; и на 1,3-4,3% увеличилась и натура зерна на 11-28 г/л; и на 13-30 г/л., стекловидность зерна – 8-19% и 9-22%.

Условно чистый доход был наивысшим на варианте комплексного применения биопрепарата Биостим Зерновой – 1,5 л/га + АгроМинерал – 1,5 л/га по сорту Федор и составил 57,5 тыс. руб., что на 24,9 тыс. руб., и по сорту Бумба – 59,8 тыс. руб., что на 26,3 тыс. руб. больше контроля. Рентабельность обоих сортов составила 154,5-160,7%.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тедеева А.А., Тедеева В.В. Применение регулятора роста «Эдагум СМ» на посевах озимой пшеницы в РСО-Алания // Аграрный вестник Урала. 2022. № 4 (219). С. 26-36. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-219-04-26-36>.
2. Волкова Г.В., Яхник Я.В., Гончаров А.А. Эффективность фунгицидов для защиты озимой пшеницы от фузариоза колоса // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 10. С. 28-33. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_10_28.
3. Халилов М.Б., Маликова Н.М., Алигазиева П.А. Эффективность стимуляторов роста при возделывании озимой пшеницы // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 1 (49). С. 58-63. https://doi.org/10.52671/20790996_2022_1_58.
4. Мониторинг влияния систем питания озимой пшеницы и кукурузы на урожайность и качество зерна / А.Н. Есаулко [и др.] // Плодородие. 2025. № 6 (147). С. 23-28. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.04>.
5. Даваев А.В., Гольдварг Б.А. Влияние регуляторов роста на рост и развитие озимой пшеницы в Центральной зоне Республики Калмыкия // Плодородие. 2025. № 6 (147). С. 51-54. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.10>.
6. Влияние азота на фотосинтетическую деятельность и качество зерна озимой пшеницы на выщелоченном черноземе / Е.В. Письменная [и др.] // Аграрный научный журнал. 2025. № 2. С. 46-51. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp46-51>.
7. Эффективность применения азотных удобрений и биопрепаратов на яровой пшенице / А.А. Алферов [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 5. С. 35-38. <https://doi.org/10.31857/S2500262723050071>.
8. Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на содержание макроэлементов в растениях / Дубовик Д.В. [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2025. № 1. С. 9-13. <https://doi.org/10.31857/S2500262725010024>.
9. Extraction of chlorophyll concentration maps from AOTF hyperspectral imagery / A. Zolotukhina [et al.] // Frontiers in Environmental Science. 2023. Vol. 11. P. 1152450. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1152450>.
10. Алферов А.А., Чернова Л.С., Кожемяков А.П. Эффективность применения биопрепарата на яровой пшенице в Европейской части России на разных фонах минерального питания // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 6. С. 17-21. <https://elibrary.ru/zxlbch>.
11. Использование яровой пшеницей азота удобрений при инокуляции семян биопрепаратами / А.А. Завалин [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 6. С. 9-13. <https://doi.org/10.31857/S2500262722060023>.
12. Ивенин А.В., Богомолова Ю.А., Саков А.П. Экономическая эффективность выращивания зерновых культур в зависимости от систем обработки почвы и применения удобрений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 1 (61). С. 2227. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-22-27>.
13. Адиньяев Э.Д., Абаев А.А., Адаев Н.Л. Учебно-методическое руководство по проведению исследований в агрономии. Грозный: Чеченский государственный университет, 2020. 344 с. <https://elibrary.ru/qlcwet>.
14. Бильдиева Е.А., Ерошенко Ф.В., Дридигер В.К. Фотосинтез и азотное питание озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 44-49. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_44.
15. Применение хелатов микроэлементов в технологии возделывания яровой пшеницы / Н.В. Войтович [и др.] // Земледелие. 2019. № 6. С. 25-27. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10606>.
16. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia / O.Yu. Kremneva [et al.] // Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. Vol. 28, No. 3. P. 1787-1794. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.021>.
17. Урожайность сортов пшеницы озимой при различных приемах обработки почвы в условиях центральной зоны Краснодарского края / Н.Н. Нецадим [и др.] // Новые технологии. 2025. Т. 21, № 4. С. 183-193. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-183-193>.

18. Продуктивность и технологические качества зерна озимой пшеницы сорта Гром в зависимости от применения регуляторов роста растений и азотных подкормок / А.А. Макаров [и др.] // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 4. С. 111-125. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-4-111-125>.
19. Экономическая эффективность и биоэнергетическая оценка длительного применения удобрений в севообороте / А.А. Квашин [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 68. С. 76-85. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-68-76-85>.
20. Урожайность сортов озимой пшеницы при различных агротехнологиях в центральной зоне Кубани / Н.Н. Нецадим [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 96. С. 173-180. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-96-173-180>.

REFERENCES

1. Tedeeva A.A., Tedeeva V.V. Application of the growth regulator «Edagum SM» on winter wheat crops in the Republic of North Ossetia-Alania // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 4 (219). P. 26-36. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-219-04-26-36>. [In Russ.].
2. Volkova G.V., Yakhnik Ya.V., Goncharov A.A. Efficiency of fungicides for protecting winter wheat from fusarium head blight // Achievements of science and technology of the Agro-industrial complex. 2023. Vol. 37, No. 10. P. 28-33. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-219-04-26-36>. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_10_28. [In Russ.].
3. Khalilov M.B., Malikova N.M., Aligazieva P.A. Efficiency of growth stimulants in winter wheat cultivation // Problems of regional agro-industrial complex development. 2022. No. 1 (49). P. 58-63. https://doi.org/10.52671/20790996_2022_1_58. [In Russ.].
4. Monitoring the effect of winter wheat and corn nutrition systems on grain yield and quality / A.N. Esaulko [et al.] // Fertility. 2025. No. 6 (147). P. 10.25680/S19948603.2025.147.04. [In Russ.].
5. Davaev A.V., Goldvarg B.A. Influence of growth regulators on the growth and development of winter wheat in the central zone of the Republic of Kalmykia // Plodorodie. 2025. No. 6 (147). P. 51-54. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.10>. [In Russ.].
6. Influence of nitrogen on photosynthetic activity and grain quality of winter wheat on leached chernozem / E.V. Pismennaya [et al.] // Agrarian scientific journal. 2025. No. 2. P. 46-51. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2025.147.10>. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp46-51>. [In Russ.].
7. Efficiency of using nitrogen fertilizers and biopreparations on spring wheat / A.A. Alferov [et al.] // Russian Agricultural Science. 2023. No. 5. P. 35-38. <https://doi.org/10.31857/S2500262723050071>. [In Russ.].
8. The influence of winter wheat cultivation technology on the content of macronutrients in plants / Dubovik D.V. [et al.] // Russian Agricultural Science. 2025. No. 1. P. 9-13. <https://doi.org/10.31857/S2500262725010024>. [In Russ.].
9. Extraction of chlorophyll concentration maps from AOTF hyperspectral imagery / A. Zolotukhina [et al.] // Frontiers in Environmental Science. 2023. Vol. 11. P. 1152450. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1152450>.
10. Alferov A.A., Chernova L.S., Kozhemyakov A.P. Efficiency of using a biopreparation on spring wheat in the European part of Russia under different mineral nutrition conditions // Russian Agricultural Science. 2017. No. 6. P. 17-21. <https://elibrary.ru/zxlbch>. [In Russ.].
11. Use of nitrogen fertilizers by spring wheat during seed inoculation with biopreparations / A.A. Zavalin [et al.] // Russian Agricultural Science. 2022. No. 6. P. 9-13. <https://doi.org/10.31857/S2500262722060023>. [In Russ.].
12. Ivenin A.V., Bogomolova Yu.A., Sakov A.P. Economic efficiency of growing grain crops depending on tillage systems and fertilizer application // Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. No. 1 (61). P. 2227. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-22-27>. [In Russ.].
13. Adinyaev E.D., Abaev A.A., Adaev N.L. Educational and methodological guide for conducting research in Agronomy. Grozny: Chechen State University, 2020. 344 p. <https://elibrary.ru/qlcwet>. [In Russ.].
14. Bildieva E.A., Eroshenko F.V., Dridiger V.K. Photosynthesis and nitrogen nutrition of winter wheat cultivated using direct seeding technology // Achievements of science and technology of the Agro-industrial complex. 2022. Vol. 36, No. 5. P. 44-49. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_44. [In Russ.].

15. Application of microelement chelates in spring wheat cultivation technology / N.V. Voytovich [et al.] // Agriculture. 2019. No. 6. P. 25-27. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_44.org/10.24411/0044-3913-2019-10606. [In Russ.].
16. Resistance of winter wheat varieties to tan spot in the North Caucasus region of Russia / O.Yu. Kremneva [et al.] // Saudi Journal of Biological Sciences. 2021. Vol. 28, No. 3. P. 1787-1794. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.021>.
17. Yield of winter wheat varieties under different tillage practices in the central zone of the Krasnodar Territory / N.N. Neshchadim [et al.] // New technologies. 2025. Vol. 21, No. 4. P. 183-193. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.021.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-183-193>. [In Russ.].
18. Productivity and technological qualities of winter wheat grain of the Grom variety depending on the use of plant growth regulators and nitrogen fertilizers / A.A. Makarov [et al.] // New technologies. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 111-125. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-4-111-125>. [In Russ.].
19. Economic efficiency and bioenergetic assessment of long-term use of fertilizers in crop rotation / A.A. Kvashin [et al.] // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2017. No. 68. P. 76-85. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-68-76-85>. [In Russ.].
20. Yield of winter wheat varieties under various agricultural technologies in the central zone of Kuban / N.N. Neshchadim [et al.] // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2022. No. 96. P. 173-180. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-96-173-180>. [In Russ.].

Информация об авторах / Information about the author

Тедеева Альбина Ахурбековна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела адаптивно-ландшафтного земледелия, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», (СКНИИГПСХ ВНЦ РАН); 363110, Российская Федерация, РСО-Алания, с. Михайловское, ул. Вильямса 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-5269>, e-mail: teeva64@bk.ru

Мамиев Дмитрий Маирбекович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом адаптивно-ландшафтного земледелия, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», (СКНИИГПСХ ВНЦ РАН); 363110, Российская Федерация, РСО-Алания, с. Михайловское, ул. Вильямса 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6057-3511>, e-mail: d.mamiev@mail.ru

Тедеева Виктория Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела адаптивно-ландшафтного земледелия, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», (СКНИИГПСХ ВНЦ РАН); 363110, Российская Федерация, РСО-Алания, с. Михайловское, ул. Вильямса 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7543-8355>, e-mail: vikkimarik@bk.ru

Albina A. Tedeeva, PhD (Biol.), Leading Researcher, Department of Adaptive Landscape Agriculture, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (SKNIIGPSH VSC RAS); 363110, the Russian Federation, the Republic of North Ossetia-Alania, Mikhailovskoye village, 1 Williams str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-5269>, e-mail: teeva64@bk.ru

Dmitry M. Mamiev, PhD (Biol.), Leading Researcher, Head of the Department of Adaptive Landscape Agriculture, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (SKNIIGPSH VSC RAS); 363110, the Russian Federation, the Republic of North Ossetia-Alania, Mikhailovskoye village, 1 Williams str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6057-3511>, e-mail: d.mamiev@mail.ru

Victoria V. Tedeeva, PhD (Biol.), Senior Researcher, Department of Adaptive Landscape Agriculture, The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (SKNIIGPSH VSC RAS); 363110, the Russian Federation, the Republic of North Ossetia-Alania, Mikhailovskoye village, 1 Williams str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7543-8355>, e-mail: vikkimarik@bk.ru

Заявленный вклад авторов

Тедеева Альбина Ахурбековна – проведение эксперимента и подбор литературных источников.

Мамиев Дмитрий Маирбекович – разработка методики исследований и обработка результатов полевых опытов.

Тедеева Виктория Витальевна – проведение эксперимента, обработка результатов исследований, оформление статьи по требованиям журнала.

Claimed contribution of the authors

Albina A. Tedeeva – conducting the experiment and literature review.

Dmitry M. Mamiev – research methodology development and field experiment results processing.

Victoria V. Tedeeva – conducting the experiment, research results review, article formatting according to the Journal requirements

Поступила в редакцию 14.07.2026

Поступила после рецензирования 19.08.2026

Принята к публикации 20.08.2026

Received 14.07.2026

Revised 19.08.2026

Accepted 20.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-149-161>

УДК [633.88:615.07] (470.62)



Приемы усиления приживаемости и развития лапчатки белой первого года вегетации в условиях Краснодарского края

Н.С. Тропина✉, О.А. Быкова, Н.О. Иванченко

Северо-Кавказский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»;
Российская Федерация, станция Васюринская,
✉krasnodarvilar@gmail.com

Аннотация. Введение. Лапчатка белая (*Potentilla alba* L.), обладая биологически активными веществами тиреотропного действия, является перспективным растением для выпуска фитопрепаратов при лечении заболеваний щитовидной железы. Обеспечить производство высококачественным сырьем лапчатки возможно только при выращивании ее в промышленных масштабах. **С этой целью** в условиях Краснодарского края начаты исследования по введению лапчатки в культуру и на первом этапе – разработка агроприемов для усиления приживаемости и дальнейшего развития культуры. **Объект и методы исследования.** Полевые опыты с лапчаткой были заложены в 2022-2025 годах в условиях Северо-Кавказского филиала согласно методикам, разработанным для лекарственных культур. Для повышения укореняемости посадочного материала корневая система деленок замачивалась смесью Корневина (1,0 г/л) с Цирконом (0,2 мл/л). После приживаемости рассады провели двукратную обработку вегетирующих растений комплексами Лигногумата АМ (250 г/га) и ЭкоФуса (1,5 л/га) с Силиплантом (0,8 л/га). **Результаты и обсуждения.** Установлено, что замачивание рассады в смеси Корневина с Цирконом обеспечивает повышение приживаемости до 22 %. Системное применение регуляторов роста при обработке корней лапчатки и двукратные подкормки в период вегетации комплексами ЭкоФус + Силиплант и Лигногумат АМ + Силиплант, независимо от погодных условий, способствовали повышению надземной массы до 42 % и корней до 41 % и устойчивости лапчатки к засухе, заметно снижая потери массы надземной части до 17 % и корней до 16 % при 38 % на контрольном варианте. **Заключение.** Для повышения приживаемости лапчатки целесообразно замачивание рассады смесью Корневина с Цирконом, а с целью создания оптимальных условий питания необходимо двукратное опрыскивание комплексами ЭкоФуса и Лигногумата АМ с Силиплантом, что позволяет растениям накопить достаточно веществ для их успешной перезимовки.

Ключевые слова: *Potentilla alba* L., корнеобразователь, приживаемость, фолиарные обработки, органоминеральные удобрения, адаптация

Для цитирования: Тропина Н.С., Быкова О.А., Иванченко Н.О. Приемы усиления приживаемости и развития лапчатки белой первого года вегетации в условиях Краснодарского края. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3):149-161. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-149-161>

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания согласно теме НИР «Определение ресурсного потенциала дикорастущих видов лекарственных растений, разработка адаптивных агротехнологий и создание устойчивых сортов лекарственных культур FGUU-2025-0006»

Methods for enhancing the survival rate and development of white cinquefoil in the first year of vegetation in the Krasnodar Territory

N.S. Tropina✉, O.A. Bykova, N.O. Ivanchenko

*All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants;
the Russian Federation, Vasyurinskaya village,
✉krasnodarvilar@gmail.com*

Abstract. Introduction. *Potentilla alba* L., possessing biologically active substances with a thyroid-stimulating effect, is a promising plant for the production of herbal remedies for the treatment of thyroid diseases. High-quality raw materials for cinquefoil can only be produced through industrial cultivation. To this end, research has been initiated in the Krasnodar Territory to introduce cinquefoil into cultivation. The initial stage involved the development of agricultural practices to enhance the survival rate and further development of the crop. **The object and methods of the research.** Field experiments with cinquefoil were conducted in 2022-2025 at the North Caucasus branch of the planting site, using methods developed for medicinal crops. To improve the rooting of the planting material, the root system of the cuttings was soaked in a mixture of Kornevin (1.0 g/l) and Zircon (0.2 ml/l). After the seedlings had established themselves, the vegetative plants were treated twice with the Lignohumate AM (250 g/ha) and EcoFus (1.5 l/ha) complexes with Siliplant (0.8 l/ha). **The results and discussion.** It was found that soaking the seedlings in a mixture of Kornevin and Zircon increases the survival rate by up to 22%. Systematic use of growth regulators when treating the roots of cinquefoil and two-time fertilizing during the growing season with the EcoFus + Siliplant and Lignohumate AM + Siliplant complexes, regardless of weather conditions, contributed to an increase in the aboveground weight to 42% and the roots to 41%, as well as to the resistance of cinquefoil to drought, significantly reducing the loss of the aboveground part to 17% and the roots to 16%, compared to 38% in the control variant. **Conclusion.** To improve the survival rate of *Potentilla alba* L., it is advisable to soak the seedlings in a mixture of Kornevin and Zircon. To create optimal nutritional conditions, double spraying with EcoFus and Lignohumate AM with Siliplant is necessary, allowing the plants to accumulate sufficient nutrients for successful overwintering.

Keywords: *Potentilla alba* L., rooting agent, survival rate, foliar treatments, organomineral fertilizers, adaptation

For citation: Tropina N.S., Bykova O.A., Ivanchenko N.O. Methods for enhancing the survival rate and development of white cinquefoil in the first year of vegetation in the Krasnodar Territory. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):149-161. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-149-161>

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State assignment according to the research topic "Determination of the resource potential of wild-growing species of medicinal plants, development of adaptive agricultural technologies and creation of resistant varieties of medicinal crops FGUU-2025-0006"

Введение. Важной проблемой мирового здравоохранения является создание эффективных и безопасных препаратов для лечения заболеваний щитовидной железы, распространенность которых занимает первое место среди других эндокринных расстройств. С этой целью особое внимание уделяется средствам растительного происхождения, которые могут регулировать уровень гормонов щитовидной железы и обеспечить коррекцию нарушений ее функции. Одним из наиболее перспективных источников биологически ак-

тивных веществ тиреотропного действия является многолетнее лекарственное растение лапчатка белая (*Potentilla alba* L.), из семейства Розоцветные (Rosacea).

Полезные свойства лапчатки связаны с богатым фитохимическим составом, в который входят флавоноиды (кверцетин), сапонины, иридоиды, амино-, фенолкарбоновые и жирные кислоты, дубильные вещества (галлотанин), полисахариды, кислоты, йод (в органической форме) и микроэлементы (цинк, селен, железо, медь, кремний) [1-3].

В конце 70-х годов прошлого века начались исследования и были опубликованы первые результаты по применению лапчатки белой при лечении патологии щитовидной железы. Впоследствии проведенные клинические испытания экстрактов корневищ с корнями лапчатки позволили получить дополнительные данные по более широкому терапевтическому воздействию при различных патологиях щитовидной железы и установить безопасность их длительного применения [4-5]. В ряде исследований также отмечается, что экстракты данного растения обладают противовоспалительными и антиоксидантными свойствами [6-7]. Эти утверждения подтверждаются данными по детальному изучению химического состава корневищ с корнями лапчатки, где было установлено, что фенольные соединения в основном представлены проантоцианидинами, являющимися природными антиоксидантами [8].

Надземные части (стебли, листья, цветы) не обладают тиреотропными и другими лечебными свойствами, которые характерны для подземной части.

На основе лапчатки изготавливают биологически активные добавки:

- в форме измельченных корневищ с корнями для приготовления настоев и отваров;
- стандартизованные экстракты: Альба® – каждая капсула, содержит 300 мг экстракта корневищ с корнями;
- лекарственные средства системного действия, например: Тиреонорм, Эндонорм, Эндокринол – разработанные на основе сухого экстракта.

Применение таких препаратов позволяет нормализовать функции щитовидной железы, их применяют при лечении цирроза печени, гепатите. Также лапчатка может применяться как антисептическое, ранозаживляющее и антибактериальное средства. В настоящее время в ВИЛАРе проводятся работы по изучению сухого экстракта лапчатки, разрабатывается технология его микрокапсулирования, что позволит увеличить срок хранения препарата [9-10].

Выпуск данных фитопрепаратов зависит от обеспеченности производства высококачественным сырьем лапчатки. Этого можно добиться только при выращивании ее в промышленных масштабах, так как в природных условиях ее ресурсы ограничены и в ряде областей она внесена в Красную книгу. Поэтому с лапчаткой белой в Московской и Белгородской областях, Кабардино-Балкарии и в южных регионах проводятся широкие интродукционные исследования. Однако поиск новых почвенно-климатических зон для выращивания данной культуры продолжается, так как в ряде регионов она поражается ржавчиной и возникает необходимость применения химических средств защиты [11].

При проведении наблюдений в условиях Краснодарского края не было установлено поражения растений данным патогеном и были начаты работы по введению ее в культуру.

Правильный выбор способа размножения культуры – ключевой фактор для полноценного роста и развития. Научно установлено, что вегетативный способ размножения является преобладающим для лапчатки белой и реализуется посредством деления куста возрастных экземпляров с целью получения посадочного материала. На первом году вегетации для активизации ростовых процессов осуществляли обработки вегетирующих растений органоминеральными удобрениями БиоГумус и ЭкоФус [12-13]. В последние годы рядом исследователей установлено, что положительное влияние на лекарственные культуры (жюзник европейский, лопух, маклея и другие) получено при применении комплексов органоминеральных с микроудобрениями [14-15].

Целью проведенных испытаний было изучение влияния органомикроэлементных комплексов на повышение приживаемости рассады и на дальнейшее усиление роста и развития лапчатки на первом году вегетации.

Объект, материалы и методы исследований. Полевые опыты были заложены в 2022-2025 годах в условиях филиала

научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений в Центральной зоне Краснодарского края.

Почвенный профиль экспериментального поля отличается значительным содержанием гумуса (5,02%), что характерно для черноземов данного типа. При этом содержание органических веществ: общего азота – до 0,30%, P_2O_5 – до 10,22% и K_2O в пределах 1,7-2,1% – хотя и не является высоким, но обеспечивает достаточный уровень плодородия для возделывания лекарственных культур. Агрохимические показатели почвы демонстрируют характерные особенности для данной почвенной разновидности в центральной зоне Краснодарского края. Водная вытяжка характеризуется слабокислой реакцией с pH около 5,8, что свидетельствует о благоприятном уровне кислотности для большинства лекарственных культур [16].

Погодные условия проведения исследований отличались по водному и температурному режимам. 2022 и 2023 годы были достаточно комфортными для роста растений лапчатки, несмотря на некоторое превышение среднесуточных температур (на 2...6 °C), которые компенсировались достаточным количеством осадков, превышающих среднегодовые показатели на 14-50 %. 2024 год отличался аномально засушливыми погодными условиями. В течение всего вегетационного периода (апрель-август) при высоких температурах воздуха (16,9...40,1 °C) выпало около 56,5 мм осадков, что составляет 22% от среднегодовых показателей. В 2025 году температурный режим с апреля по июнь колебался от 16,2 до 23,5 °C, что сопровождалось высоким уровнем осадков, превышающих среднегодовые на 12-47%. Начиная с июля по сентябрь температуры воздуха доходила до отметки 42 °C, при этом количество выпавших осадков составило 28-54% от нормы.

Однофакторные опыты закладывали согласно методике, разработанной ФГБНУ ВИЛАР [17]. Учетная площадь делянок по 12 м², размещение их – рендомизированное, повторность четырехкратная.

Объектом исследования являлась лапчатка белая районированного сорта «Снежка» – это селекционное достижение, полученное Северо-Кавказским филиалом Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР). Сорт допущен к использованию Госреестром. Сорт отличается устойчивостью к болезням, вредителям, а также устойчив к засушливым и неблагоприятным условиям Краснодарского края. Он рекомендован в промышленных масштабах для производства лекарственных препаратов, а также можно использовать в ландшафтном дизайне, например – в альпийских горках.

Посадочный материал брался с коллекционного участка Северо-Кавказского филиала. Для этого растения V года вегетации вручную разделялись на отдельные делёнки. Посадка проводилась в первой декаде апреля в заранее подготовленные лунки, глубина и диаметр которых соответствовали размеру корневой системы. Расстояние между растениями в ряду составляло 0,3 м, ширина междурядий – 0,6 м, что обеспечивало их оптимальное освещение и аэрацию.

Для повышения укореняемости посадочного материала корневая система делёнок замачивалась в течение 12 часов смесью регуляторов роста Корневин [д.в. индолил-3-масляная кислота, 1,0 г/л] с Цирконом [д.в. гидроксикоричные кислоты, 0,2 мл/л (1:1)], растения контрольного варианта замачивались в воде с той же экспозицией, что и на опытных делянках.

После приживаемости рассады на 30 день после посадки (первая декада мая) провели первую обработку вегетирующих растений комплексами органоминеральных удобрений Лигногумат АМ (250 г/га) и ЭкоФус (1,5 л/га) с кремнийсодержащим микроудобрением Силиплант (0,8 л/га), затем через 30 дней после первой повторили опрыскивание тем же комплексом (первая декада июня). Контрольные делянки в эти же сроки обрабатывались водой.

Уборку сырья лапчатки белой первого года вегетации проводили во второй–третьей декаде сентября, когда среднесуточная температура ещё держится около +5...+10 °С, но заморозки ещё не наступили. К этому времени надземная часть начинает постепенно отмирать, что сигнализирует о максимальном накоплении биологически активных веществ в корневищах с корнями – основной лекарственной части растения. На первом году жизни масса корневищ меньше, чем в последующие годы, но содержание йода и других действующих веществ достаточно высокое для использования в лекарственных целях.

Экспериментальные данные обрабатывали по Б.А. Доспехову [18] с применением пакета статистического анализа Excel.

Результаты. Ранними исследованиями выявлено, что размножение данной культуры семенами затруднено и экономически не выгодно, поэтому более приемлемо – вегетативное размножение путем деления куста. В условиях Краснодарского края лапчатка начинает отрастать в феврале, к посадке необходимо приступать уже в первой декаде апреля, когда надземная масса достигает высоты в среднем 20 см. На рисунке 1 показано

растение лапчатки пятого года вегетации, которое делили на отдельные делёнки для дальнейшей посадки в открытый грунт.

При вегетативном размножении лапчатки в условиях Белгородской области для усиления приживаемости посадочного материала был предложен метод обработки корневой системы биорегулятором ДваУ с действующими веществами: индолилмасляной кислотой и комплексом гидроксикоричных кислот. Они способствовали интенсивному корнеобразованию и активации ростовых процессов на изучаемой культуре [13]. Однако данный препарат еще не разрешен для применения. В связи с этим в нашей зоне были проведены исследования по обработке корневой системы посадочного материала комплексом регуляторов роста, содержащих основные активные компоненты: (ИМК) индолил-3-масляную кислоту [Корневин], которая стимулирует образование корневой массы и смесь гидроксикоричных кислот в концентрации 0,1 г на 1 литр [Циркон], регулирующий иммунный ответ растений. Данные препараты уже широко используются для этих целей и разрешены для применения на лекарственных культурах.



Куст для деления



Посадочный материал (делёнки)

Рис. 1. Лапчатка белая – целое растение и посадочный материал

Fig. 1. White cinquefoil – whole plant and planting material

Проведенные наблюдения в 2022-2023 гг. за приживаемостью лапчатки показали, что через 30 дней после посадки на варианте Корневин+Циркон количество прижившихся растений превосходило контроль на 36%, в то время как при их раздельном применении – на 20-22%.

Изучаемые регуляторы роста также обеспечили усиление ростовых процессов: при раздельном замачивании в растворах препаратов масса надземной части растений повышалась 13 и 14%, а при баковой смеси – на 20%, нарастание корневой системы – на 14 и 16%, и на 23% соответственно (рис. 2).

Полученные данные показали перспективность применения Корневина с

Цирконом для оптимизации процесса размножения лапчатки, поэтому в дальнейших исследованиях для укоренения использовалась эта баковая смесь.

По данным 2024 и 2025 годов, несмотря на разные погодные условия, при обработке корневой системы деленок лапчатки белой комплексом биорегуляторов приживаемость составила 80,2 и 83,6%, в то время как в контроле – 58,5 и 62,3%. При этом увеличивается масса надземной части растений до 20-24% и корней – до 22-25% (табл.1.).

На рисунке 3 четко видна разница по габитусу лапчатки контрольного и варианта с применением комплекса биорегуляторов.

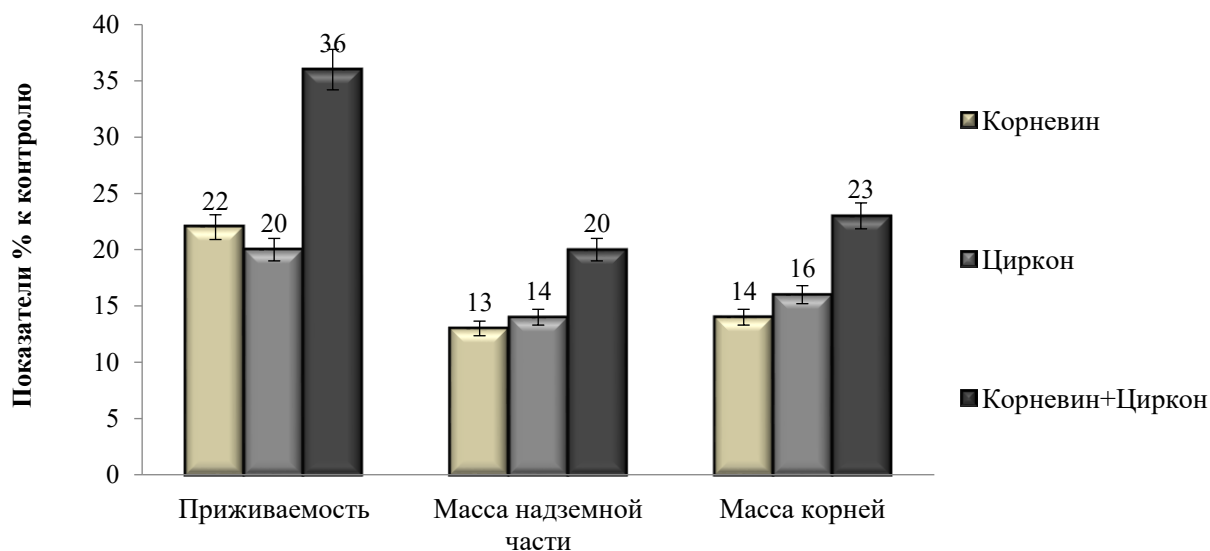


Рис. 2. Влияние биорегуляторов на приживаемость и развитие растений лапчатки белой (через 30 дней после посадки) (средние данные 2022-2023)

Fig. 2. The effect of bioregulators on the survival rate and development of white cinquefoil plants (30 days after planting) (average data 2022-2023)

Таблица 1. Эффективность биорегуляторов на лапчатки белой (через 30 дней после посадки), 2024-2025 гг

Table 1 Effect of bioregulators on white cinquefoil (30 days after planting), 2024-2025

Варианты	Приживаемость, %		Масса надземной части*		Масса корней*	
	2024 год	2025 год	2024 год	2025 год	2024 год	2025 год
Контроль, вода	58,5	62,3	<u>3,8</u> -	<u>4,5</u> -	<u>4,0</u> -	<u>4,6</u> -
Корневин 1,0 г/л +Циркон, 0,2 мл/л	80,2	83,6	<u>4,7</u> 23,7	<u>5,4</u> 20,0	<u>5,0</u> 25,0	<u>5,6</u> 21,8
НСР ₀₅	15,16	16,32	0,31	0,59	0,38	0,41

* в числителе абсолютные значения г/растение, а в знаменателе – % к контролю

Для дальнейшего усиления ростовых процессов лапчатки первого года вегетации были проведены двукратные обработки вегетирующих растений комплексами органо-минеральных удобрений Лигногумат АМ и ЭкоФус с кремнийсодержащим микроудобрением Силиплант. В литературе есть указания о применении ЭкоФуса с Силиплантом на лопухе обыкновенном, где установлено положительное влияние данной баковой смеси на урожайность корней в условиях Московской области независимо от погодных условий [14]. Эти данные важны при разработке системы применения удоб-

рений для увеличения урожайности корневищ с корнями лапчатки белой в условиях центральной зоны Краснодарского края в связи с нестабильностью температурного режима и выпадения осадков.

Как видно из приведенной диаграммы, комплексное применение препаратов обеспечило усиление ростовых процессов лапчатки в оба года испытаний – через 30 дней после второй обработки количество листьев при внесении баковой смеси Лигногумата с Силиплантом увеличилось на 31-33%, а при опрыскивании ЭкоФуса с Силиплантом – на 25-27% (рис. 4).



Контроль
(обработка посадочного материала водой)



Корневин + Циркон
(обработка корневой системы
посадочного материала)

Рис.3. Габитус растений лапчатки через 24 дня после укоренения
Fig.3. The habitus of cinquefoil plants 24 days after rooting

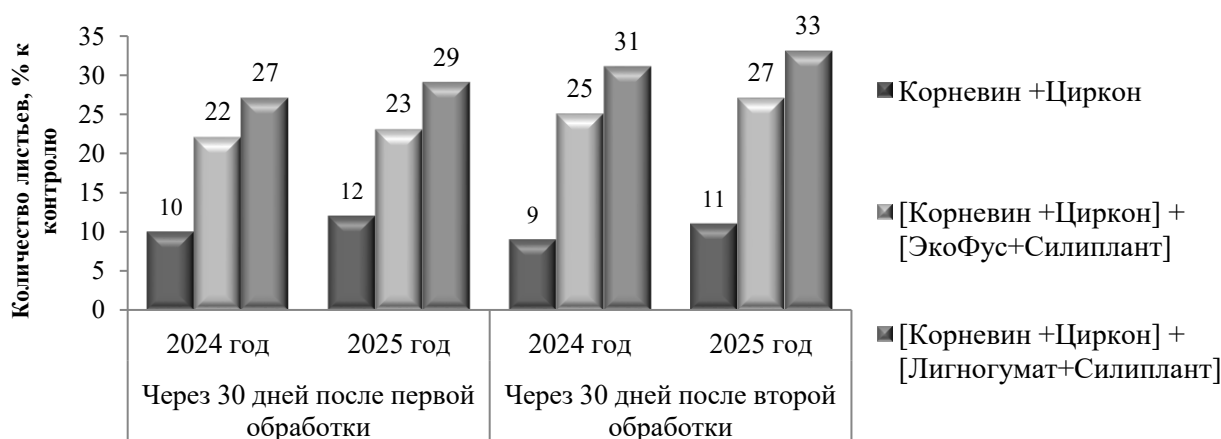


Рис. 4. Влияние комплексного применения регуляторов роста, органо-минеральных и микроудобрений на количество листьев лапчатки первого года вегетации

Fig. 4. The effect of the complex use of growth regulators, organomineral and micronutrient fertilizers on the number of leaves of cinquefoil in the first year of vegetation

Исследуя влияние фолиарного внесения агрохимикатов росторегулирующего действия на рост и развитие лапчатки в первый год вегетации, отмечено повышение массы надземной части на 41-48%, масса корней – на 35-46%. (табл. 2). Эти показатели не только превышали контроль, но и вариант с обработкой посадочного материала только Корневином с Цирконом.

Анализ изображений (рис. 5) на 30-й день после проведения второй обработки органоминеральными удобрениями с добавлением Силипланта демонстрирует выраженные различия между экспериментальными группами. Наблюдается стати-

стически значимое увеличение высоты растений на 13-14% по сравнению с контролем, а также отмечается более интенсивное развитие корневой системы.

Проведенные учеты растений лапчатки в конце вегетации (сентябрь) показали последствие изучаемых смесей удобрений на надземную массу лапчатки, которая увеличивалась по сравнению с контролем на 35-43% (табл. 3). Аналогично надземной массе в опытных вариантах повышается и масса корней – на 32-41%.

Хорошей иллюстрацией полученных результатов (2025 год) являются представленные фотографии растений на рисунке 6.

Таблица 2. Результаты испытания исследуемых комплексов на массу листьев и корней лапчатки первого года вегетации

Table 2. The results of testing the studied complexes on the mass of leaves and roots of cinquefoil in the first year of vegetation

Вариант опыта	Через 30 дней после первой обработки				Через 30 дней после второй обработки			
	надземная масса (сухой вес), * г/растение		масса корней (сухой вес), * г/ растение		надземная масса (сухой вес), * г/ растение		масса корней (сухой вес), * г/ растение	
	годы исследований							
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Контроль (вода)	<u>5,9</u> -	<u>7,7</u> -	<u>7,1</u> -	<u>9,7</u> -	<u>6,5</u> -	<u>8,9</u> -	<u>8,1</u> -	<u>11,0</u> -
Корневин + Циркон	<u>6,8</u> 15	<u>8,9</u> 16	<u>8,1</u> 14	<u>11,3</u> 17	<u>7,3</u> 12	<u>10,1</u> 13	<u>8,9</u> 11	<u>12,5</u> 14
[Корневин+Циркон] + [ЭкоФус+ Силиплант]	<u>7,7</u> 31	<u>10,0</u> 30	<u>9,2</u> 30	<u>12,8</u> 32	<u>9,2</u> 41	<u>12,6</u> 42	<u>10,9</u> 35	<u>15,2</u> 38
[Корневин+Циркон] + [Лигногумат АМ +Силиплант]	<u>8,0</u> 36	<u>10,6</u> 38	<u>9,7</u> 37	<u>13,5</u> 39	<u>9,5</u> 46	<u>13,3</u> 48	<u>11,4</u> 41	<u>16,1</u> 46
НСР ₀₅	0.51	0.83	0.54	1.12	0.61	0.79	0.60	1.09

*Надземная масса и масса корней: в числителе абсолютные значения (г/растение), в знаменателе – % к контролю



Контроль
(обработка водой)



[Корневин+Циркон] +
[ЭкоФус +Силиплант]



[Корневин + Циркон] +
[ЛигногуматАМ+Силиплант]

Рис.5. Эффективность комплексного применения препаратов на ростовые процессы лапчатки белой (через 30 дней после второй обработки)

Fig. 5. The effectiveness of the complex application of preparations on the growth processes of white cinquefoil (30 days after the second treatment)

Таблица 3. Эффективность комплексного применения росторегуляторов на нарастание массы лапчатки белой

Table 3. The effectiveness of the complex use of growth regulators on the increase in the mass of white cinquefoil

Варианты опыта	Надземная масса (сухой вес)*		Масса корней (сухой вес)*	
	2024 год	2025 год	2024 год	2025 год
Контроль (вода)	<u>14,1</u> -	<u>22,8</u> -	<u>17,2</u> -	<u>27,6</u> -
Корневин + Циркон	<u>15,5</u> 10	<u>25,1</u> 10	<u>19,1</u> 11	<u>30,6</u> 11
[Корневин + Циркон] + [ЭкоФус + Силиплант]	<u>19,0</u> 35	<u>31,2</u> 37	<u>23,1</u> 34	<u>36,4</u> 32
[Корневин + Циркон] + [Лигногумат АМ + Силип- лант]	<u>19,9</u> 41	<u>32,4</u> 42	<u>24,3</u> 41	<u>38,9</u> 41
НСР ₀₅	0,91	1,76	1,02	1,81

*Надземная масса и масса корней: в числителе абсолютные значения (г/растение), в знаменателе – % к контролю



Контроль
(обработка водой)



[Корневин+Циркон] +
[ЭкоФус+ Силиплант]



[Корневин+Циркон] +
[Лигногумат АМ+Силиплант]

Рис.6. Растения лапчатки белой в конце первого года вегетации

Fig.6. White cinquefoil plants at the end of the first year of vegetation

О высокой эффективности комплексов ЭкоФуса и Лигногумата АМ с Силиплантом можно судить по превышению надземной массы и корней по сравнению с вариантом, где только рассада замачивалась в смеси Корневин+Циркон: в 2024 году составило: надземной массы – 23-28 %, корней – 21-27 %, а в 2025 – 24-29 и 19-27 % соответственно (рис. 7). В этих же вариантах в конце первого года вегетации наблюдалось цветение растений, в то время как в контроле оно отсутствует (рис. 5). Но необходимо отметить превосходство комплекса Лигногумата АМ с Силиплантом.

Необходимо отметить, что в 2024 году в условиях гидротермального стресса масса надземной части в конце вегетации составила 14,1 г, корней – 17,2 г против данных 2025 года – 22,8 и 27,6 г соответ-

ственно. Такое снижение ростовой активности в условиях засухи удалось частично преодолеть при применении органоминеральных удобрений с Силиплантом. В этих вариантах потери массы листьев составили 12-17, корней – 12-16%, тогда как в контроле – 38%, что указывает о повышении под влиянием изучаемых комплексов адаптационных возможностей растений лапчатки к абиотическому стрессу.

Таким образом, целесообразно для повышения приживаемости лапчатки белой замачивание рассады баковой смесью Корневина с Цирконом, а с целью создания оптимальных условий питания на первом году вегетации – двукратное проведение обработок вегетирующих растений комплексами ЭкоФуса и Лигногумата АМ с Силиплантом.

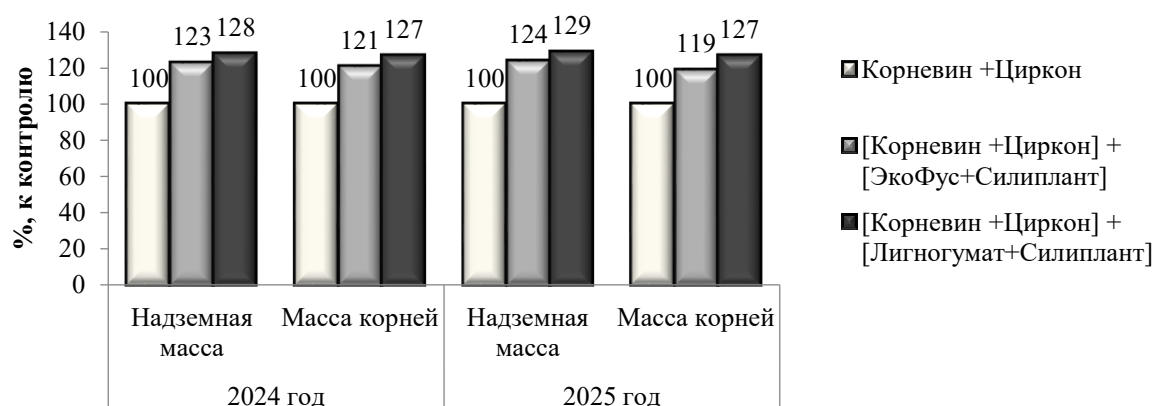


Рис.7. Изменение показателей надземной массы и корней по отношению к регуляторам роста (Корневин+ Циркон)

Fig.7. Changes in the indicators of aboveground mass and roots in relation to growth regulators (Kornevin + Zircon)

Заключение.

1. При вегетативном размножении лапчатки белой замачивание деленок с экспозицией 12 часов в смеси Корневина и Циркона обеспечивает повышение приживаемости их на 21-22% и усиление роста надземной и подземной частей растений.

2. Системное применение регуляторов роста при обработке корней лапчатки перед посадкой и двукратные некорневые подкормки комплексами ЭкоФус + Силиплант и Лигногумат АМ + Силиплант обес-

печивают, независимо от погодных условий, повышение массы надземной части растений на 35-42% и корней 32-41%.

3. При применении органоминеральных удобрений с Силиплантом повышается устойчивость лапчатки первого года вегетации к засушливым погодным условиям, снижаются потери массы надземной части до 17% и корней до 16% при 38% на контрольном варианте, что позволяет растениям накопить достаточно веществ для их успешной перезимовки.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tomczyk M., Latte K.P. *Potentilla* – a review of its phytochemical and pharmacological profile // J. Ethnopharmacology. 2009. Vol. 122, No. 2. P. 184-204.
2. Действующие вещества в некоторых видов рода лапчатка (*Potentilla* L.) / Князева Г.Е. [и др.] // Метод Z. 2022. № 3 (5). С. 9-11.
3. Мешков И.И., Ториков А.И., Мешков В.Е. Лапчатка белая (*Potentilla alba* L.) – ценное лекарственное сырье // Нива Поволжья. 2021. № 2 (59). С. 83-90). DOI 10.36461/NP.2021.59.2.014.
4. Каминский А.В., Киселёва И.А., Тёплая Е.В. Клинические возможности применения лапчатки белой в профилактике и лечении патологии щитовидной железы // Эндокринология. 2014. № 1. С. 45-50.
5. Сергалиева М.У., Мурталиева В.Х., Саметруева М.А. Фармакотерапевтический потенциал растений рода *Potentilla* // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2024. Т. 27, № 8. С. 3-12. DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-08-01>.
6. Antioxidant and pro-oxidant evaluation of a *Potentilla alba* L. rhizome extract / Dorman D.H.J. [et al.] // Chem. Biodivers. 2011. Vol. 8, No. 7. P. 1344-1356.

7. Архипова Э.В., Етобаева И.Г. Антиоксидантные свойства сухого экстракта лапчатки белой в эксперименте *in vitro* // *Acta Biomedica Scientifica*. 2015. № 2. С. 53-56.
8. Про антоцианидины корней и корневищ *Potentilla alba* (Rosaceae) / Осипов В.И. [и др.] // *Растительные ресурсы*. 2017. Т. 53, № 1. С. 114-125.
9. Некоторые аспекты доклинического изучения безопасности лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) экстракта сухого / Крепкова Л.В. [и др.] // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2022. Т. 25, № 4. С. 30-46. Doi/10.29296/25877313-2022-04-06.
10. Семкина О.А., Белошапкина О.М., Джавахян М.А. Технология микрокапсулирования сухого экстракта корневищ и корней лапчатки белой *Potentilla alba* L. // *Вопросы обеспечения качества лекарственных средств*. 2024. № 3 (45). С. 25-32. Doi: 10.34907/SPOQA/2024.5654/004.
11. Бушковская Л.М., Сидельников А.Н. Система защиты лапчатки белой от ржавчины // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: материалы XII Международного симпозиума*. М.: РУДН, 2017. С. 210-213.
12. Мелик-Гусейнов В.В., Тхамокова Ф.К., Шильников Д.С. Перспективы выращивания лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) на Северном Кавказе // *Вестник МГОУ*. 2023. № 2. С. 49-52.
13. Сидельников А.И. Роль регуляторов роста и органоминеральных удобрений при вегетативном размножении лапчатки белой // *Известия Дагестанского ГАУ*. 2024. № 2 (22). С. 100-108. Doi: 10.52671/26867591-2024-2-100.
14. Сидельников Н.И., Хазиева Ф.М., Ковалев Н.И. Роль регуляторов роста и микроудобрений при введении лекарственных растений в культуру // *Вестник сельскохозяйственной науки*. 2022. № 3. С. 62-66. Doi.org: 10.30850/vrsn/2018/3/62-66.
15. Эффективность комплексного применения гуматов и микроудобрений на маклее кьюсской (*Macleaya x kevensis* TURILL.) и маклее сердцевидной (*Macleaya cordata* (Willd.) R.Br.) / Быкова О.А. [и др.] // *Овощи России*. 2023. № 4. С. 73-81. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-73-81>.
16. Паспорт агрохимического состояния полей. ФГБУ Центр агрохимической службы «Краснодарский», 2023.
17. Методика проведения полевых опытов с лекарственными и эфирномасличными культурами. М. ФГБУ ВИЛАР, 2023. 112 с.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

REFERENCES

1. Tomczyk M., Latte K.P. *Potentilla* – a review of its phytochemical and pharmacological profile // *J. Ethnopharmacology*. 2009. Vol. 122, No. 2. P. 184-204.
2. Active substances in some species of the genus *Potentilla* (*Potentilla* L.) / Knyazeva G.E. [et al.] // *Metod Z.* 2022. No. 3 (5). P. 9-11. [In Russ.].
3. Meshkov I.I., Torikov A.I., Meshkov V.E. White cinquefoil (*Potentilla alba* L.) is a valuable medicinal raw material // *Niva Povolzhya*. 2021. No. 2 (59). P. 83-90. DOI 10.36461/NP.2021.59.2.014. [In Russ.].
4. Kaminsky A.V., Kiseleva I.A., Teplaya E.V. Clinical possibilities of using white potentilla in the prevention and treatment of thyroid pathology // *Endocrinology*. 2014. No. 1. P. 45-50. [In Russ.].
5. Sergaliev M.U., Murtaliev V.Kh., Samotruieva M.A. Pharmacotherapeutic potential of plants of the genus *Potentilla* // *Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2024. Vol. 27, No. 8. P. 3-12. DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-08-01>. [In Russ.].
6. Antioxidant and pro-oxidant evaluation of a *Potentilla alba* L. rhizome extract / Dorman D.H.J. [et al.] // *Chem. Biodivers.* 2011. Vol. 8, No. 7. P. 1344-1356. [In Russ.].
7. Arkhipova E.V., Etobaeva I.G. Antioxidant properties of a dry extract of white cinquefoil in an *in vitro* experiment // *Acta Biomedica Scientifica*. 2015. No. 2. P. 53-56. [In Russ.].
8. On the anthocyanidins of the roots and rhizomes of *Potentilla alba* (Rosaceae) / Osipov V.I. [et al.] // *Plant Resources*. 2017. Vol. 53, No. 1. P. 114-125. [In Russ.].
9. Some aspects of preclinical safety study of white cinquefoil (*Potentilla alba* L.) dry extract / Krepkova L.V. [et al.] // *Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2022. Vol. 25, No. 4. P. 30-46. Doi/10.29296/25877313-2022-04-06. [In Russ.].

10. Semkina O.A., Beloshapkina O.M., Dzhavakhyan M.A. Microencapsulation technology of dry extract of rhizomes and roots of white cinquefoil *Potentilla alba* L. // Issues of quality assurance of medicines. 2024. No. 3 (45). P. 25-32. Doi: 10.34907/SPOQA/2024.5654/004., [In Russ.].
11. Bushkovskaya L.M., Sidelnikov A.N. System of protection of white cinquefoil from rust // New and unconventional plants and prospects of their use: proceedings of the XII International symposium. Moscow: RUDN University, 2017. P. 210-213. [In Russ.].
12. Melik-Guseynov V.V., Tkhamokova F.K., Shilnikov D.S. Prospects for growing white cinquefoil (*Potentilla alba* L.) in the North Caucasus // Bulletin of Moscow State University. 2023. No. 2. P. 49-52. [In Russ.].
13. Sidelnikov A.I. The role of growth regulators and organomineral fertilizers in vegetative propagation of white cinquefoil // Bulletin of the Dagestan State Agrarian University. 2024. No. 2 (22). P. 100-108. Doi: 10.52671/26867591-2024-2-100. [In Russ.].
14. Sidelnikov N.I., Khazieva F.M., Kovalev N.I. The role of growth regulators and microfertilizers in the introduction of medicinal plants into culture // Bulletin of agricultural science. 2022. No. 3. P. 62-66. Doi.org: 10.30850/vrsn/2018/3/62-66. [In Russ.].
15. Efficiency of the complex use of humates and microfertilizers on *Macleaya x kevensis* TURILL. and *Macleaya cordata* (Willd.) R.Br. / Bykova O.A. [et al.] // Vegetables of Russia. 2023. No. 4. P. 73-81. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-73-81>. [In Russ.].
16. Passport of the agrochemical condition of fields. Federal State Budgetary Institution, Krasnodar Agrochemical Service Center, 2023. [In Russ.].
17. Methodology for conducting field experiments with medicinal and essential oil crops. Moscow, Federal State Budgetary Institution, VILAR, 2023. 112 p. [In Russ.].
18. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p. [In Russ.].

Информация об авторах / Information about the authors

Тропина Нина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 353225, Российская Федерация, Краснодарский край, Динской район, ст. Васюринская, пос. ЗОС ВНИИЛР, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2457-0609>, e-mail: krasnodarvilar@gmail.com

Быкова Ольга Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Северо-Кавказский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 353225, Российская Федерация, Краснодарский край, Динской район, ст. Васюринская, пос. ЗОС ВНИИЛР, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6032-2357>

Иванченко Наталия Орестовна, научный сотрудник, Северо-Кавказский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 353225, Российская Федерация, Краснодарский край, Динской район, ст. Васюринская, пос. ЗОС ВНИИЛР, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4764-3356>

Nina S. Tropina, PhD (Agr.), Senior Researcher, the North Caucasus Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants” 353225, the Russian Federation, the Krasnodar Territory, the Dinskoy District, Vasyurinskaya st., ZOS VNIILR settlement ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2457-0609>, e-mail: krasnodarvilar@gmail.com

Olga A. Bykova, PhD (Agr.), Researcher, the North Caucasus Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”; 353225, the Russian Federation, the Krasnodar Territory, the Dinskoy District, Vasyurinskaya st., ZOS VNIILR settlement ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6032-2357>

Natalia O. Ivanchenko, Researcher, the North Caucasus Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”; 353225, the Russian Federation, the Krasnodar Territory, the Dinskoy District, Vasyurinskaya st., ZOS VNIILR settlement, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4764-3356>

Заявленный вклад авторов

Нина Сергеевна Тропина – концептуализация, администрирование проекта, руководство исследованием, подбор литературных источников.

Ольга Алексеевна Быкова – создание черновика рукописи, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование.

Наталья Орестовна Иванченко – создание черновика рукописи, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование.

Claimed contribution of the authors

Nina S. Tropina – conceptualization, project administration, research supervision, and selection of literary sources.

Olga A. Bykova – manuscript drafting, research, manuscript creation and editing.

Natalia O. Ivanchenko – manuscript drafting, research, manuscript creation and editing.

Поступила в редакцию 01.07.2026

Поступила после рецензирования 13.08.2026

Принята к публикации 14.08.2026

Received 01.07.2026

Revised 13.08.2026

Accepted 14.08.2026

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-162-172>

УДК [633.11«324»:631.526.32] (470.46)



Адаптивность сортов озимой пшеницы к почвенно-климатическим условиям Астраханской области

Н.В. Тютюма, А.Н. Бондаренко✉, А.В. Тютюма

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»;
с. Солёное Займище, Российская Федерация,
✉bondarenko-a.n@mail.ru

Введение. Пшеница является одной из основных сельскохозяйственных культур в Нижневолжском регионе, однако площадь под твердыми сортами невелика и составляет всего 8-9 %. **Цель исследования.** Оценка устойчивости селекционного материала сортов озимой пшеницы к условиям аридного климата с целью определения исходного материала для практической селекции. **Объекты и методы исследования.** Объектом исследования служили семь сортов озимой пшеницы (коллекция Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова). В условиях Астраханской области за период с 2022 по 2025 гг. на светло-каштановых почвах (опытный участок землепользования ФГБНУ «ПАФНЦ РАН») был проведен полевой опыт, направленный на изучение и внедрение перспективных сортов твердой пшеницы. Анализ первичного селекционного материала, включающего сорта пшеницы, выполнялся в специализированных питомниках с использованием типичных для зерновых культур методик организации опытов. **Результаты и обсуждение.** Изучение агробиологических особенностей твердой пшеницы в почвенно-климатических условиях Астраханской области выявило существенную зависимость показателей кустистости (общей и продуктивной) и плотности продуктивного стеблестоя от генотипических характеристик сортов и факторов внешней среды. Оценка устойчивости к воздействию абиотических стрессоров высоких температур и засухе необходима для формирования рекомендаций по сортовому подбору. **Заключение.** Сравнительный анализ показал, что сорта Аксинт, Оникс и Амазонка демонстрируют стабильное преимущество над стандартом: их продуктивная кустистость ежегодно выше контрольных значений на 7-12 стеблей/м². Согласно полученным данным за период проведенных исследований, максимальное количество зерен в колосе зафиксировано у сортов Аксинит (28 шт.), а также Амазонка и Оникс (по 26 шт.). У этих образцов озерненность превышала показатели стандарта Безенчукская 100, у которого данный параметр во все годы наблюдений держался в пределах 20-22 шт.

Ключевые слова: озимая пшеница; селекционный материал; продуктивная кустистость; отклонение от стандарта; масса зерна; 1000 зерен

Для цитирования: Тютюма Н.В., Бондаренко А.Н., Тютюма А.В. Адаптивность сортов озимой пшеницы к почвенно-климатическим условиям Астраханской области. *Новые технологии / New technologies*. 2026; 22(3):162-172. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-162-172>

Adaptability of winter wheat varieties to soil and climatic conditions of the Astrakhan region

N.V. Tyutyuma, A.N. Bondarenko✉, A.V. Tyutyuma

Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; Solenoye
Zaimishche village, the Russian Federation,
✉bondarenko-a.n@mail.ru

Abstract. Introduction. Wheat is one of the main agricultural crops in the Lower Volga region. However, the area under durum wheat varieties is small, accounting for only 8-9 %. **The goal of the research**

Новые технологии / New Technologies, 2026; 22 (3)

was to evaluate the resistance of winter wheat breeding material to arid climate conditions in order to determine the source material for practical breeding. **The objects and methods.** The object of the research was seven winter wheat varieties (collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov). A field experiment was conducted in the Astrakhan region from 2022 to 2025 on light chestnut soils (an experimental land use plot of Pavlov Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences). The experiment aimed at studying and introducing promising durum wheat varieties. The analysis of the primary breeding material, including wheat varieties, was carried out in specialized nurseries using typical experimental methods for grain crops. **The results and discussion.** A study of the agrobiological characteristics of durum wheat in the soil and climatic conditions of the Astrakhan region revealed a significant correlation between tillering rates (total and productive) and productive stem density on the genotypic characteristics of varieties and environmental factors. Assessing resistance to the abiotic stressors of high temperatures and dry winds was necessary for formulating recommendations for varietal selection. **Conclusion.** A comparative analysis revealed that the Aksint, Onyx, and Amazonka varieties consistently demonstrated an advantage over the standard: their productive tillering rate exceeded the control values by 7-12 stems/m² annually. According to data obtained during the research period, the Aksint (28) and Amazonka and Onyx (26 each) varieties had the highest grain count per spike. These varieties exceeded the Bezenchukskaya 100 standard, which consistently maintained a grain count of 20-22 grains throughout all observation periods.

Keywords: winter wheat; breeding material; productive tillering; deviation from standard; grain weight; 1000 grains

For citation: Tyutyuma N.V., Bondarenko A.N., Tyutyuma A.V. Adaptability of winter wheat varieties to soil and climatic conditions of the Astrakhan region. *Novye tehnologii / New technologies*. 2026; 22(3):162-172. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2026-22-3-162-172>

Введение. История возделывания пшеницы насчитывает тысячелетия, но её актуальность не угасает: сегодня это главный продукт питания для жителей более 50 стран мира [1-3]. Россия не только входит в число крупнейших потребителей этого злака, но и является одним из главных его поставщиков на мировой рынок [4-6].

Ежегодно в мире собирают около 250 млн. тонн мягкой пшеницы. Однако структура этого объема оставляет желать лучшего: львиная доля (более половины) приходится на сорта со слабыми характеристиками, тогда как качественная «сильная» пшеница занимает лишь 15-20 % [7-9]. Ключ к развитию сельского хозяйства сегодня лежит в создании новых сортов, которые могли бы сочетать в себе высокую урожайность и отличные показатели качества, адаптируясь при этом к сложным условиям выращивания [10-12].

Земледелие в Астраханском крае имеет глубокие исторические корни: выращивание зерновых практиковалось здесь еще в эпоху Золотой Орды (XIV-XV вв.). После вхождения региона в состав Российского

государства в XVI веке аграрный сектор получил новый импульс к развитию.

Пшеница является ключевой культурой практически для всех стран мира [13-15].

В современных условиях, на фоне высокого спроса на сырье для макаронной промышленности, астраханские сельхозпроизводители все чаще включают зерновые культуры в структуру севооборота, эффективно используя преимущества местного климата - в частности, высокую солнечную активность [16-17]. Несмотря на то, что пшеница является ключевой культурой для региона, доля твердых сортов в посевных площадях остается невысокой (8-9 %). В связи с этим нами был инициирован проект по интродукции и адаптации перспективных сортов твердой пшеницы. Данная культура отличается высоким содержанием белка (14-17 %), отличными технологическими характеристиками (стекловидность свыше 90 %) и наличием каротиноидов, обеспечивающих характерный янтарный оттенок, что делает ее незаменимым сырьем для производства высококачественных макаронных изделий.

Выращивание твердой пшеницы (*durum*) требует специфических агроклиматических условий, что ограничивает ареал её возделывания в России преимущественно регионами Зауралья (Челябинская и Оренбургская области), а также Саратовской, Волгоградской, Ростовской областями, Ставропольским и Краснодарским краями. На мировом уровне ключевым производителем данной культуры выступает Канада.

Материалы и методы. Изучение исходного селекционного материала, сортов и популяций проводилось в специализированных питомниках с применением стандартных для зерновых культур схем закладки опытов. В ходе исследований осуществлялся комплексный учет биологических и хозяйственно-ценных характеристик растений.

Фенологические наблюдения включали фиксацию ключевых фаз развития: от появления всходов до наступления полной спелости зерна. Также проводилась оценка густоты стояния посевов и определение урожайности.

Структурный анализ урожая выполнялся на основе пробных снопов, отбираемых с каждой делянки перед уборкой. В лабораторных условиях измерялись высота растений, количество продуктивных и непродуктивных стеблей, параметры метелки (длина, число узлов и веточек), а также озерненность и масса зерна с метелки и одного растения.

Методологической базой полевых работ послужили рекомендации Б.А. Доспехова [18].

Исследования проводились на базе ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» по предшественнику «черный пар». Объектом изучения стала коллекция сортов озимой твердой пшеницы отечественной селекции: «Аксинит», «Амазонка», «Агат Донской», «Багряница», «Оникс» и «Гелиос». В качестве сорта-стандарта использовался сорт «Безенчукская 100».

Результаты и их обсуждению Результаты агрохимического анализа почвы опытного участка для слоя почвы 0-20 см приведены в таблице 1. Анализ почв был проведен в испытательной лаборатории ФГБУ «Росагрохимслужба» Астраханского филиала.

Погодные условия в годы проведения исследований (2022-2023 гг.) характеризовались как неблагоприятные для богарного земледелия, особенно в фазу весенне-летней вегетации (табл. 1). Согласно В.Н. Чурзину, ключевым фактором стабильности урожайности озимой пшеницы в данном регионе являются запасы продуктивной влаги в весенний период.

Посев озимых проходил в условиях выраженного дефицита почвенной влаги: в августе количество осадков составило менее 25 % от нормы, в сентябре – не более 50 %. Это привело к изреженности всходов и затягиванию периода осенней вегетации до конца второй декады октября. В результате к моменту ухода в зиму растения на делянках находились на разных этапах онтогенеза (от фазы 2-3 листьев до кущения).

Таблица 1. Данные агрохимического анализа почвы опытного участка по горизонту 0...20 см

Table 1. Data from agrochemical analysis of the experimental plot soil along the horizon 0...20 cm

Показатели	Единица измерения	Фактическое значение	Нормативный документ на испытания
рН водной вытяжки	Ед.	7,92	ГОСТ 26423-85
Фосфор	мг/кг	21,73	ГОСТ 26205-91
Подвижный калий	мг/кг	429	ГОСТ 26205-91
Органическое вещество	%	0,87	ГОСТ 26213-91
Содержание азота аммония	мг/кг	3,72	ГОСТ 26486-85
Массовая доля азота нитратов	мг/кг	4,38	ГОСТ 26951-86

Активная вегетация завершилась лишь в начале декабря, что на 17-20 дней позже среднемноголетних показателей. Аномально теплые январь, февраль и март исключили риск вымерзания, однако избыточная влажность в этот период спровоцировала развитие снежной плесени и выпревание части посевов. Возобновление вегетации пришлось на первую декаду апреля. Весенне-летний период отличался резкими суточными перепадами температур и дефицитом осадков: в мае выпало лишь 13,8 мм, а июнь прошел в условиях сильной жары при практически полном отсутствии дождей (табл. 2).

В 2023 году посевные работы были выполнены в первой декаде октября. Вследствие дефицита влаги в сентябре и октябре всходы были изреженными и появились лишь к концу декабря, когда растения уже перешли в состояние покоя. Несмотря на неблагоприятные условия, перезимовка прошла успешно: сохранилось практически 100 % взошедших растений. Возобновление вегетации зафиксировано в марте 2024 года, а последующие благоприятные осадки способствовали нормальному прохождению всех фенологических фаз (табл. 3).

В период 2024-2025 гг. посев озимой твердой пшеницы был смещен на вторую декаду сентября, что обеспечило появление полных всходов к середине октября. Зимний период за текущие годы исследований отличался аномально низкими температурами (табл. 4).

Вегетация возобновилась во второй декаде марта. Однако весенне-летний период оказался сложным: в апреле выпало лишь 3,7 мм осадков при высокой температурной нестабильности (суточные перепады выше 15°C, чередование холодов и жары). Засушливый июнь с температурами выше 35°C и практически полным отсутствием осадков спровоцировал ускоренное созревание культуры.

Высота растений. Устойчивость к полеганию растений пшеницы тесно связана с высотой растений, при этом это является и приоритетным направлением к изучению у растениеводов и селекционеров к этому признаку. Решающую роль, борьбы с этим недостатком следует искать в создании устойчивых к полеганию короткостебельных сортов, адаптированных к аридным условиям.

Таблица 2. Метеорологические условия за вегетационный период
(август 2022-июль 2023 гг.)

Table 2. Meteorological conditions during the growing season (August 2022-July 2023)

Месяц	Осадки			Температура воздуха			Относительная влажность		
	мм	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)		°C	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)		%	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)	
		мм	±		°C	±		%	±
Август	4,7	21,0	-16,3	22,9	24,1	-1,2	43	48	-5
Сентябрь	12,5	22,4	-9,9	15,8	16,9	-1,1	52	56	-4
Октябрь	10,2	21,6	-11,4	11,7	9,4	+2,3	75	68	+7
Ноябрь	0,1	24,6	-24,5	0,8	1,3	-0,5	79	81	-2
Декабрь	4,4	27,1	-22,7	-0,1	-3,7	+3,6	89	85	+4
Январь	5,6	23,6	-18	-0,4	-5,8	+5,4	87	85	+2
Февраль	17,7	17,4	+0,3	0,8	-5,2	+4,4	88	82	+6
Март	1,9	20,7	-18,8	6,6	1,6	+5	61	74	-13
Апрель	3,2	18,6	-15,4	8,6	10,6	-2	49	59	-10
Май	13,8	27,9	-14,1	16,2	17,4	-1,2	63	55	+8
Июнь	4,7	32,4	-27,7	25,7	22,9	+2,8	37	52	-15
Июль	0,2	24,6	-24,4	28,2	25,3	+2,9	33	49	-16
За год	79,0¹	281,9	-202,9	11,4²	9,6	+1,7	56	66	-3,2

¹ – сумма; ² – средняя;

Таблица 3. Метеорологические условия за вегетационный период
(август 2023-июль 2024 гг.)

Table 3. Meteorological conditions during the growing season (August 2023 - July 2024)

Месяц	Осадки			Температура воздуха			Относительная влажность		
	мм	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)		°C	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)		%	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)	
		мм	±		°C	±		%	±
Август	2,4	21,0	-18,6	23,2	24,1	-0,9	45	48	-3
Сентябрь	0,0	22,4	-22,4	18,3	16,9	+1,4	39	56	-17
Октябрь	0,0	21,6	-21,6	12,4	9,4	+3	61	68	-7
Ноябрь	3,6	24,6	-21,0	1,6	1,3	+0,3	76	81	-5
Декабрь	0,1	27,1	-27,0	-6,6	-3,7	-2,9	75	85	-10
Январь	9,7	23,6	-13,9	-3,0	-5,8	+2,8	92	85	+7
Февраль	4,8	17,4	-12,6	-4,0	-5,2	+1,2	78	82	-4
Март	29,1	20,7	+8,4	0,5	1,6	-1,1	75	74	+1
Апрель	7,8	18,6	-10,8	11,5	10,6	-0,1	67	59	+8
Май	8,5	27,9	-19,4	19,6	17,4	+2,2	56	55	+1
Июнь	12,2	32,4	-20,2	24,7	22,9	+1,8	58	52	+6
Июль	8,3	24,6	-16,3	27,9	25,3	+2,6	40	49	-9
За год	86,5¹	281,9	-195,4	10,5²	9,6	+0,8	64	66	-2,7

¹ – сумма; ² –средняя;

Таблица 4. Метеорологические условия за вегетационный период
(август 2024-июль 2025 гг.)

Table 4. Meteorological conditions during the growing season (August 2024-July 2025)

Месяц	Осадки			Температура воздуха			Относительная влажность		
	мм	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)		°C	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)		%	Средне многолетняя (1986-2016 гг.)	
		мм	±		°C	±		%	±
Август	1,9	21,0	-19,1	30,7	24,1	+6,6	38	48	-10
Сентябрь	15,8	22,4	-6,6	15,4	16,9	-1,5	61	56	+5
Октябрь	0,9	21,6	-20,7	8,5	9,4	-0,9	61	68	-7
Ноябрь	5,8	24,6	-18,8	3,2	1,3	+1,9	82	81	+1
Декабрь	15,8	27,1	-11,3	-0,8	-3,7	+2,9	92	85	+7
Январь	13,1	23,6	-10,5	-2,6	-5,8	+3,2	93	85	+8
Февраль	7,5	17,4	-9,9	1,6	-5,2	+3,6	89	82	+7
Март	10,4	20,7	-10,3	3,5	1,6	+1,9	75	74	+1
Апрель	3,7	18,6	-14,9	12,9	10,6	+2,3	64	59	+5
Май	19,3	27,9	-8,6	14,6	17,4	-2,8	55	55	0
Июнь	1,6	32,4	-30,8	24,3	22,9	+1,4	38	52	-14
Июль	8,0	24,6	-16,6	24,2	25,3	-1,1	50	49	+1
За год	103,8¹	281,9	-178,1	11,3²	9,6	+1,5	67	66	0,3

¹ – сумма; ² –средняя;

В проведенных полевых исследованиях высота растений у изучаемых сортообразцов твердой пшеницы варьировала в зависимости от года исследований и генетического потенциала сорта. Средняя (за три года) высота образцов, находящихся в изучении, составляла 52,2 см. Наиболее высокорослыми были сорта во все годы исследований: Амазонка (54.0-53,1см.), Багряница(53,8-53,2см.). Самыми низкорослыми из изучаемых сортов были Аксинит, Агат Донской и Оникс. Высота по коллекции за годы изучения в среднем в 2023году

– 53,1 см., в 2024 году – 52,5 см., в 2025 году – 52,2 см. (табл. 5).

Продуктивная кустистость. Биологические особенности возделываемых в конкретных условиях сортов также влияют на продуктивную кустистость. Способность изучаемых сортов твердой пшеницы к кущению в наших проведенных исследованиях была выражена достаточно сильно, что соответствовала их заявленным характеристикам.

Наши исследования с сортами твердой пшеницы подтвердили, что общая и про-

дуктивная кустистость существенным образом зависит от генетических особенностей и влияния внешних условий.

По количеству продуктивных стеблей на 1 м² следует отметить сорта Аксинит, Оникс и Амазонка, у которых продуктивная кустистость ежегодно превышала стандартный сорт на 7-12 шт./м², а у стандартного сорта Безенчукская 100 данный показатель был на уровне 224-284 шт./м² (табл. 5).

Отличия у изучаемых сортообразцов твердой пшеницы по морфологическим признакам не столь существенны, как между видами пшеницы, но, несмотря на это, имеются стабильные по годам различия по отдельным показателям.

Число зерен в колосе. Озерненность колоса имеет решающее значение при отборе на продуктивность, что является предпосылкой в получении высокого уровня урожая.

Озерненность колоса и продуктивная кустистость в первую очередь определяются как генетическими особенностями сорта, так и условиями (режим питания и влажность), в которых тот или иной сорт возделывается, а также от ряда агротехнических мероприятий. В каждом колоске пшеницы может быть до 5-9 зачатков цветков, но полноценно развиваются и образуют зерна обычно только 2-4 цветка.

В ходе проведенных исследований максимальное число зерен в колосе было отмечено у сортов Аксинит – 28 шт., Амазонка и Оникс – по 26 шт., что существенно превышало St. Безенчукская 100, где данный показатель во все годы исследований не превышал 20...22 шт. Выделившиеся образцы по данному признаку могли бы быть использованы в качестве источника для селекционной работы.

Таблица 5. Динамика высоты растений и продуктивной кустистости за 2023-2025 годы
Table 5. Dynamics of plant height and productive tillering for 2023-2025

Наименование сорта	Высота растений, см	Отклонение от стандарта, см	Продуктивная кустистость, шт./м ²	Отклонение от стандарта
2023 год				
Аксинит	52,2	-1,5	291	+7
Амазонка	54,0	+0,3	286	+2
Агат Донской	52,3	-1,4	263	-21
Богряница	53,8	+0,1	231	-53
Оникс	52,6	-1,1	296	+12
Гелиос	53,4	-0,3	272	-12
St Безенчукская 100	53,7	–	284	–
Среднее по коллекции	53,1		274,7	
2024 год				
Аксинит	52,0	-0,8	268	+14
Амазонка	53,1	+0,3	266	+12
Агат Донской	52,1	+0,3	250	-4
Богряница	53,2	+0,4	243	-11
Оникс	52,0	-0,8	262	+8
Гелиос	52,6	-0,2	256	+2
St Безенчукская 100	52,8	–	254	–
Среднее по коллекции	52,5		257	
2025 год				
Аксинит	50,6	-1,5	266	+15
Амазонка	51,3	-0,8	259	+8
Агат Донской	50,9	-1,2	250	+1
Богряница	51,6	-0,5	241	-10
Оникс	50,2	-1,9	259	+8
Гелиос	51,1	-1,0	252	+1
St Безенчукская 100	52,1	–	251	–
Среднее по коллекции	51,1		254	
Среднее по коллекции за 3 года	52,2		261,9	
НСР ₀₅	2,63		13,2	

В сельском хозяйстве коэффициенты корреляции используются для анализа взаимосвязей между различными факторами, такими как урожайность, качество продукции, климатические условия и применение удобрений. Они помогают оценить силу и направление связи и прогнозировать результаты. В наших опытах были также проведены расчеты коэффициента корреляции озерненности колоса с другими показателями. По результатам исследований было установлено, что наиболее сильная зависимость озерненности пшеницы наблюдается от массы зерна с колоса ($r=0,79$).

Масса 1000 зерен – показатель крупности, выполненности и качества семян, измеряемый в граммах. Он указывает на запас питательных веществ и размер зародыша, что напрямую влияет на энергию прорастания, развитие корневой системы

и, как следствие, будущую урожайность. Этот показатель зависит от множества факторов и варьируется в зависимости от культуры, сорта, условий выращивания, погодных условий и агротехнологий.

Определение массы 1000 семян также необходимо для правильного расчета нормы высева и оценки качества семян, поскольку оно указывает на их крупность и выполненность, что напрямую связано с запасом питательных веществ и потенциальной урожайностью. Это позволяет определить необходимое количество семян для получения полноценного урожая на единицу площади и сравнить посевной материал разных сортов или партий.

Как известно, на формирование массы зерна влияет множество факторов. В первую очередь, это агрометеорологические условия и приемы агротехники.

Таблица 6. Хозяйственно-ценные признаки сортов озимой пшеницы
Table 6. Economically valuable traits of winter wheat varieties

Наименование сорта	Число зерен в колосе, шт.	Отклонение от St	Масса 1000 зерен, г.	Отклонение от St
2023 год				
Аксинит	28	+6	41,2	+2,6
Амазонка	26	+4	41,0	+2,4
Агат Донской	22	0	38,5	-0,1
Богряница	24	+2	39,3	+0,7
Оникс	26	+4	38,3	-0,3
Гелиос	20	-2	37,6	+1,0
St Безенчукская 100	22	-	38,6	-
Среднее по коллекции	24		39,2	
2024 год				
Аксинит	22	+2	40,0	+2,8
Амазонка	22	+2	39,5	+2,3
Агат Донской	18	-2	38,1	+0,9
Богряница	21	+1	38,8	+1,6
Оникс	21	+1	37,9	+0,7
Гелиос	18	-2	36,2	-1,0
St Безенчукская 100	20	-	37,2	-
Среднее по коллекции	20,3		38,2	
2025 год				
Аксинит	22	+3	39,5	+2,4
Амазонка	21	+2	39,2	+2,1
Агат Донской	18	-1	38,0	+0,9
Богряница	20	+1	38,2	+1,1
Оникс	20	+1	37,7	+0,6
Гелиос	18	-1	36,2	-0,9
St Безенчукская 100	20	-	37,1	-
Среднее по коллекции	19,8		37,2	
Среднее по коллекции за 3 года	21,4		38,4	
HCP ₀₅	1,01		1,93	

В проведенных исследованиях отчетливо наблюдалось некоторое варьирование массы 1000 зерен у изучаемых сортов твердой пшеницы. За годы исследований 2023-2025 гг. весенне-летняя засуха, действующая на протяжении всего периода вегетации и в особенности в период налива зерна существенно повлияла на массу 1000 зерен. В среднем по коллекции, данный показатель составил 38,4 г. Наиболее крупными зернами отличались сорта: Аксинит (40,2 г.), Амазонка (39,9 г.).

Проведенный корреляционный анализ показал, что масса 1000 зерен существенным образом связана с массой зерна с колоса ($r=0,36$), что объясняется большим снижением урожайности в этот год именно за счет уменьшения массы 1000 зерен. Зависимости массы 1000 семян с числом колосков, длиной колоса, числом зерен отрицательны, так как увеличение числа зерна приводит к уменьшению их массы.

Масса зерна с колоса. Масса зерна с колоса считается одной из основных элементов структуры урожая и находится в прямой зависимости от числа зерен в колосе и массы 1000 зерен.

Согласно Н.П. и П.Л. Гончаровым (2009), масса зерна с колоса должна находиться в диапазоне 0,81,0 г. В ходе научных исследований 2023 года данный показатель у изучаемых сортов варьировался от 0,83 г (Оникс) до 1,45 г (Амазонка). В 2024 году – от 0,65 г (Гелиос) до 1,00 г (Аксинит), а в 2025 году – от 0,66 г (Гелиос) до 1,23 г (Амазонка) (табл. 6).

Анализ урожайности зерна у образцов твердой озимой пшеницы выявил, что преимущество по урожайности было отмечено у сортов Аксинит, Амазонка и Богряница, тогда как минимальные показатели зафиксированы у Гелиоса и Оникса.

Заключение. В результате проведенных полевых исследований за 2023-2025 годы в аридных условиях Астраханской области были изучены семь сортов озимой пшеницы, анализ которых позволил выделить по продолжительности вегетационного периода наиболее скороспелые сорта Аксинит, Амазонка и Оникс, сочетающие в себе короткий период вегетации с высокой продуктивной кустистостью и массой 1000 зерна от 38,0 г. до 40,2 г. они могут служить исходным материалом для практической селекции сортов, адаптированных к аридным условиям.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Annavarapu Venkata, Pamarthi Murali. Analysis of protein in wheat grain. // International Journal of Research -Granthaalayah. 2021. No. 9. P. 345-359. 10.29121/granthaalayah.v9.i9.2021.4286.
2. Optimal Fertilization Strategies for Winter Wheat Based on Yield Increase and Nitrogen Reduction on the North China Plain / Jiang X. [et al.] // Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 5. <https://doi.org/10.3390/su15054199>.
3. A New Fertilization Approach for Bread Wheat in the Mediterranean Environment: Effects on Yield and Grain Protein Content / Mathlouthi F [et al.] // Agronomy. 2022. Vol. 12, No. 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092152>.
4. Романов Б.В., Пимонов К.И. Феноменология продукционных признаков видов пшеницы: монография. Персиановский, 2018. 188 с.
5. Тютюма Н.В., Федорова В.А. Адаптивная реакция сортов озимой пшеницы на агроэкологические условия севера Астраханской области // Земледелие. 2024. № 1. С. 43-47.
6. Ivanova A., Atanasova P., Konsulova-Bakalova M. Winter wheat varieties responsiveness to soil and foliar fertilization // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 122. DOI 10.1051/bioconf/202412201027.

7. Беленков А.И., Дмитриевская И.И. Регулирование фитосанитарного состояния посевов зерновых культур на полигоне точного земледелия // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (148). С. 5-10.
8. Романов Б.В., Зеленская Г.М., Сорокина И.Ю. Сравнительная оценка озимых форм гексаплоидной тритикале на базе твёрдой и тургидной пшеницы // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 33-36.
9. Теоретические основы геномной инженерии пшеницы / Романов Б.В [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 18-21.
10. Los R., Dubovyk N. Research of modern varieties of winter wheat according to productivity depending on growing conditions // *Agrobiologiâ*. 2022. P. 119-129. 10.33245/2310-9270-2022-174-2-119-129.
11. Nitrogen fertilizer application rates and ratios promote the biochemical and physiological attributes of winter wheat / Kubar M. [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1011515>.
12. Jarecki W., Czernicka M. Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on multi-component foliar fertilization // *Journal of Elementology*. 2022. P. 559-567. 10.5601/jelem.2022.27.2.2286.
13. Селиванова В.Ю. Влагообеспеченность яровых культур в севообороте с различными обработками почвы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1. С. 154-161.
14. Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization / Lyu X. [et al.] // *The Crop Journal*. 2022. Vol. 10, No. 4. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.10.009>.
15. Metabolite Profiling of Wheat Grains (*Triticum aestivum* L.) from Organic and Conventional Agriculture / Zörb C.J. [et al.] // *Agric. Food Chem*. 2006. Vol. 54, No. 21. P. 8301-8306. <https://doi.org/10.1021/jf0615451>.
16. Чурзин В.Н., Кубраков Е.В. Влияние способов основной обработки на изменение агрофизических показателей, формирование запасов влаги в почве и урожайность озимой пшеницы на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2. С. 54-61.
17. Чурзин В.Н., Кубраков Е.В. Роль способов основной обработки почвы в накоплении почвенной влаги и использования атмосферных осадков при выращивании озимой пшеницы на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 1-6.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 351 с.: ил.

REFERENCE

1. Annavarapu Venkata, Pamarthi Murali. Analysis of protein in wheat grain. // *International Journal of Research - Granthaalayah*. 2021. No. 9. P. 345-359. 10.29121/granthaalayah.v9.i9.2021.4286.
2. Optimal Fertilization Strategies for Winter Wheat Based on Yield Increase and Nitrogen Reduction on the North China Plain / Jiang X. [et al.] // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 5. <https://doi.org/10.3390/su15054199>.
3. A new fertilization approach for bread wheat in the mediterranean environment: effects on yield and grain protein content / Mathlouthi F [et al.] // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092152>.
4. Romanov B.V., Pimanov K.I. Phenogenomics of production traits of wheat species: monograph. Persianovsky, 2018. 188 p. [In Russ.].
5. Tyutyuma N.V., Fedorova V.A. adaptive response of winter wheat varieties to agroecological conditions in the north of the Astrakhan Region // *Zemledelie*. 2024. No. 1. P. 43-47. [In Russ.].
6. Ivanova A., Atanasova P., Konsulova-Bakalova M. Winter wheat varieties responsiveness to soil and foliar fertilization // *BIO Web of Conferences*. 2024. Vol. 122. DOI 10.1051/bioconf/202412201027.

7. Belenkov A.I., Dmitrevskaya I.I. Regulation of phytosanitary condition of grain crops at a precision farming site // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2017. No. 2 (148). P. 5-10. [In Russ.].
8. Romanov B.V., Zelenskaya G.M., Sorokina I.Yu. Comparative assessment of winter forms of hexaploid triticale based on durum and turgid wheat // Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2015. No. 2. P. 33-36. [In Russ.].
9. Theoretical Foundations of Wheat Genome Engineering / Romanov B.V. [et al.] // Bulletin of Russian Agricultural Science. 2017. No. 5. P. 18-21. [In Russ.].
10. Los R., Dubovyk N. Research of modern varieties of winter wheat according to productivity depending on growing conditions. Agronomy. 2022. P. 119-129. 10.33245/2310-9270-2022-174-2-119-129.
11. Nitrogen fertilizer application rates and ratios promote the biochemical and physiological attributes of winter wheat / Kubar M. [et al.] // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1011515>.
12. Jarecki W., Czernicka M. Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on multi-component foliar fertilization // Journal of Elementology. 2022. P. 559-567. 10.5601/jelem.2022.27.2.2286.
13. Selivanova, V.Yu. Moisture supply of spring crops in crop rotation with different soil treatments in the dry-steppe zone of the Lower Volga region // News of the Nizhnevolzhskogo Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No. 1. P. 154-161. [In Russ.].
14. Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization / Lyu X. [et al.] // The Crop Journal. 2022. Vol. 10, No. 4. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.10.009>.
15. Metabolite Profiling of Wheat Grains (*Triticum aestivum* L.) from Organic and Conventional Agriculture / Zörb C.J. [et al.] // Agric. Food Chem. 2006. Vol. 54, No. 21. P. 8301-8306. <https://doi.org/10.1021/jf0615451>.
16. Churzin V.N., Kubrakov E.V. Influence of primary tillage methods on changes in agrophysical indicators, formation of soil moisture reserves and yield of winter wheat on light chestnut soils of the Volga-Don interfluvium // News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No. 2. P. 54-61. [In Russ.].
17. Churzin V.N., Kubrakov E.V. The role of primary tillage methods in soil moisture accumulation and the use of atmospheric precipitation in growing winter wheat on light chestnut soils of the Volgograd Region // News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No. 4 (52). P. 1-6. [In Russ.].
18. Dospekhov B.A. Field experiment methodology (with basics of statistical processing of research results). 6th ed. Moscow: Alliance, 2011. 351 p.: ill. [In Russ.].

Информация об авторах / Information about the authors

Тютюма Наталья Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, директор ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»; 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский муниципальный округ, с. Солёное Займище, кв. Северный, 8, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6582-2628>, e-mail: tutumanv@list.ru

Бондаренко Анастасия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией агротехнологий овощных культур ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»; 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский муниципальный округ, с. Солёное Займище, кв. Северный, 8, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-5667>, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

Тютюма Андрей Владимирович, младший научный сотрудник лаборатории агротехнологий овощных культур ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»; 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский муниципальный округ, с. Солёное Займище, кв. Северный, 8, ORCID: <https://orcid.org/000-00030589-8669>, e-mail: tyutyuma73@list.ru

Natalia V. Tyutyuma, Dr Sci. (Agr.), Director of the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 416251, the Russian Federation, the Astrakhan Region, the Chernoyarsky Municipal District, Solenoye Zaymishche village, 8 Severny kv., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6582-2628>, e-mail: tutumanv@list.ru

Anastasia N. Bondarenko, Dr Sci. (Agr.), Head of the Laboratory of Agricultural Technologies of Vegetable Crops, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 416251, the Russian Federation, the Astrakhan Region, the Chernoyarsky Municipal District, Solenoye Zaymishche village, 8 Severny kv., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-5667>, e-mail: bondarenko-n@mail.ru

Andrey V. Tyutyuma, Junior Researcher, Laboratory of Agricultural Technologies of Vegetable Crops, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 416251, the Russian Federation, the Astrakhan Region, the Chernoyarsky Municipal District, Solenoye Zaymishche village, 8 Severny kv., ORCID: <https://orcid.org/000-00030589-8669>, e-mail: tyutyuma73@list.ru

Заявленный вклад авторов

Тютюма Наталья Владимировна, Бондаренко Анастасия Николаевна – проведение экспериментов.

Тютюма Наталья Владимировна, Тютюма Андрей Владимирович – разработка методики.

Тютюма Андрей Владимирович, Бондаренко Анастасия Николаевна – подбор литературных источников.

Бондаренко Анастасия Николаевна, Тютюма Наталья Владимировна – оформление статьи по требованиям журнала.

Claimed contribution of the authors

Natalia V. Tyutyuma, Anastasia N. Bondarenko – conducting the experiments.

Natalia V. Tyutyuma, Andrey V. Tyutyuma – development of the methodology.

Andrey V. Tyutyuma, Anastasia N. Bondarenko – selecting the literature.

Anastasia N. Bondarenko, Natalia V. Tyutyuma – formatting the article according to the Journal requirements.

Поступила в редакцию 29.07.2026

Поступила после рецензирования 31.08.2026

Принята к публикации 01.09.2026

Received 29.07.2026

Revised 31.08.2026

Accepted 01.09.2026

[illegible]

Научное издание

Рецензируемый научный журнал «Новые технологии/New Technologies»

Том 22. №3. 2026

Издательство МГТУ

385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191

Бумага Чайка Бумага А. Печать цифровая.

Гарнитура Times. Усл. п.л. 21,75. Формат 60x84/8. Тираж 500 экз. Заказ 22/3.

Отпечатано с готового оригинал-макета

на участке оперативной полиграфии ИП Кучеренко В.О.

385008, г. Майкоп, ул. Пионерская, 403/33.

Тел. для справок 8-928-470-36-87.

E-mail: slv01@yandex.ru

