



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (82) 2026

ВЕСТНИК

**Казанского государственного
аграрного университета**



DOI 10.31588/2073-0462-2026-21-2

ISSN 2073-0462

ISSN 2073-0462
DOI 10.31588/2073-0462-2026-21-2

ВЕСТНИК
КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

VESTNIK
OF KAZAN STATE
AGRARIAN UNIVERSITY

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 2 (82)

Казань, 2026



Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»

Адрес редакции:
420015, Российская Федерация,
Республика Татарстан,
г. Казань, ул. К. Маркса, 65
тел. (843) 598 - 40 - 52

Официальный сайт журнала:
vestnik-kazgau.ru
E-mail:
vestnik@kazgau.com

Подписной индекс в каталоге
«Объединенный каталог.
Пресса России.
Газеты и журналы»
на 2026 год:
40977

Зарегистрирован
Федеральной службой по надзору в
сфере связи,
информационных технологий и
массовых коммуникаций
(Роскомнадзор) -
свидетельство о регистрации: ПИ
№ ФС-77-48189
от 19 января 2012 г.

**По решению ВАК России
«Вестник Казанского государ-
ственного аграрного университе-
та» входит в Перечень ведущих
рецензируемых научных журна-
лов и изданий, в которых могут
быть опубликованы основные
научные результаты диссертаци-
онных работ на соискание
ученой степени кандидата и
доктора наук по направлениям:**
4.1.1. Общее земледелие и расте-
ниеводство (сельскохозяйственные
науки) с 01.02.2022;
4.1.2. Селекция, семеноводство и
технология (сельскохозяйственные
науки) с 22.11.2022;
4.1.3. Агрохимия, агропочвовед-
ение, защита и карантин растений
(сельскохозяйственные науки)
с 22.11.2022;
4.3.1. Технологии, машины и оборудо-
вание для агропромышленного
комплекса (технические науки)
с 22.11.2022;
5.2.3. Региональная и отраслевая
экономика (экономические науки)
с 22.11.2022;
5.2.6. Менеджмент (экономические
науки) с 22.11.2022.

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

Журнал «Вестник Казанского
государственного аграрного
университета» включен в базу
Russian Science Citation Index
(*RSCI*)

Публикуется
4 раза в год
Дата выхода в свет:
16.07.2026

Авторы несут ответственность за
содержание статьи и
достоверность представленных
данных

Научный журнал Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2026, № 2 (82), июль Учрежден Казанским государственным аграрным университетом (Казанским институтом сельского хозяйства и лесоводства) в 1925 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Председатель редакционной коллегии, главный научный редактор

Валиев А.Р. – доктор технических наук, профессор, чл.-корр. АН РТ (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Заместители главного редактора:

Зиганшин Б.Г. – доктор технических наук, профессор, профессор РАН (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Калимуллин М.Н. – доктор технических наук, доцент (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Члены редакционной коллегии:

Васин А.В. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Самарский ФИЦ РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немыцева – филиал СамНЦ РАН, Ульяновск, Российская Федерация)

Дидмандзе О.Н. – доктор технических наук, профессор, академик РАН (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация)

Дозорова Т.А. – доктор экономических наук, профессор (Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Ульяновск, Российская Федерация)

Ерохин М.Н. – доктор технических наук, профессор, академик РАН (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация)

Исайчев В.А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Ульяновск, Российская Федерация)

Кадырова Ф.З. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. АН РТ (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Клычова Г.С. – доктор экономических наук, профессор (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Курдюмов В.И. – доктор технических наук, профессор (Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Ульяновск, Российская Федерация)

Лобачевский Я. П. – доктор технических наук, академик РАН (Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация)

Мазитов Н.К. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. РАН (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Мухаметгалиев Ф.Н. – доктор экономических наук, профессор (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Низамов Р.М. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Пономарева М.Л. – доктор биологических наук, профессор (Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Российская Федерация)

Сафин Р.И. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. АН РТ (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Сафиоллин Ф.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Казанский государственный аграрный университет, Казань, Российская Федерация)

Сорокин К.Н. – доктор технических наук (Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация)

Шоенов Ю.Х. – доктор технических наук, профессор, академик РАН (Российская академия наук, Москва, Российская Федерация)

Члены международной редакционной коллегии:

Абуова А.Б. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Республика Казахстан)

Акимбекова Г.У. – доктор экономических наук, профессор (Казахский НИИ экономики агропромышленного комплекса и развития сельских территорий, Алматы, Республика Казахстан)

Алещенкова З.М. – доктор биологических наук, профессор (Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь)

Байбусенов К.С. – PhD, ассоциированный профессор (Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Республика Казахстан)

Бауэр М.Ш. – доктор экономических наук, профессор (Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Республика Казахстан)

Бухарбаева А.Ж. – доктор PhD (Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Республика Казахстан)

Ли Хунтэн – доктор сельскохозяйственных наук, основатель Харбинской сельскохозяйственной научно-технической компании Лэши, главный научный сотрудник (Хэйлунцзянская Академия Сельскохозяйственных наук, Харбин, Китай)

Нго Као Кыонг – доктор биологических наук (Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам)

Нукешев С.О. – доктор технических наук, профессор (Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Республика Казахстан)

Панков Д.А. – доктор экономических наук, профессор (Белорусский государственный экономический университет, Минск, Республика Беларусь)

Сембиева Л.М. – доктор экономических наук, профессор (Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан)

Хасанова Г.Ж. – PhD, и.о. ассоциированного профессора (Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Республика Казахстан)

Шеров К.Т. – доктор технических наук, профессор (Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Республика Казахстан)



Founder and Publisher:
Kazan State Agrarian University
(FSBEI HE Kazan SAU)

Editorial Address:
65 K. Marx St., Kazan, Republic of
Tatarstan, 420015,
Russian Federation
Tel.: +7 (843) 598-40-52

Official Journal Website:
vestnik-kazgau.ru
Email:
vestnik@kazgau.com

Subscription Index in the "United
Catalogue. Press of Russia.
Newspapers and Journals" for
the of 2026:
40977

Registered by the Federal Service for
Supervision of Communications,
Information Technology and
Mass Media — Registration
Certificate:
PI No. FS-77-48189,
issued January 19, 2012

In accordance with the decision of
the Higher Attestation Commission
(VAK) of Russia, the "Vestnik of
Kazan State Agrarian University" is
included in the List of Leading Peer-
Reviewed Scientific Journals and
Publications in which the principal
scientific results of dissertations for
the degrees of Candidate and Doctor
of Sciences may be published in the
following fields:

- 4.1.1. General Agriculture and Crop
Production (Agricultural Sciences)
since 01/02/2022;
- 4.1.2. Breeding, Seed Production and
Technology (Agricultural Sciences)
since 22/11/2022;
- 4.1.3. Agrochemistry, Agrosol Sci-
ence, Plant Protection and Quarantine
(Agricultural Sciences) since
22/11/2022;
- 4.3.1. Technologies, Machinery and
Equipment for the Agro-Industrial
Complex (Technical Sciences) since
22/11/2022;
- 5.2.3. Regional and Sectoral Econom-
ics (Economic Sciences) since
22/11/2022;
- 5.2.6. Management (Economic Scienc-
es) since 22/11/2022.

The journal "Vestnik of Kazan State
Agrarian University" is indexed in
the Russian Science Citation Index
(RSCI) database

Publication frequency:
4 issues per year
Date of publication:
July 16, 2026

The authors bear responsibility for the
content of the article and the accuracy
of the data presented

Scientific Journal Vestnik of Kazan State Agrarian University, 2026, No. 2 (82), May Founded by Kazan State Agrarian University (Kazan Institute of Agriculture and Forestry) in 1925.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Ayrat R. Valiev – Doctor of Engineering, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Deputy Editors:

Bulat G. Ziganshin – Doctor of Engineering, professor, professor of the Russian Academy of Sciences (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Marat N. Kalimullin – Doctor of Technical Sciences, associate professor (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Members of the Editorial Board:

Alexey V. Vasin – Doctor of Agriculture, professor (Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, N.S. Nemtsev Ulyanovsk Research Institute of Agriculture – Branch of the SamSC RAS, Ulyanovsk, Russian Federation)

Otari N. Didmanidze – Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences (Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation)

Tatyana A. Dozorova – Doctor of Economic Sciences, Professor (Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russian Federation)

Mikhail N. Erokhin – Doctor of Technical Sciences, Professor, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences (Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation)

Vitaly A. Isaichev – Doctor of Agriculture, professor (Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russian Federation)

Fanusya Z. Kadyrova – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Guzalia S. Klychova – Doctor of Economics, professor (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Vladimir I. Kurdyumov – Doctor of Engineering, professor (Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russian Federation)

Yakov P. Lobachevsky – Doctor of Engineering, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences (Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation)

Nazib K. Mazitov – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Farit N. Mukhametgaliev – Doctor of Economics, professor (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Rustam M. Nizamov – Doctor of Agriculture, associate professor (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Mira L. Ponomareva – Doctor of Biological Sciences, professor (Tatar Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation)

Radik I. Safin – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Faik N. Safiullin – Doctor of Agriculture, professor (Kazan State Agrarian University, Kazan, Russian Federation)

Konstantin N. Sorokin – Doctor of Technical Sciences (Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation)

Yury Kh. Shogenov – Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences (Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation)

Members of the International Editorial Board:

Altynay B. Abuova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor (International Engineering and Technology University, Almaty, Republic of Kazakhstan)

Galiya U. Akimbekova – Doctor of Economics, Professor (Kazakh Research Institute of Economics of the Agro-Industrial Complex and Rural Development, Almaty, Republic of Kazakhstan)

Zinaida M. Aleshchenkova – Doctor of Biological Sciences, Professor (Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus)

Kurmet S. Baybusenov – PhD, Associate Professor (S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan)

Maira Sh. Bauer – Doctor of Economic Sciences, Professor (S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan)

Akmaral Zh. Bukharbaeva – Doctor Ph.D (Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan)

Li Hongpeng – Doctor of Agricultural Sciences, Founder of Harbin Agricultural Science and Technology Company Chief Researcher (Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, China)

Ngo Cao Cuong – Doctor of Biological Sciences (Joint Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Center, Hanoi, Vietnam)

Sayakhat O. Nukeshev – Doctor of Technical Sciences, Professor (S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan)

Dmitry A. Pankov – Doctor of Economics, professor (Belarusian State Economic University, Minsk, Republic of Belarus)

Lyazzat M. Sembieva – Doctor of Economics, professor (Eurasian National University, L.N. Gumilyov, Astana, Republic of Kazakhstan)

Gulmira Zh. Khasanova – PhD, Acting Associate Professor (S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan)

Karibek T. Sherov – Doctor of Technical Sciences, Professor (S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan)

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

стр.

<i>Сержанов И.М., Шайхутдинов Ф.Ш., Гараев Р.И., Сержанова А.Р., Ногуманов И.З. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Предшественник – основа формирования высокого урожая с хорошими технологическими качествами зерна яровой мягкой пшеницы в северной части лесостепи Поволжья (на англ.).....	6
<i>Вафин И.Х., Сафин Р.И. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Перспективы использования эндофитных бактерий семян и органических кислот в качестве биопрепаратов для защиты растений.....	12
<i>Волкова Л.В. (Киров, Российская Федерация)</i>	
Использование тестера SPAD 502 Plus для диагностики содержания хлорофилльных пигментов в листьях яровой пшеницы.....	22
<i>Ивенин А.В., Ивенин В.В., Петров Л.К., Голубев С.М. (Нижний Новгород, Российская Федерация)</i>	
Энергетическая эффективность возделывания сортов озимой пшеницы в зависимости от применения элементов ЭМ-технологий и нанокремния на различных фонах минерального питания в Нижегородской области.....	29
<i>Киселева Е.Н., Раченко М.А. (Иркутск, Российская Федерация)</i>	
Оценка генофонда малины ремонтантной по устойчивости к вредителям в Южном Прибайкалье.....	37
<i>Тимохин А.Ю., Шулико Н.Н., Кубасова Е.В., Тукмачева Е.В. (Омск, Российская Федерация), Терентьев А.В. (Москва, Российская Федерация)</i>	
Влияние различных условий минерального питания на биологическую активность лугово-черноземной почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур.....	46
<i>Тулинов А.Г. (Сыктывкар, Российская Федерация)</i>	
Влияние различных доз минеральных удобрений на урожайность и качественные показатели сорта картофеля Печорский.....	54

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Беляков М.В., Герасименко С.А., Борзенко С.И., Ефременков И.Ю. (Москва, Российская Федерация)</i>	
Разработка системы фотолюминесцентной сепарации зараженного фузариозом зерна.....	61
<i>Валиев А.Р., Хазиев А.А., Сабиров Р.Ф., Гайнутдинов Б.И. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Обоснование радиуса кривизны скатной пластины рабочего органа для подкорневого внесения минеральных удобрений.....	71
<i>Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Соловьев А.В., Прец М.А., Зангиров А.Ф. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Влияние конструктивных зазоров на аэродинамические характеристики конвертоплана типа «БАРС» для задач аграрного мониторинга.....	79
<i>Хасанов Э.Р. (Уфа, Российская Федерация), Козловцев А.П. (Оренбург, Российская Федерация), Галимов А.Ш., Якупов А.М. (Уфа, Российская Федерация)</i>	
Моделирование процесса влияния рабочей поверхности вставок в протравливателе барабанного типа на качество обработки.....	88
<i>Шистеев А.В. (п. Молодежный, Российская Федерация)</i>	
Формализация модели интеллектуализации системы технического обслуживания и ремонта машин.....	97

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Газетдинов Ш.М. (Казань, Российская Федерация), Якимова О.Ю., Коваленко Е.Г. (Саранск, Российская Федерация), Зиганшин Б.Г. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Методологические аспекты формирования и развития экономической базы сельских территорий.....	107
<i>Дозорова Т.А. (Ульяновск, Российская Федерация), Михайлова Л.В. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Экономические интересы крестьянских (фермерских) хозяйств: концептуальные основы и эмпирические индикаторы.....	117
<i>Коновалова М.Е., Кузьмина О.Ю. (Самара, Российская Федерация), Жиронкин С.А. (Кемерово, Российская Федерация; Красноярск, Российская Федерация), Сафиуллин Л.Н. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Проблемы и перспективы развития логистических путей на рынке зерна.....	124
<i>Кузнецов С.В. (Рязань, Российская Федерация)</i>	
Формирование методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств.....	134
<i>Нардина С.А., Красовская А.В., Нардин Д.С. (Омск, Российская Федерация)</i>	
Анализ рынка семян ярового рапса в Омской области.....	146
<i>Осадчая С.М. (Белгород, Российская Федерация)</i>	
Отраслевые практики социально-этического маркетинга в деятельности предприятий агропромышленного комплекса: приоритеты и возможности.....	155
<i>Петрушина О.В., Жиликов Д.И., Кошман Н.Н. (Курск, Российская Федерация)</i>	
Функциональный анализ государственной аграрной политики: институциональные механизмы и экономическая эффективность.....	165
<i>Сафиуллин М.Р., Ельшин Л.А., Колесникова Ю.С., Кулагин Р.В. (Казань, Российская Федерация)</i>	
Влияние селекционных достижений на развитие региональных программ импортозамещения в регионах РФ.....	175

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

pages

<i>Serzhanov I.M., Shaykhutdinov F.Sh., Garaev R.I., Serzhanova A.R., Nogumanov I.Z. (Kazan, Russian Federation)</i>	
Predecessor is the basis for high-yielding with good technological qualities of spring soft wheat grain in the northern forest-steppe of Volga region (<i>in English</i>).....	6
<i>Vafin I.Kh., Safin R.I.</i>	
Prospects for using endophytic seed bacteria and organic acids as biopreparations for plant protection (<i>in Russian</i>).....	12
<i>Volkova L.V. (Kirov, Russian Federation)</i>	
Using SPAD 502 Plus tester to diagnose chlorophyll pigment content in spring wheat leaves (<i>in Russian</i>).....	22
<i>Ivenin A.V., Ivenin V.V., Petrov L.K., Golubev S.M. (Nizhny Novgorod, Russian Federation)</i>	
Energy efficiency of winter wheat cultivation depending on the use of EM-technology elements and nanosilicon on various mineral nutrition backgrounds in Nizhny Novgorod region (<i>in Russian</i>).....	29
<i>Kiseleva E.N., Rachenko M.A. (Irkutsk, Russian Federation)</i>	
Evaluation of remnant raspberry gene pool for pest resistance in the Southern Baikal region (<i>in Russian</i>).....	37
<i>Timokhin A.Yu., Shuliko N.N., Kubasova E.V., Tukmacheva E.V. (Omsk, Russian Federation) Terentev A.V. (Moscow, Russian Federation)</i>	
Influence of various mineral nutrition conditions on biological activity of meadow-chernozem soils and productivity of agricultural crop (<i>in Russian</i>).....	46
<i>Tulinov A.G. (Syktyvkar, Russian Federation)</i>	
Effect of various doses of mineral fertilizers on productivity and quality indicators of Pechorskiy potato variety (<i>in Russian</i>).....	54

TECHNICAL SCIENCES

<i>Belyakov M.V., Gerasimenko S.A., Borzenko S.I., Efremkov I.Yu. (Moscow, Russian Federation)</i>	
Development of photoluminescent separation system for fusarium-infected grain (<i>in Russian</i>).....	61
<i>Valiev A.R., Khaziev A.A., Sabirov R.F., Gaynutdinov B.I. (Kazan, Russian Federation)</i>	
Justification of curvature radius of deflector plate of a working unit for subsurface application of mineral fertilizers (<i>in Russian</i>).....	71
<i>Dmitriev A.V., Zinurov V.E., Solovov A.V., Pretz M.A., Zangirov A.F. (Kazan, Russian Federation)</i>	
Influence of structural gaps on the aerodynamic characteristics of "BARS" type tiltrotor for agricultural monitoring (<i>in Russian</i>).....	79
<i>Khasanov E.R. (Ufa, Russian Federation), Kozlovtshev A.P. (Orenburg, Russian Federation), Galimov A.Sh., Yakupov A.M. (Ufa, Russian Federation)</i>	
Modeling the impact process of working surface of inserts in a drum-type treater on treatment quality (<i>in Russian</i>).....	88
<i>Shisteev A.V. (Molodezhny, Russian Federation)</i>	
Formalization of intelligence model for machinery maintenance and repair system (<i>in Russian</i>).....	97

ECONOMIC SCIENCES

<i>Gazetdinov Sh.M. (Kazan, Russian Federation), Yakimova O.Yu., Kovalenko E.G. (Saransk, Russian Federation), Ziganshin B.G. (Kazan, Russian Federation)</i>	
Methodological aspects of formation and development of economic base of rural areas (<i>in Russian</i>).....	107
<i>Dozorova T.A. (Ulyanovsk, Russian Federation), Mikhaylova L.V. (Kazan, Russian Federation)</i>	
Economic interests of peasant (farm) households: conceptual basis and empirical indicators (<i>in Russian</i>).....	117
<i>Konovalova M.E., Kuzmina O.Yu. (Samara, Russian Federation), Zhironkin S. A. (Kemerovo, Russian Federation; Krasnoyarsk, Russian Federation), Safiullin L. N. (Kazan, Russian Federation)</i>	
Problems and prospects for the development of logistics routes in grain market (<i>in Russian</i>).....	124
<i>Kuznetsov S.V. (Ryazan, Russian Federation)</i>	
Development of a food security assessing method under sanctions imposed by unfriendly states (<i>in Russian</i>).....	134
<i>Nardina S.A., Krasovskaya A.V., Nardin D.S. (Omsk, Russian Federation)</i>	
Analysis of spring rapeseed market in Omsk region (<i>in Russian</i>).....	146
<i>Osadchaya S.M. (Belgorod, Russian Federation)</i>	
Industry practices of social and ethical marketing in activities of agro-industrial complex enterprises: priorities and opportunities (<i>in Russian</i>).....	155
<i>Petrushina O.V., Zhilyakov D.I., Koshman N.N. (Kursk, Russian Federation)</i>	
Functional analysis of state agrarian policy: institutional mechanisms and economic efficiency (<i>in Russian</i>).....	165
<i>Safiullin M.R., Elshin L.A., Kolesnikova Yu.S., Kulagin R.V. (Kazan, Russian Federation)</i>	
Impact of breeding advances on the development of regional import substitution programs in the regions of the Russian Federation (<i>in Russian</i>).....	175

PREDECESSOR IS THE BASIS FOR HIGH-YIELDING WITH GOOD TECHNOLOGICAL QUALITIES OF SPRING SOFT WHEAT GRAIN IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF VOLGA REGION

© 2026 Serzhanov I. M. ✉, Shaykhutdinov F. Sh., Garaev R. I., Serzhanova A. R.,
Nogumanov I. Z.

*Kazan State Agrarian University
(Kazan, Russian Federation)*

✉ igor.serzhanov@mail.ru

Abstract. The study was conducted to identify the response of spring wheat to various precursors in gray forest and chernozem soils of the northern forest-steppe of Volga region, with the aim of improving the region's farming system. The work was carried out from 2018 to 2022 on gray forest soils and leached chernozems. Experimental scheme involved studying the following predecessors: corn, potatoes, sugar beets, peas, barley, a second crop of spring wheat (control) and winter rye after peas. In anticipation of obtaining the planned yield of 3 t/ha of wheat grain, mineral fertilizers were applied before sowing at doses depending on the predecessor ($N_{57...69}P_{21...39}K_{19...56}$). The highest yield of the cultivated crop was observed after peas; on average, the increase over five years compared to the control was equal to 1.01 t/ha. When spring wheat was planted after potatoes on gray forest soils, it was 0.97 t/ha, corn for silage – 0.80, winter rye – 0.78 t/ha. In chernozem soil of Volga region, the yield increase after peas was 1.21 t/ha, after corn for silage – 1.15, after sugar beet – 1.06, and after winter rye – 0.83 t/ha. On gray forest soil, grain grown after peas showed the best yield in terms of key quality indicators, followed by corn for silage and potatoes. When spring wheat was planted after peas, grain vitreousness increased by 13.1%, protein content by 0.9% and gluten by 5.8% compared to the control. On chernozem soil, grain vitreousness increased by 18.5% after peas, while protein and gluten content increased by 0.3% and 3.9%, respectively, after corn.

Key words: predecessor crops, spring wheat (*Triticum aestivum* L.), yield, soil, grain quality.

For citation: Serzhanov IM, Shaykhutdinov FSh, Garaev RI, et al. [Predecessor is the basis for high-yielding with good technological qualities of spring soft wheat grain in the northern forest-steppe of Volga region]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 6-11 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-6-11

ПРЕДШЕСТВЕННИК – ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО УРОЖАЯ С ХОРОШИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КАЧЕСТВАМИ ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

© 2026 Сержанов И. М. ✉, Шайхутдинов Ф. Ш., Гараев Р. И., Сержанова А. Р.,
Ногуманов И. З.

*Казанский государственный аграрный университет
(г. Казань, Российская Федерация)*

✉ igor.serzhanov@mail.ru

Реферат. Исследования проводили с целью выявления реакции яровой пшеницы на различные предшественники в условиях серых лесных и черноземных почв северной части лесостепи Поволжья для совершенствования системы земледелия региона. Работу выполняли в 2018–2022 годах на серых лесных почвах и выщелоченных черноземах. Схема опыта предполагала изучение следующих предшественников: кукуруза, картофель, сахарная свекла, горох, ячмень, повторный посев яровой пшеницы (контроль) и озимая рожь после гороха. В расчете на получение запланированного урожая 3 т/га зерна пшеницы до посева вносили минеральные удобрения в дозах, в зависимости от предшественника, $N_{57...69}P_{21...39}K_{19...56}$). Наибольшую урожайность выращиваемой культуры отмечали после гороха, в среднем за пять лет прибавка к контролю была равна 1,01 т/га. При размещении яровой пшеницы после картофеля на серых лесных почвах она составила 0,97 т/га, кукурузы на силос – 0,80, озимой ржи – 0,78 т/га. В условиях черноземных почв Предволжья прибавка после гороха составила 1,21 т/га, кукурузы на силос – 1,15, сахарной свеклы – 1,06, озимой ржи – 0,83 т/га. На серой лесной почве лучшим по основным показателям качества было зерно, выращенное по гороху, далее следовали кукуруза на силос и картофель. Стекловидность зерна при размещении яровой пшеницы по гороху увеличивалось, по сравнению с контролем, на 13,1 %, содержание белка – на 0,9%, клейковина – на 5,8%. На черноземной почве повышение стекловидности на 18,5% отмечали после гороха, содержания белка и клейковины (соответственно на 0,3% и 3,9%) – после кукурузы.

Ключевые слова: предшественники, яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), урожай, почва, качество зерна.

Для цитирования: Предшественник – основа формирования высокого урожая с хорошими технологическими качествами зерна яровой мягкой пшеницы в северной части лесостепи Поволжья / И. М. Сержанов, Ф. Ш. Шайхутдинов, Р. И. Гараев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 6-11. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-6-11

Introduction. Spring wheat is a leading food crop. Annually 23-25% of arable land of the Republic of Tatarstan is allocated to its cultivation. Spring wheat grain production has increased significantly as a result of major measures to implement government agricultural decisions, the gross grain harvest amounted to 2.5 million tons [1, 2, 3].

In recent years (2018-2022) the average yield of this valuable crop increased by 0.63 t/ha, reaching 2.63 t/ha in the Republic of Tatarstan [4, 5, 6].

In 2023-2024, despite dry weather conditions, an average of 2.53 t/ha of spring wheat grain was harvested [7, 8, 9].

Many researchers recommend planting spring wheat after good predecessors, particularly row crops and peas [10, 11].

A significant number of scientific papers have been devoted to the issue of spring wheat predecessors. However, this issue remains relevant in recent years [12, 13, 14].

According to some researchers, spring wheat should be planted after such predecessors as alfalfa and silage corn [15, 16, 17].

The aim of this study was to identify the response of spring wheat to various predecessors in the gray forest and chernozem soil of northern Volga forest-steppe region to improve the region's farming systems.

Conditions, materials and methods. Work was carried out in 2018-2022 on various soil types in the Republic of Tatarstan: gray forest soil (Predkamye (Cis-Kama region)) and leached chernozem (Predvolzhye (Cis-Volga region)). Field and laboratory research was conducted at Agrobiotechnopark of Kazan State Agrarian University, where gray forest soil in the 0-20 cm layer had a near-neutral pH (pHsol. – 6.5), was characterized by an average humus content of 3.4-3.6% (according to Tyurin), a high supply of mobile phosphorus (210-250 mg/kg according to Kirsanov) and an increased supply of mobile potassium (123-169 mg/kg of soil).

Agrochemical characteristics of leached chernozem at Avangard LLC, where the experiments were conducted, were as follows: humus content in the arable soil layer (0...30 cm) - 7.0...8.1% (according to Tyurin), available phosphorus - 180...242, available potassium - 153...187 mg/kg (according to Kirsanov), pHsol - 5.7...5.8 units.

Experimental studies were conducted using the following scheme to identify the specific effect of precursors and their impact on spring wheat: re-seeding of spring wheat (control); winter rye after occupied fallow (peas); barley; corn for silage; peas; potatoes; sugar beet. The experiment was replicated 4 times with a systematic arrangement of variants. The plot area was 60 m².

Spring wheat cultivation practices are

generally accepted according to the zonal farming system of the Republic of Tatarstan. Nutrient background of N_{57...69}P_{21...39}K_{19...56} was applied before sowing in the form of ammophoska, ammonium nitrate and potassium salt (calculated doses for 3 tons of grain per 1 ha for spring wheat).

Spring wheat of Burlak variety was bred domestically (originated by Ulyanovsk Research Institute of Agriculture). Field trials, observations, evaluation and records were conducted in accordance with the guidelines of B.A. Dospekhov [18]. Phenological observations of growth and development, yield records and other related studies were conducted according to State Variety Testing methodology [19]. Crop structure was assessed using test sheaves taken from 0.33 m² plots (in three locations within the plot, in four replicates).

Spring wheat grain yield was determined by plot threshing, followed by conversion to standard moisture content (14%) and absolute purity (100%).

Technological qualities of grain were determined in accordance with current State standards (GOST): grain weight – according to GOST 10840.64 (drop weight threshing); grain vitreousness – according to GOST 10987-86; grain protein content – according to GOST 10846-91; and grain gluten content – according to GOST R 544478-2011.

Harvesting was carried out at the full grain maturity stage using a combine harvester.

Weather data during the experiments were based on indicators of meteorological stations from Laishevskiy and Buinskiy districts of the Republic of Tatarstan. The beginning of spring wheat growing season (May) in the years of study, with the exception of 2022, was accompanied by dry weather on both soil types. This phenomenon is not uncommon for Cis-Kama and Cis-Volga regions of the Republic. 21.8-24.0 mm of precipitation fell in May 2018, which is 55.9-60.5% of the norm, in June - 34.4-37.6 mm (60.7-70.5%) and in total for the growing season - 112-134 mm. The hydrothermal coefficient (HTC) for the growing season was 0.82-0.94. Precipitation in May and June in total in 2019 amounted to only 58-61% of the norm. In July, the amount of precipitation was 49.8-52.0 mm or 83-87% of the norm. The hydrothermal coefficient for the growing season is 0.96...0.99. The beginning of May 2020 was characterized by high temperatures, exceeding the average values by 3.2...4.1°C. Precipitation in May amounted to 27.0...24.3 mm or 79...72% of the norm, in June - 29.0...33.6 mm (51.0...56.0% of the average values), the hydrothermal coefficient is 0.87...0.91. Agrometeorological data for 2021 were extreme due to high

temperatures and insignificant amounts of precipitation, both in May and June – 15.0...18.0 mm (36.5...38.5%) and 9...19 mm (15.0...31.0% of the norm). The hydrothermal coefficient for the growing season is 0.29...0.36. At the beginning of 2022 growing season favorable conditions for a high spring wheat yield were achieved. Precipitation in May ranged from 78 to 62 mm (190.2 to 165.0% of the norm), while in June it ranged from 19 to 28 mm, or 30.1 to 45.0% of the average.

Overall, in the five study years, with the

exception of 2022, moisture availability in Cis-Kama and Cis-Volga regions of the Republic of Tatarstan was below the long-term average, indicating a consistent trend of decreasing precipitation during the first half of spring wheat growing season in recent years.

Statistical analysis of the study results was performed using analysis of variance [18].

Results and discussion. Predecessors, while exerting a certain influence on soil fertility factors, ultimately impacted spring wheat productivity (table 1).

Table 1 – Grain yield of spring wheat of Burlak variety depending on predecessors (average for 2018-2022)

Таблица 1 – Урожай зерна яровой пшеницы сорта Бурлак в зависимости от предшественников (среднее за 2018–2022 годы)

Predecessor	Gray forest soil		Leached chernozem	
	yield, t/ha	increase over control, %	yield, t/ha	increase over control, %
Silage corn	2.78	40.4	3.40	51.1
Potatoes	2.95	49.0	-	-
Sugar beet	-	-	3.31	47.1
Peas	2.99	51.0	3.46	53.8
Barley	2.23	12.6	2.60	15.6
Spring wheat (control)	1.98	-	2.25	-
Rye after peas	2.76	39.4	3.08	36.9
HCP ₀₅	0.5		0.2	

The average spring wheat yield for 2018-2022 on gray forest soil was: peas – 2.99 t/ha, exceeding the control by 1.01 t, and potatoes – 2.95 t/ha, an increase over the control by 0.97 t. Peas and potatoes proved to be the best precursors on gray forest soil, providing yield increases of 49.0-51.0% relative to the control.

Overall wheat yield is significantly higher on leached chernozem. However, peas even proved to be the best predecessor, providing an additional 1.20 tons of wheat grain per hectare compared to the control. Spring wheat responded well to corn and sugar beets, increasing the productivity by 47.1–51.1% compared to the control, in the western Volga regions of the republic. The importance of peas as the best predecessor for spring wheat is noted in the scientific works of A. A. Ziganshin, 2001 [20]. The content of available nitrogen in the soil increases after growing peas and other leguminous crops due to their ability to enter into

symbiotic relationships with nodule bacteria of *Rhizobium* genus. Peas are capable of assimilating up to 55% of its nitrogen requirements from the air under conditions that ensure active nitrogen fixation. The peculiarity of mineral nutrition of peas is that by flowering, plants absorb 46-50% of the total nitrogen input during the growing season, reducing soil nitrogen depletion. The amount of readily hydrolyzable nitrogen increases, improving the agrophysical condition of soil, ultimately creating favorable conditions for plant growth and development. Results from determining the yield structure show that the increase in wheat grain yield from peas and row crops is due to higher ear grain content and increased 1.000-kernel weight.

Spring wheat produces grain with high technological qualities with good agricultural practices. Grain quality varied significantly depending on the preceding crops (table 2).

Table 2 – Effect of predecessors on technological quality of spring wheat grain (2018–2022)

Таблица 2 – Влияние предшественников на технологические качества зерна яровой пшеницы (2018–2022 годы)

Predecessor	Gray forest soil			Leached chernozem		
	vitreousness, %	protein content, %	gluten, %	vitreousness, %	protein content, %	gluten, %
Silage corn	51.5	13.5	22.2	52.0	13.3	25.2
Potatoes	46.2	12.8	22.8	-	-	-
Sugar beet	-	-	-	46.0	13.1	22.1
Peas	53.9	13.5	23.4	59.6	13.2	22.9
Barley	33.9	12.6	20.5	41.5	13.0	22.0
Spring wheat (control)	40.8	12.6	17.6	41.1	13.0	21.3
Rye after peas	48.0	12.1	21.0	50.7	13.1	22.3
HCP ₀₅	0.2	0.2	0.1	0.9	0.4	0.4

On average, over 5 years on gray forest soil, wheat grown after peas and row crops demonstrated the best grain quality across key parameters. The increase, compared to the control, after peas in vitreousness was 13.1%, protein content – 0.9%, gluten – 5.8%. On leached chernozem, peas also proved to be the best precursor for spring wheat. The vitreousness index was 18.5% higher than the control variant, and the protein content was 0.2% and gluten content was 0.8%. After corn, the excess over the control in vitreousness was 10.5%, protein – 0.3% and gluten – 3.9%.

Conclusions. The best predecessors to spring wheat in crop rotation, providing higher yield increases, are peas (1.01 t/ha) and potatoes (0.97 t/ha) on gray forest soil, and peas (1.20 t/ha), corn (1.15 t/ha) and sugar beet (1.06 t/ha) on leached chernozem.

On both soil types, predecessors such as peas and row crops significantly improved spring wheat grain quality compared to the control (repeat sowing of spring wheat): grain vitreousness by 10.7-18.5%, protein content by 0.2-0.9% and gluten content by 1.6-5.8%.

References

1. Valiev AR, Gabdrakhmanov IKh, Safin RI, Ziganshin BG. Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan. Chast 3. [Agricultural system of the Republic of Tatarstan. Vol.3]. Kazan: OOO Tsentri innovatsionnykh tekhnologii. 2014; 280 p.
2. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Avkhadiyev FN. [Features of regional agriculture development in modern conditions]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 3 (67). 144-153 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-144-153.
3. Mukhametgaliev FN, Khafizov DF, Khismatullin MM. [Development of small farming and cooperation forms in rural areas]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 1 (52). 138-144 p. doi: 10.12737/article_5ccedf76d50a12.50893731.
4. Serzhanova AR, Biktagirova EI. [Fertilization of spring wheat in the conditions of gray forest soils of Cis-Kama region of the Republic of Tatarstan]. Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie. 2022; 2 (2). 33-36 p. doi: 10.12737/2782-490X-2022-27-31.
5. Lukmanova AA, Kadyrova FZ, Safin RI. [Assessment of suitability of different spring wheat varieties for carbon farming]. Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie. 2023; 1 (5). 27-33 p. doi: 10.12737/2782-490X-2023-27-33.
6. Amirov MF, Garaev RI, Zheltukhin AV. [Productivity and adaptability of spring wheat varieties of KVS company in the conditions of Cis-Kama region of the Republic of Tatarstan]. Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie. 2022; 3 (3). 12-19 p. doi: 10.12737/2782-490X-2022-12-19.
7. Semenov PG, Amirov MF, Serzhanov IM. [Comparative productivity of different types of spring wheat on gray forest soil of the Republic of Tatarstan]. Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 2. 12-20 p. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20.
8. Garaev RI, Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM. [Influence of seed depth on spring wheat productivity in the conditions of Cis-Kama region of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 1 (73). 5-11 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-5-11.
9. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Sitdikova LF. [Main trends in regional agricultural growth: from volume to sustainability]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 1 (73). 117-123 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-117-123.
10. Lukmanov AA, Vladimirov KV, Valiev AA. [Liming of acidic soils in the Republic of Tatarstan]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021; Vol.35. 9. 15-18 p. doi: 10.53859/02352451_2021_35_9_15.
11. Abdrazyakov OR, Aliev ShA, Blokhin VI. Resursosberegayushchie tekhnologii i ekonomicheskie normativy proizvodstva produktsii rasteniyevodstva v usloviyakh Respubliki Tatarstan. [Resource-saving technologies and economic standards for crop production in the Republic of Tatarstan]. Kazan: Master-Layn. 2002; 280 p.
12. Minikaev RV, Shaykhutdinov FSh, Manyukova IG. Sovershenstvovanie sistemy obrabotki pochvy v agrolandshaftakh srednego Povolzhya. [Improving the soil cultivation system in the agrolandscapes of Middle Volga region]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2021; 400 p.
13. Demina EA, Kincharov AI, Taranova TYu. [Soft spring wheat of Kinelskaya zvezda variety for the conditions of Middle Volga and Ural regions]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol.36. 11. 49-55 p. doi: 10.53859/02352451_2022_36_11_49.
14. Safin RI, Valiev AR, Nurullin EG. [Technical support of the grain crop genetic resources management system]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025; Vol.20. 2 (78). 104-112 p. doi: 10.12737/2073-0462-2025-104-112.
15. Vlasov VG, Nikiforova SA. [Response of spring soft wheat of Burlak variety to the level of mineral nutrition and top dressing]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 4 (68). 67-74 p. doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-67-74.
16. Semenov PG, Amirov MF, Serzhanov IM. [Comparative productivity of different types of spring wheat on gray forest soil of the Republic of Tatarstan]. Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 2. 12-20 p. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20.
17. Ismagilov KR. [Agroclimatic zoning of the territory of the Republic of Bashkortostan and production of food grain from spring wheat]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 1 (65). 24-30 p. doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-24-30.
18. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy. [Methodology of field experiments: with the basics of statistical processing of research results]. Moscow: Kniga po trebovaniyu. 2013; 349 p.
19. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Moscow: Gossortkomissiya. 2019; issue 1. 329 p.
20. Ziganshin AA. Sovremennye tekhnologii i programmirovaniye urozhnosti. [Modern technologies and yield programming]. Kazan: Izd-vo KGU. 2001; 172 p.

Литература

1. Система земледелия Республики Татарстан / А. Р. Валиев, И. Х. Габдрахманов, Р. И. Сафин, Б. Г. Зиганшин. Том Часть 3. Казань: ООО «Центр инновационных технологий», 2014. 280 с.
2. Особенности развития регионального сельского хозяйства в современных условиях / Ф. Н. Мухаметгалеев, А. Р. Валиев, Ф. Н. Авхадиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3 (67). С. 144–153. doi: 10.12737/2073-0462-2022-144-153.
3. Вопросы развития малых форм хозяйствования и кооперации в сельской местности / Ф. Н. Мухаметгалеев, Д. Ф. Хафизов, М. М. Хисматуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 138–144. doi: 10.12737/article_5ccedf76d50a12.50893731.
4. Сержанова А. Р., Биктагирова Э. И. Удобрение яровой пшеницы в условиях серых лесных почв Предкамья Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 2 (2). С. 33–36. doi: 10.12737/2782-490X-2022-27-31.
5. Лукманова А. А., Кадырова Ф. З., Сафин Р. И. Оценка пригодности различных сортов яровой пшеницы для карбонового земледелия // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 1 (5). С. 27–33. doi: 10.12737/2782-490X-2023-27-33.
6. Продуктивность и адаптивность сортов яровой пшеницы компании КВС в условиях Предкамья Республики Татарстан / М. Ф. Амиров, Р. И. Гараев, А. В. Желтухин и др. // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 3 (3). С. 12–19. doi: 10.12737/2782-490X-2022-12-19.
7. Сравнительная продуктивность различных видов яровой пшеницы на серой лесной почве Республики Татарстан / П. Г. Семенов, М. Ф. Амиров, И. М. Сержанов и др. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 12–20. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20.
8. Влияние глубины заделки семян на урожайность яровой пшеницы в условиях Предкамья Республики Татарстан / Р. И. Гараев, Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1 (73). С. 5–11. doi: 10.12737/2073-0462-2024-5-11.
9. Основные тренды роста регионального сельского хозяйства: от объемов к устойчивости / Ф. Н. Мухаметгалеев, А. Р. Валиев, Л. Ф. Ситдикова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1 (73). С. 117–123. doi: 10.12737/2073-0462-2024-117-123.
10. Известкование кислых почв в Республике Татарстан / А. А. Лукманов, К. В. Владимиров, А. А. Валиев и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 15–18. doi: 10.53859/02352451_2021_35_9_15.
11. Ресурсосберегающие технологии и экономические нормативы производства продукции растениеводства в условиях Республики Татарстан / О. Р. Абдраязов Ш. А. Алиев, В. И. Блохин и др. Казань: Мастер-Лайн, 2002. 280 с.
12. Совершенствование системы обработки почвы в агроландшафтах среднего Поволжья / Р. В. Миникаев, Ф. Ш. Шайхутдинов, И. Г. Манюкова и др. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. 400 с.
13. Сорт пшеницы мягкой яровой Кинельская звезда для условий Средневолжского и Уральского регионов / Е. А. Демина, А. И. Кинчаров, Т. Ю. Таранова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 11. С. 49–55. doi: 10.53859/02352451_2022_36_11_49.
14. Техническое обеспечение системы управления генетическими ресурсами зерновых культур / Р. И. Сафин, А. Р. Валиев, Э. Г. Нуруллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 2 (78). С. 104–112. doi: 10.12737/2073-0462-2025-104-112.
15. Власов В. Г., Никифорова С. А. Реакция сорта пшеницы мягкой яровой Бурлак на уровень минерального питания и подкормки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (68). С. 67–74. doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-67-74.
16. Сравнительная продуктивность различных видов яровой пшеницы на серой лесной почве Республики Татарстан / П. Г. Семенов, М. Ф. Амиров, И. М. Сержанов и др. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 12–20. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20.
17. Исмагилов К. Р. Агроклиматическое зонирование территории республики Башкортостан и производство продовольственного зерна яровой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1 (65). С. 24–30. doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-24-30.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по Требованию, 2013. 349 с.
19. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Госсортокомиссия, 2019. Вып. 1. 329 с.
20. Зиганшин А. А. Современные технологии и программирование урожайности. Казань: Изд-во КГУ, 2001. 172 с.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Serzhanov Igor Mikhailovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Plant Growing and Horticulture Department, Director of Institute of Agrobiotechnology and Land Management Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: igor.serzhanov@mail.ru, ORCID 0000-0003-1758-0622

Shaykhtudinov Farit Sharipovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Plant Growing and Horticulture Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: faritshay@kazgau.com, ORCID 0009-0006-1423-4846

Garaev Razil Ilisurovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Plant Growing and Horticulture Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: rass112@mail.ru, ORCID 0009-0004-7774-6553

Serzhanova Albina Rafailevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agrochemistry and Soil Science Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: serzhanovaalbina@mail.ru, ORCID 0009-0001-7468-5423

Nogumanov Ilyas Zakhitovich – post-graduate student Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: zakhitovich99@mail.ru

Contribution of the authors:

I.M. Serzhanov – Validation, Curation of data, Writing – review and editing, Scientific supervision;
F.Sh. Shaykhutdinov – Conceptualization, Methodology, Writing – initial draft of the text, Visualization, Project management;

R.I. Garaev – Field and laboratory research, Data collection and processing;

A.R. Serzhanova – Review of literary sources, Data collection, Methodological testing;

I.Z. Nogumanov – Field and laboratory research, Data collection and processing.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 29.04.2025; revised 09.06.2026; accepted 25.06.2026.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Сержанов Игорь Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, директор Института агробиотехнологии и землепользования Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: igor.serzhanov@mail.ru, ORCID 0000-0003-1758-0622

Шайхутдинов Фарит Шарипович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: faritshay@kazgau.com, ORCID 0009-0006-1423-4846

Гараев Разиль Ильсурович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства и плодовоовощеводства Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: rass112@mail.ru, ORCID 0009-0004-7774-6553

Сержанова Альбина Рафаиловна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: serzhanovaalbina@mail.ru, ORCID 0009-0001-7468-5423

Ногуманов Ильяс Захитович – аспирант кафедры растениеводства и плодовоовощеводства Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: zakhitovich99@mail.ru

Вклад авторов:

I.M. Serzhanov – валидация, курирование данных, написание – рецензирование и редактирование, научное руководство;

F.Sh. Шайхутдинов – концептуализация, методология, написание – первоначальный вариант текста, визуализация, управление проектом;

R.I. Garaev – проведение полевых и лабораторных исследований, сбор и обработка данных;

A.R. Сержанова – анализ литературных источников, сбор данных, апробация методик;

I.Z. Ногуманов – проведение полевых и лабораторных исследований, сбор и обработка данных.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 29.04.2025; одобрена после рецензирования 09.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.



ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ СЕМЯН И ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ БИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

© 2026 Вафин И.Х., Сафин Р.И. ✉

Казанский государственный аграрный университет
(г. Казань, Российская Федерация)
✉radiksaf2@mail.ru

Реферат. Разработаны новые биологические препараты на основе эндофитных бактерий семян из рода *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens* KS 25-AU и *B. velezensis* KS 63-AU) и органических кислот (аскорбиновая, янтарная). Добавление органических кислот не снижало антагонистическую активность эндофитных бактерий в отношении фитопатогенных грибов *Fusarium graminearum* и *Alternaria alternata*. Изолят *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU показал более высокую антагонистическую активность, чем *B. velezensis* KS 63-AU. В вегетационных опытах препараты использовали для обработки семян и при опрыскивании с дальнейшим искусственным заражением патогенами. Наиболее значительно препараты снижали поражение растений мучнистой росой. Для бурой ржавчины уменьшение поражения отмечалось при применении препаратов с янтарной кислотой. По эффективности выделялся препарат с *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU и янтарной кислотой. Полевая проверка эффективности разработанных препаратов проводилась в условиях вегетационного периода 2025 года, благоприятного для развития листовых микозов, на следующих культурах: яровая пшеница (сорт Экада 214), яровой ячмень (сорт Память Чепелева) и озимая пшеница (сорт Скипетр). На яровой пшенице и яровом ячмене изучалась двукратная (в фазы выхода в трубку и колошение) обработка препаратами, а на озимой пшенице – однократная обработка проводилась осенью. На яровой пшенице применение всех препаратов приводило к снижению поражения растений как листовыми микозами, так и болезнями колоса. На яровом ячмене уменьшилось развитие темно-бурой пятнистости, но в отношении сетчатой пятнистости эффект был слабым. На озимой пшенице обработка растений способствовала снижению развития настоящей мучнистой росы и пиренофороза, особенно при применении *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой. Полученные результаты показали перспективность применения комплексных препаратов на основе эндофитных бактерий семян и органических кислот для защиты зерновых культур от листовых микозов.

Ключевые слова: биопрепараты, эндофитные бактерии, органические кислоты, яровая пшеница, яровой ячмень, озимая пшеница.

Для цитирования: Вафин И.Х., Сафин Р.И. Перспективы использования эндофитных бактерий семян и органических кислот в качестве биопрепаратов для защиты растений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т.21. № 2(82). С. 12-21. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-12-21

PROSPECTS FOR USING ENDOPHYTIC SEED BACTERIA AND ORGANIC ACIDS AS BIOPREPARATIONS FOR PLANT PROTECTION

© 2026 Vafin I.Kh., Safin R.I. ✉

Kazan State Agrarian University
(Kazan, Russian Federation)
✉radiksaf2@mail.ru

Abstract. New biological preparations based on endophytic seed bacteria of *Bacillus* genus (*B. amyloliquefaciens* KS 25-AU and *B. velezensis* KS 63-AU) and organic acids (ascorbic and succinic) have been developed. The addition of organic acids did not reduce the antagonistic activity of endophytic bacteria against phytopathogenic fungi *Fusarium graminearum* and *Alternaria alternata*. The isolate *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU demonstrated higher antagonistic activity than *B. velezensis* KS 63-AU. The preparations were used for seed treatment in vegetation experiments and spraying with subsequent artificial infection with pathogens. The preparations significantly reduced plant damage by powdery mildew. For brown rust, a decrease in damage was noted with the use of preparations containing succinic acid. Preparation containing *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU and succinic acid stood out in terms of effectiveness. Field testing of developed preparations effectiveness was conducted under conditions of 2025 growing season, favorable for the development of foliar mycoses, on the following crops: spring wheat (Ekada 214 variety), spring barley (Pamyat Chepeleva variety) and winter wheat (Skipetr variety). Double application of the preparations (during the booting and heading stages) was studied on spring wheat and spring barley, while a single application was performed

in the fall on winter wheat. Application of all preparations resulted in a reduction in plant damage by both foliar mycoses and ear diseases on spring wheat. Development of dark brown spot was reduced, but the effect on net blotch was weak on spring barley. Plant treatment reduced the development of powdery mildew and pyrenophorosis, especially when using *B. amyloliquifaciens* KS 25-AU with succinic acid on winter wheat. The obtained results demonstrated the potential of using combination preparations based on seed endophytic bacteria and organic acids to protect grain crops from foliar mycoses.

Key words: biopreparations, endophytic bacteria, organic acids, spring wheat, spring barley, winter wheat.

For citation: Vafin IKh, Safin RI. [Prospects for using endophytic seed bacteria and organic acids as biopreparations for plant protection]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 12-21 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-12-21

Введение. Зерновые культуры являются основой для питания населения и обеспечения потребности в кормах как в России, так и в мире [1, 2]. Только пшеница обеспечивает пятую часть потребности людей в энергии [3]. Реализация высокого генетического потенциала современных сортов зерновых культур во многом сдерживается действием различных стрессовых факторов, важнейшими из которых выступают различные инфекционные болезни [4]. Только на пшенице, мировые потери от пяти наиболее распространенных заболеваний достигают в отдельные годы около 62 млн. т [5], а в России систематически отмечаются эпифитотии, вызывающие снижения урожайности на 20% и более [6]. Значительной проблемой в организации контроля заболеваний зерновых культур становится развитие резистентности у патогенов ко многим действующим веществам фунгицидов, что, с учетом роста цен на данные препараты и усилением требований по экологизации сельскохозяйственного производства, существенно влияет на эффективность химической защиты [7, 8]. Наряду с усилиями по развитию иммуногенетических методов контроля болезней, все больше внимание в мировой практике приобретает разработка биологических методов контроля, в том числе на основе применения эффективных биопрепаратов на основе различных микроорганизмов, в том числе на основе спорообразующих видов бактерий рода *Bacillus* [9, 10]. К числу наиболее перспективных и активно изучаемых видов данного рода относятся те, которые обитают внутри растений, в том числе и в семенах, т.е. эндофитные микроорганизмы [11, 12, 13]. В исследованиях было показано, что эндофитные бактерии, выделенные из семян, оказывают разнообразное действие на растения, в том числе снижают поражения растений болезнями [14, 15, 16].

Другим направлением в защите от болезней выступает применение различных природных органических кислот (янтарной, аскорбиновой, салициловой и др.) применение которых повышает устойчивость растений к патогенам [17, 18]. Имеются указания на высокую эффективность применения смесей эндофитных бактерий и органических кислот при использовании на пшенице [19].

Таким образом, изучение эффективности применения смесей эндофитных бактерий с органическими кислотами имеет важное значение для совершенствования защиты зерновых культур от болезней, особенно для органического земледелия, где применение синтетических фунгицидов запрещено [20], а также для адаптации производства зерна к климатическим изменениям [21,22,23].

Целью исследования было изучение влияния применения экспериментальных биопрепаратов на основе эндофитных бактерий и органических кислот (янтарной, аскорбиновой) на развитие основных болезней зерновых культур, развивающихся в период вегетации.

Условия, материалы и методы. Для культивирования эндофитных бактерий была использована питательная среда LB (*Luria-Bertani broth*). Колбы с эндофитными бактериями инкубировали на шейкере-инкубаторе с 180 об/мин в течение 2 суток при температуре +28°C. В раствор органических кислот (янтарная кислота, аскорбиновая) оптимальной концентрации внесли культуру эндофитных бактерий. Проведенные лабораторные эксперименты показали способность к длительному хранению смеси без потери в ней жизнеспособности микроорганизмов.

В качестве экспериментальных штаммов эндофитных бактерий использовались – *B. amyloliquifaciens* KS 25-AU (выделен из семян яровой пшеницы), *B. velezensis* KS 63-AU (выделен из семян сои), которые хорошо развивались в присутствии органических кислот. В ходе лабораторных исследований были определены оптимальные концентрации янтарной и аскорбиновой кислот, которые не оказали отрицательное влияние на численность бактерий в препарате. Полученные смесевые препараты были использованы для лабораторных экспериментов, вегетационных и полевых опытов.

Для оценки влияния полученных препаратов на некротрофных патогенов в качестве объектов исследований выступали грибы *Fusarium graminearum* и *Alternaria alternata*. Оценка проводилась методом встречных культур на среде Чапека и картофельно-декстрозном агаре (КДА). Результатом оценки

выступала ширина зоны подавления роста колонии гриба.

В вегетационных опытах (оценка влияния на биотрофные патогены) объектом исследований была яровая пшеница сорта Йолдыз (восприимчива к настоящей мучнистой росе, умеренно устойчива к бурой листовой ржавчине). Для этого были заложены вегетационные опыты в условиях песчаной культуры (сосуды объемом 1 л). Было проведено две серии опытов: первая – обработка семян опытными препаратами (для проверки наличия системного эффекта); вторая – обработка растений с последующим заражением (оценка прямого иммунизирующего эффекта). Песок предварительно увлажняли раствором Кноп до 80% влажности его в отдельной емкости для обеспечения минерального питания растений. В опыте с обработкой семян использовали разведение препаратов 1 : 10. Расход рабочей жидкости – 10 л/т семян. Контрольные и обработанные экспериментальными препаратами семена высевали на глубину 2 см по 20 семян на каждый сосуд. В опыте с обработкой растений, опрыскивали вручную, стерильным пульверизатором с 0,5% концентрацией препарата в растворе. Сосуды помещали в климат камеру (Memert) для выращивания со средней температурой 26°C, влажностью 70% и световым циклом 16/8 часов день-ночь. Повторность в вегетационных опытах – четырехкратная.

Для заражения растений использовались природные популяции патогенных грибов, собранные с восприимчивых сортов яровой пшеницы. В опыте с обработкой семян, растения заражали в фазе 2 настоящих листьев. Во втором опыте искусственное заражение патогенами проводилось через 2 суток после обработки. Заражение мучнистой росой проводили методом встряхивания конидий с зараженных листьев пшеницы с последующим учетом по шкале Майнса, Дитца [24]. Заражение растений бурой ржавчиной проводилось с использованием суспензии спор с помощью пульверизатора, после чего растений помещали в темную камеру с хорошим увлажнением (на 48 часов при температуре 22°C), а затем возвращали в климат камеру. Оценку проводили по шкале Стекмана [25].

Полевые опыты по теме исследований закладывались на территории опытных полей кафедры Общего земледелия, защиты растений и селекции ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ».

Почва опытного участка – высококультуренная среднесуглинистая серая лесная (содержание гумуса (по Тюрину) – 3,0%; подвижного фосфора (по Кирсанову) очень высокое (250 мг/кг) и обменного калия повышенное (145 мг/кг по). Реакция почвенной среды была близка к нейтральной (рН 6,6). Обеспеченность почвы серой – средняя.

В качестве объекта исследований на яровой мягкой пшеницы выступал сорт Экада 214

(умеренно восприимчив к бурой листовой ржавчине), а на яровом ячмене – сорт Память Чепелева (умеренно устойчив к полосатой пятнистости). На озимой пшенице опыты закладывались на сорте Скипетр.

Схема полевого опыта на яровой пшенице, яровом ячмене и озимой пшенице была следующей: 1. контроль. 2. Препарат *B. amylo-liquefaciens* KS 25-AU с аскорбиновой кислотой; 3. Препарат *B. velezensis* KS 63-AU с аскорбиновой кислотой; 4. Препарат *B. amylo-liquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой. 5. Препарат *B. velezensis* KS 63-AU с янтарной кислотой.

На яровой пшенице и яровом ячмене обработка проводилась дважды за вегетацию – в фазу выхода в трубку (BBCH 32) и фазу колошения (BBCH 52). На озимой пшенице была однократная обработка в фазу кущения (BBCH 24). Во всех вариантах опыта с обработками препаратами титр бактерий в составе был не менее $1,0-1,5 \cdot 10^9$ КОЭ/мл. Расход рабочей жидкости – 200 л/га. Расход биопрепаратов – 1 л/га. Общая площадь делянки – 25 м², учетная – 20 м². Повторность в опыте – трехкратная.

В качестве предшественника для яровой пшеницы выступала озимая пшеница по чистому пару; для ярового ячменя – яровая пшеница; для озимой пшеницы – чистый пар.

Исследования 2025 года носят предварительный характер, однако следует отметить, что агроклиматические параметры вегетационного периода были благоприятными как для развития зерновых культур, так и для поражения растений болезнями листьев и колоса, что позволило оценить разработанные препараты при эпифитотийном характере развития ряда заболеваний, т.е. в максимально напряженных фитосанитарных условиях. В настоящее время работа продолжается для подтверждения стабильности эффекта.

Учет болезней в период вегетации проводился по общепринятым методикам [26]. Расчет площади под кривой развития болезни (ПКРБ - Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC)) для листовых микозов – по формуле G. Shaner, R.E. Finney [27]. Расчет биологической эффективности – по формуле Аббота.

Результаты и обсуждение. При оценке влияния разработанных составов в отношении некротрофных фитопатогенов (табл. 1) было установлено, что достоверных отличий между показателями в вариантах где использовались только эндофитные бактерии и их смеси с органическими кислотами не обнаружено. Таким образом, добавление в состав препарата органических кислот не снижало способность изучаемых эндофитных бактерий тормозить рост колоний фитопатогенных грибов. В целом, штамм *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU показал более высокую антагонистическую активность.

Таблица 1 – Зона подавления роста колоний фитопатогенных грибов при применении биопрепаратов, мм, 2025 год

Table 1 – Zone of suppression of phytopathogenic fungi colony growth when using biopreparations, mm, 2025

Вариант	Агар Чапека		КДА	
	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Alternaria alternata</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU	11,2	8,3	12,6	7,8
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU	8,9	6,8	10,3	6,9
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	10,8	7,9	12,4	7,4
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	8,5	6,9	9,8	6,4
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	11,3	8,5	12,8	7,7
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	8,7	7,2	10,1	7,2
НСП ₀₅	0,47	0,35	0,51	0,32

Данные по влиянию разработанных составов при обработке семян и опрыскивании на развитие биотрофных патогенов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка развития листовых микозов на проростках пшеницы, балл, 2025 год

Table 2 – Assessment of leaf mycoses development on wheat seedlings, score, 2025

Вариант	Обработка семян		Обработка растений	
	бурая листовая ржавчина	настоящая мучнистая роса	бурая листовая ржавчина	настоящая мучнистая роса
Контроль	2,1	3,1	2,2	3,3
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	2,2	2,3	2,3	2,7
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	2,0	2,4	2,1	2,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	1,9	2,1	1,7	2,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	2,0	2,0	1,9	2,3
НСП ₀₅	0,14	0,16	0,18	0,11

Примечание: Баллы 0, 1, 2 соответствуют реакции устойчивости сорта, 3 и 4 балла – восприимчивости

Note: Scores 0, 1, 2 correspond to the variety's resistance response; scores 3 and 4 indicate susceptibility

Результаты оценки показали, что для бурой листовой ржавчины как при обработке семян, так и при обработке растений снижение поражения отмечается при применении препаратов с янтарной кислотой. Наиболее заметным эффект от обработок был для настоящей мучнистой росы. С учетом того, что подавление развития данного заболевания было во всех вариантах с биопрепаратами, можно сделать вывод о положительном влиянии изучаемых биопрепаратов, в первую очередь на повышение системной устойчивости

растений, о чем свидетельствуют данные по обработке семян. Снижение поражения растений при опрыскивании может быть связано не только с ростом устойчивости, но и возможным фунгистатичным действием. Определенное преимущество среди изучаемых препаратов было при применении *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

Для оценки ростостимулирующей активности препаратов использовали обработанные семена пшеницы, которые проращивали в рулонах согласно ГОСТ 12044-93.

Таблица 3 – Лабораторная всхожесть и биометрия проростков яровой пшеницы сорта Йолдыз (метод рулонов), 2025 год

Table 3 – Laboratory germination and biometry of spring wheat seedlings of the Yoldyz variety (roll method), 2025

Вариант	Лабораторная всхожесть, %	Длина ростка, см	Длина корня, см	Длина coleoptilya, см
Контроль (вода)	88±2	8,7±1,1	12,0±1,2	4,2±0,1
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	92±4	11,8±1,1	11,5±1,3	5,0±0,4
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	95±1	9,6±1,1	11,2±1,2	5,2±0,7
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	97±1	11,8±1,1	14,0±1,3	4,7±0,8
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	91±2	11,4±1,1	13,9±1,4	4,7±0,6

Результаты оценки показали, что применение разработанных препаратов ведет к росту лабораторной всхожести в сравнении с контролем, увеличивает длину ростка. Некоторое увеличение длины корней отмечалось в вариантах с янтарной кислотой, а длины coleoptily – при применении препаратов с аскорбиновой кислотой. Наиболее заметным положительный эффект от обработок был при применении биопрепарата *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

В условиях Республики Татарстан наиболее распространенными и вредоносными листовыми микозами яровой пшеницы являются:

септориоз листьев (*Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous), бурая листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Erikss.), настоящая мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer), темно-бурая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker). В период вегетации 2025 года на опытных посевах поражение растений яровой пшеницы темно-бурой пятнистостью не фиксировалось. Результаты оценки динамики развития других заболеваний приведены в таблице 4. Преобладающим микозом в полевом опыте был септориоз листьев, несколько меньше развивалась бурая листовая ржавчина, а мучнистая роса встречалась только в контроле.

Таблица 4 – Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ) при применении биологических препаратов на яровой пшенице, усл. ед., 2025 год

Table 4 – Area under the disease progress curve (AUDPC) when using biological preparations on spring wheat, arbitrary units, 2025

Вариант	Бурая листовая ржавчина	Настоящая мучнистая роса	Септориоз листьев
Контроль	107,1	18,9	233,1
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	68,3	0	159,6
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	70,4	0	159,1
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	67,2	0	150,2
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	67,2	0	149,1
HCP ₀₅	3,5	–*	7,8

Примечание: * – для настоящей мучнистой росы значения HCP₀₅ не рассчитались в связи с отсутствием болезни в опытных вариантах

Note: * – for true powdery mildew, the LSD_{0.05} values were not calculated due to the absence of the disease in the experimental variants

Применение всех опытных биопрепаратов вело к снижению поражения яровой пшеницы болезнями. Показатели биологической эффективности контроля септориоза листьев на вариантах с разными препаратами были на уровне 31,5-36,0%, а для бурой листовой ржавчины величина биологической эффективности составила 34,3-37,3%. Существенных различий

между вариантами с обработками по показателю ПКРБ листовых болезней не отмечалось.

К уборке проводился мониторинг болезней колоса пшеницы, в результате которого было установлено наличие на посевах септориоза колоса (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedv.) и «черни колоса». Данные учета приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Распространенность болезней колоса яровой пшеницы при использовании биопрепаратов, %, 2025 год

Table 5 – Prevalence of ear diseases in spring wheat when using biopreparations, %, 2025

Вариант	Септориоз колоса	«Чернь колоса»
Контроль	7,5	4,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	4,2	3,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	4,7	3,8
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	4,2	3,4
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	4,3	3,4
HCP ₀₅	0,23	0,17

Обработки растений биопрепаратами показали пролонгированный эффект. Так, несмотря на то, что последнее опрыскивание было в фазу колошения, даже к моменту уборки сохранялся положительный эффект в снижении поражения колосовых болезнями. Биологическая эффективность контроля септориоза колоса была на уровне 37,3-42,7%,

а для «черни колоса» – 17,4-26,1%. Так же, как и для листовых микозов, значительных различий между опытными вариантами по влиянию на снижение распространенности болезней колоса в большинстве случаев не отмечалось.

Снижение поражения растений болезнями оказало положительное влияние на урожайность яровой пшеницы (табл. 6). Рост

урожайности от обработки биопрепаратами составил 11,9-14,3%. Достоверных различий по урожайности между опытными вариантами

не отмечалось, в тоже время для препаратов с янтарной кислотой показатели были несколько выше.

Таблица 6 – Урожайность яровой пшеницы сорта Экада 214 при использовании биопрепаратов, т/га, 2025 год

Table 6 – Yield of spring wheat variety Ekada 214 when using biopreparations, t/ha, 2025

Вариант	Урожайность. т/га	Прибавка к контролю	
		т/га	%
Контроль	4,13		
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	4,62	0,49	11,9
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	4,65	0,52	12,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	4,68	0,55	13,3
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	4,72	0,59	14,3
НСР ₀₅	0,12		

На яровом ячмене в период вегетации в условиях Татарстана развиваются следующие микозы листьев: темно-бурая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (телеоморфа *Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.), сетчатая пятнистость (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoem (телеоморфа *Pyrenophora teres* Drechsler)), полосатая пятнистость (*Drechslera graminea* (Rabenh.) Shoemaker (телеоморфа *Pyrenophora graminea* S. Ito et Kurib.)). В 2025

году на посевах ярового ячменя сорта Памяти Чепелева были обнаружены темно-бурая пятнистость и сетчатая пятнистость (табл. 7). Результаты оценки показали, что биопрепараты с аскорбиновой кислотой несколько (на 18,1%) снижают поражение листьев ячменя темно-бурой пятнистостью. В отношении сетчатой пятнистости положительного влияния препаратов на снижение значений показателя ПКРБ не отмечалось.

Таблица 7 – Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ) при применении биологических препаратов на яровом ячмене, усл. ед., 2025 г.

Table 7 – Area under the disease progress curve (AUDPC) when using biological preparations on spring barley, arbitrary units, 2025

Вариант	Темно-бурая пятнистость	Сетчатая пятнистость
Контроль	231,0	199,5
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	189,0	220,3
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	189,9	220,5
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	220,5	198,1
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	231,0	220,1
НСР ₀₅	10,6	9,7

Вместе с тем, обработки опытными препаратами привело к росту урожайности ярового ячменя на 5,5-19,0% (табл. 8), причем наиболее сильный эффект был получен при использовании состава – *B. velezensis* KS 63-AU с янтарной кислотой.

Отсутствие снижения темно-бурой

пятнистости в варианте с *B. velezensis* KS 63-AU и янтарной кислотой при значительной прибавке урожайности позволяет предположить, что основной вклад в рост продуктивности внесла ростостимулирующая активность препарата, а не прямое подавление патогена.

Таблица 8 – Урожайность ярового ячменя сорта Памяти Чепелева при применении биопрепаратов, т/га, 2025 год

Table 8 – Yield of spring barley variety Pamyati Chepeleva when using biopreparations, t/ha, 2025

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю	
		т/га	%
Контроль	2,90		
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	3,06	0,16	5,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	3,09	0,19	6,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	3,24	0,34	11,7
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	3,45	0,55	19,0
НСР ₀₅	0,12		

Удлинение осенней вегетации и хорошие условия увлажнения, отмечаемые в последние годы на территории Республики Татарстан, привели к массовому развитию листовых микозов еще до ухода озимой пшеницы на перезимовку. Аналогичные условия сложились и осенью 2025 года. На посевах озимой пшеницы в ходе мониторинга были обнаружены настоящая мучнистая роса, а также желтая пятнистость листьев (пиренофороз), вызываемая грибом *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler. Необходимо отметить, что пиренофороз – сравнительно новое заболевание озимой пшеницы для Республики Татарстан. Результаты оценки динамики микозов в осенний период приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Площадь под кривой развития болезни (ПКРБ) при применении биологических препаратов на озимой пшенице сорта Скипетр, усл. ед., 2025 год

Table 9 – Area under the disease progress curve (AUDPC) when using biological preparations on winter wheat variety Skipetr, arbitrary units, 2025

Вариант	Настоящая мучнистая роса	Пиренофороз
Контроль	240,4	99,6
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с аскорбиновой кислотой	237,1	82,5
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с аскорбиновой кислотой	103,4	79,2
<i>B. amyloliquefaciens</i> KS 25-AU с янтарной кислотой	159,5	58,3
<i>B. velezensis</i> KS 63-AU с янтарной кислотой	216,2	75,9
HCP ₀₅	6,8	3,4

Выводы. Разработанные препараты с добавлением органических кислот в условиях лабораторных опытов на искусственных питательных средах не оказали негативного влияния на антагонистическую активность обоих изучаемых штаммов эндофитных бактерий в отношении некротрофных фитопатогенов (*Fusarium graminearum*, *Alternaria alternata*). Лабораторные исследования по оценке влияния обработок семян данными препаратами показали, что они увеличивают лабораторную всхожесть и стимулируют рост ростков.

Результаты вегетационных опытов в контролируемых условиях при искусственном заражении ростков яровой пшеницы возбудителями бурой ржавчины и мучнистой росы, подтвердили способность данных препаратов оказывать системный эффект и повышать устойчивость растений к биотрофным патогенам. Наиболее значительным эффект от обработок был в отношении снижения развития мучнистой росы. По влиянию на развитие обоих заболеваний выделялся вариант *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

Полевые опыты на яровой пшенице показали, что двукратные обработки данными препаратами не только снижали поражение растений листовыми болезнями, но и уменьшили распространение септориоза колоса к уборке,

Применение всех вариантов обработок привело к снижению поражения озимой пшеницы как мучнистой росой, так и пиренофорозом. Максимальный контроль настоящей мучнистой росы был при применении вариантов *B. velezensis* KS 63-AU с аскорбиновой кислотой (биологическая эффективность 57%) и *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой (биологическая эффективность – 33,7%). В отношении пиренофороза выделялся вариант *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой (биологическая эффективность – 20,5%). В целом, по обоим заболеваниям наилучшие показатели в контроле микозов были при использовании *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

что свидетельствует о пролонгированном характере влияния таких обработок. На яровом ячмене отмечается снижение поражения темно-бурой пятнистостью при применении биопрепаратов с аскорбиновой кислотой. На яровой пшенице и яровом ячмене был получен достоверный рост урожайности в вариантах с обработками.

Осеннее применение биопрепаратов с эндофитными бактериями и органическими кислотами способствовало снижению поражения растений озимой пшеницы настоящей мучнистой росой и пиренофорозом. Наиболее заметным эффект был для состава *B. amyloliquefaciens* KS 25-AU с янтарной кислотой.

Полученные в условиях 2025 года результаты позволяют сделать предварительный вывод о высоком потенциале смесевых биопрепаратов на основе эндофитных бактерий и органических кислот (особенно янтарной) для контроля листовых болезней, но с адаптацией изучаемых составов под различные зерновые культуры.

Сведения о финансировании. Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

Литература

1. Бесшапошный М. Н., Ковалева Е. В., Энкина Е. В. Перспективы производства и экспорта зерна в условиях трансформации аграрного производства // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 9. С. 86-91. doi: 10.32651/229-86.
2. Современное состояние, тенденции и проблемы производства зерна в Российской Федерации / Ториков В. Е., Васькин В. Ф., Дронов А. В., Васькина Т. И. // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 1(38). С. 15-23. doi: 10.35523/2307-5872-2022-38-1-15-23.
3. Sharma K., Sharma P. Wheat as a Nutritional Powerhouse: Shaping Global Food Security. IntechOpen, 2025. doi: 10.5772/intechopen.1009499.
4. Михина Н. Г., Бухонова Ю. В. Мониторинг вредителей и болезней зерновых колосовых культур // Защита и карантин растений. 2024. № 1. С. 20-26. doi: 10.47528/1026-8634_2024_1_20.
5. Multi-peril pathogen risks to global wheat production: A probabilistic loss and investment assessment / Y. Chai, S. Senay, D. Horvath, P. Pardey // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Art. 1034600. doi: 10.3389/fpls.2022.1034600.
6. Санин С. С. Эпидемии болезней растений: мониторинг, прогноз, контроль // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 35-36.
7. Особенности возникновения, развития и генетические механизмы проявления резистентности к фунгицидам из химических классов триазолов и стробилируинов у *Zymoseptoria tritici* (обзор) / Н. Г. Зубко, Ю. В. Зеленева, Э. А. Конькова и др. // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58. № 6. С. 423-434. doi: 10.31857/S0026364824060011.
8. Fifty years of fungicide development, deployment, and future use / J. Beckerman, C. Palmer, E. Tedford, H. Yrpea // Phytopathology. 2023. Vol. 113. No. 4. P. 694-706. doi: 10.1094/PHYTO-10-22-0399-IA.
9. Эффективность бактерий-антагонистов *Bacillus* и *Pseudomonas* в качестве агентов биоконтроля сетчатой пятнистости озимого ячменя в полевых условиях / А. М. Асатурова, Н. А. Женова, Н. М. Сидоров, О. Ю. Кремнева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 10(311). С. 69-77. doi: 10.26898/0370-8799-2024-10-7
10. Кузнецова Н. И. Создание экологически безопасных биологических препаратов на основе природных бактериальных штаммов с биоцидными свойствами для защиты растений от фитопатогенов для органического земледелия // Биотехнология. 2025. Т. 41. № 5. С. 108-112. doi: 10.56304/S0234275825050072.
11. Harnessing seed endophytic microbiomes: a hidden treasure for enhancing sustainable agriculture / A. E. Fadji, A. A. Lanrewaju, I. O. Omomowo, et al. // Plants. 2025. Vol. 14. No. 15. Art. 2421. doi: 10.3390/plants14152421.
12. Норбоев М. Т., Исмаилов З. Ф. Эндوفитные бактерии, выделенные из растений, и их антагонистические и синергетические взаимодействия // Universum: химия и биология. 2025. № 12-4(138). С. 19-24. doi: 10.32743/UniChem.2025.138.12.21454.
13. Сравнительный анализ биоразнообразия эндوفитных микроорганизмов яровой твердой пшеницы на разных фазах роста и развития растений / А. Р. Долгов, Д. В. Уткин, Э. Г. Хачатуров и др. // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2024. № 2. С. 165-175. doi: 10.17072/1994-9952-2024-2-165-175.
14. Seed-inhabiting endophytes: Their role in plant development and disease protection / G. Pal, K. Kumar, A. Verma, et al. // New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Phytomicrobiome for Sustainable Agriculture. Elsevier, 2021. doi: 10.1016/B978-0-444-64325-4.00004-3.
15. Эндوفитные бактерии как агенты для биопестицидов нового поколения (обзор) / И. В. Максимов, Т. И. Максимова, Е. Р. Сарварова, Д. К. Благова // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 2. С. 134-148. doi: 10.7868/S0555109918020034.
16. Biocontrol potential and mechanism of a seed-endophytic *Bacillus velezensis* NEAU-HLD-9 against gray mold in green beans / K. Zhang, X. Yu, X. Yang, et al. // Food Microbiology. 2026. Vol. 136. Art. 105018. doi: 10.1016/j.fm.2025.105018.
17. Nyzhnyk T., Kiedrzyńska E. Salicylic and succinic acids as inducers of phytoimmunity in winter wheat for the management of powdery mildew (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. tritici) // BMC Plant Biology. 2025. Vol. 25. Art. 376. doi: 10.1186/s12870-025-06403-2.
18. Salicylic acid: a key natural foundation for next-generation plant defense stimulants / R. Oussou, S. La Camera, C. Marivngt-Mounir, J. F. Chollet // Pest Management Science. 2025. Vol. 82. No. 3. P. 2165-2176. doi: 10.1002/ps.70389.
19. Application of endophytic *Bacillus subtilis* and salicylic acid to improve wheat growth and tolerance under combined drought and fusarium root rot stresses / O. Lastochkina, C. Allagulova, K. Fedorova et al. // Agronomy. 2020. Vol. 10. No. 9. Art. 1343. doi: 10.3390/agronomy10091343.
20. Хомяк А. И., Асатурова А. М. Составы биопестицидов для защиты сельскохозяйственных культур — современное состояние и перспективы (обзор) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19. № 3(72). С. 83-96. doi: 10.18470/1992-1098-2024-3-8
21. Формирование урожайности яровой пшеницы в условиях изменения климата в Зауральской степи / К. Р. Исмаилов, Р. С. Кираев, А. С. Шаяхметов, Р. Р. Исмаилов // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 4. С. 31-36. doi: 10.53859/02352451_2025_39_4_31.
22. Вернер А.В., Коконов С.И. Адаптация сроков посева перспективных сортов яровой мягкой пшеницы к условиям меняющегося климата Северного Казахстана // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3(71). С. 13-20. doi: 10.18286/1816-4501-2025-3-13-20.
23. Сравнение технологий возделывания яровой пшеницы в Нечерноземной зоне России / Ю. Д. Смирнова, Н. В. Фомичева, Ю. И. Митрофанов, Г. Ю. Рабинович // Пермский аграрный вестник. 2025. № 3(51). С. 64-70. doi: 10.47737/2307-2873_2025_51_64.
24. Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Генетический контроль ювенильной устойчивости к мучнистой росе образцов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР // Vavilovia. 2021. Т. 4, № 1. С. 25-35. doi: 10.30901/2658-3860-2021-1-25-35.
25. Новые источники и доноры пшеницы с высоким потенциалом комплексной устойчивости к особо опасным болезням / В. П. Судникова, Ю. В. Зеленева, И. В. Гусев и др. // Сельскохозяйственная биология.

2025. Т. 60, № 1. С. 3-20. doi: 10.15389/agrobiology.2025.1.3rus.

26. Чумаков А. Е., Захарова Т. И. Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 127 с.

27. Shaner G., Finney R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat // *Phytopathology*. 1977. Vol. 77. P. 1051-1056.

References

1. Besshaposhnyy MN, Kovaleva EV, Enkina EV. [Prospects for grain production and export amidst the transformation of agricultural production]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2022; 9. 86-91 p. doi: 10.32651/229-86.

2. Torikov VE, Vaskin VF, Dronov AV, Vaskina TI. [Current state, trends and problems of grain production in the Russian Federation]. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya*. 2022; 1(38). 15-23 p. doi: 10.35523/2307-5872-2022-38-1-15-23.

3. Sharma K, Sharma P. Wheat as a nutritional powerhouse: shaping global food security. *IntechOpen*. 2025. doi: 10.5772/intechopen.1009499.

4. Mikhina NG, Bukhonova YuV. [Monitoring of pests and diseases of cereal crops]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2024; 1. 20-26 p. doi: 10.47528/1026-8634_2024_1_20.

5. Chai Y, Senay S, Horvath D, Pardey P. Multi-peril pathogen risks to global wheat production: A probabilistic loss and investment assessment. *Front Plant Sci*. 2022; Vol.13. 1034600. doi: 10.3389/fpls.2022.1034600

6. Sanin SS. [Plant disease epidemics: monitoring, forecast, control]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018; 1. 35-36p.

7. Zubko NG, Zeleneva YuV, Konkova EA. [Features of occurrence, development and genetic mechanisms of resistance to fungicides from the chemical classes of triazoles and strobilurins in *Zymoseptoria tritici* (review)]. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2024; Vol.58. 6. 423-434 p. doi: 10.31857/S0026364824060011.

8. Beckerman J, Palmer C, Tedford E, Ypema H. Fifty years of fungicide development, deployment and future use. *Phytopathology*. 2023; Vol.113. 4. 694-706 p. doi: 10.1094/PHYTO-10-22-0399-IA.

9. Asaturova AM, Zhevnova NA, Sidorov NM, Kremneva OYu. [Efficiency of antagonistic bacteria *Bacillus* and *Pseudomonas* as biocontrol agents of net blotch of winter barley under field conditions]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 2024; Vol.54. 10(311). 69-77 p. doi: 10.26898/0370-8799-2024-10-7

10. Kuznetsova NI. [Development of environmentally safe biological products based on natural bacillary strains with biocidal properties for plant protection against phytopathogens for organic farming]. *Biotehnologiya*. 2025; Vol.41. 5. 108-112 p. doi: 10.56304/S0234275825050072.

11. Fadji AE, Lanrewaju AA, Omomowo IO, Parra-Cota FI, de los Santos-Villalobos S. Harnessing seed endophytic microbiomes: a hidden treasure for enhancing sustainable agriculture. *Plants*. 2025; Vol.14. 15. Art.2421. doi: 10.3390/plants14152421

12. Norboev MT, Ismailov ZF. [Endophytic bacteria isolated from plants and their antagonistic and synergistic interactions]. *Universum: khimiya i biologiya*. 2025; 12-4(138). 19-24 p. doi: 10.32743/UniChem.2025.138.12.21454

13. Dolgov AR, Utkin DV, Khachaturov EG. [Comparative analysis of biodiversity of endophytic microorganisms of spring durum wheat at different phases of plant growth and development]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2024; 2. 165-175 p. doi: 10.17072/1994-9952-2024-2-165-175

14. Pal G, Kumar K, Verma A. Seed-inhabiting endophytes: their role in plant development and disease protection. *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering: phytomicrobiome for sustainable agriculture*. Amsterdam: Elsevier. 2021; 99-118 p. doi: 10.1016/B978-0-444-64325-4.00004-3

15. Maksimov IV, Maksimova TI, Sarvarova ER, Blagova DK. [Endophytic bacteria as agents for new generation biopesticides (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2018; Vol. 54. 2. 134-148 p. doi: 10.7868/S0555109918020034

16. Zhang K, Yu X, Yang X. Biocontrol potential and mechanism of a seed-endophytic *Bacillus velezensis* NEAU-HLD-9 against gray mold in green beans. *Food Microbiol*. 2026; Vol.136. Art.105018. doi: 10.1016/j.fm.2025.105018.

17. Nyzhnyk T, Kiedrzyński M, Kiedrzyńska E. Salicylic and succinic acids as inducers of phytoimmunity in winter wheat for the management of powdery mildew (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. tritici). *BMC Plant Biol*. 2025; Vol.25. Art.376. doi: 10.1186/s12870-025-06403-2.

18. Salicylic acid: a key natural foundation for next-generation plant defense stimulators / R. Oussou, S. La Camera, C. Marivingt-Mounir, J. F. Chollet // *Pest Management Science*. 2025; Vol.82. No.3. 2165-2176 p. doi: 10.1002/ps.70389.

19. Lastochkina O, Allagulova C, Fedorova K. Application of endophytic *Bacillus subtilis* and salicylic acid to improve wheat growth and tolerance under combined drought and fusarium root rot stresses. *Agronomy*. 2020; Vol.10. 9. Art.1343. doi: 10.3390/agronomy10091343.

20. Khomyak AI, Asaturova AM. [Biopesticide formulations for crop protection - current status and prospects (review)]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2024; Vol.19. 3(72). 83-96 p. doi: 10.18470/1992-1098-2024-3-8

21. Ismagilov KR, Kiraev RS, Shayakhmetov AS, Ismagilov RR. [Formation of spring wheat yield under changing climate conditions in the Trans-Ural steppe]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2025. Vol.39. 4. 31-36 p. doi: 10.53859/02352451_2025_39_4_31

22. Verner AV, Kokonov SI. [Adaptation of sowing dates of promising varieties of spring soft wheat to the conditions of a changing climate in Northern Kazakhstan]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2025; 3(71). 13-20 p. doi: 10.18286/1816-4501-2025-3-13-20.

23. Smirnova YuD, Fomicheva NV, Mitrofanov YuI, Rabinovich GYu. [Comparison of spring wheat cultivation technologies in Non-Chernozem zone of Russia]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2025; 3(51). 64-70 p. doi: 10.47737/2307-2873_2025_51_64.

24. Lebedeva TV, Zuev EV. [Genetic control of juvenile resistance to powdery mildew in spring soft wheat accessions from VIR collection]. *Vavilovia*. 2021; Vol.4. 1. 25-35 p. doi: 10.30901/2658-3860-2021-1-25-35.

25. Sudnikov VP, Zeleneva YuV, Gusev IV. [New sources and donors of wheat with high potential for complex resistance to especially dangerous diseases]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2025; Vol.60. 1. 3-20 p.

doi: 10.15389/agrobiology.2025.1.3rus.

26. Chumakov AE, Zakharova TI. Vredonosnost bolezney selskokhozyaystvennykh kultur. [Harmfulness of agricultural crops diseases]. Moscow: Agropromizdat. 1990; 127 p.

27. Shaner G, Finney RE. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology. 1977; Vol.77. 1051-1056 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Вафин Ильшат Хафизович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: zemledeliekazgau@mail.ru, ORCID 0000-0002-1415-0734

Сафин Радик Ильясович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: radiksaf2@mail.ru, ORCID 0000-0001-6276-5728

Вклад авторов:

И.Х. Вафин – формальный анализ, проведение исследования, написание черновика рукописи;

Р.И. Сафин – разработка методологии, руководство, написание рукописи, редактирование текста.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 12.02.2026; одобрена после рецензирования 19.05.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Vafin Ilshat Khafizovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: zemledeliekazgau@mail.ru, ORCID 0000-0002-1415-0734

Safin Radik Ilyasovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: radiksaf2@mail.ru, ORCID 0000-0001-6276-5728

Contribution of the authors:

I.Kh. Vafin – Formal analysis, Study implementation, Manuscript drafting;

R.I. Safin – Methodology development, Supervision, Manuscript writing, Text editing.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 12.02.2026; revised 19.05.2026; accepted 25.06.2026.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТЕРА SPAD 502 PLUS ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

© 2026 Волкова Л. В. ✉

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого
(г. Киров, Российская Федерация)*

✉ volkovkirov@mail.ru

Реферат. Исследования проводили с целью изучения возможностей использования прибора контактного действия Konica Minolta SPAD 502 Plus (Япония) для диагностики содержания фотосинтетических пигментов в листьях пшеницы и выделения материала для селекции. Работу выполняли в 2022–2023 годы в условиях Кировской области. Для проверки точности тестера одновременно выполняли анализ состава пигментного комплекса с использованием спектрофотометра UVmini-1240 (Япония). Объектом для изучения служили 8 родительских сортов и 36 гибридных комбинаций третьего-четвертого поколений в фазах цветения и молочно-восковой спелости. Показания тестера SPAD 502 Plus характеризуются высокой межсортовой изменчивостью (15,4...51,2 единиц прибора) со значимыми генотипическими различиями ($HCP_{05}=4,6...9,3$). Проявление признака отличается высокой сортовой специфичностью по уровню снижения показателей от фазы цветения до молочно-восковой спелости (от -3,9 до 56,3%) и подвержено влиянию сезонных эффектов. Между показанием двух сравниваемых приборов установлена высоко значимая согласованность ($r=0,70...0,81$) и возможность прогнозирования по измерениям тестера содержания суммы хлорофилльных пигментов ($Chl\ a+b$) в листьях ($R^2=0,82...0,85$). По результатам парного корреляционного анализа выявлено значимое соответствие рангов генотипов, оцененных по средним значениям двумя разными методами ($r_g=0,71...0,77$). Выделено 10 лучших гибридных комбинаций и 3 родительских сорта. Наиболее перспективной в селекционном отношении можно считать гибридную комбинацию Дарья × Эгисар 29, характеризующуюся высоким значением SPAD 502 Plus и минимальным его снижением в ходе онтогенеза. Сорта Ерос, Дарья и Эгисар 29 рекомендовано включать в селекционные программы в качестве родительских форм как источники высокой фотосинтетической активности. Использование тестера Spad 502 Plus позволяет с приемлемой точностью давать экспресс-оценку селекционному материалу по содержанию хлорофилльных пигментов в полевых условиях.

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum*), селекция, сорта, гибридные комбинации, пигменты, фотосинтез, корреляция.

Для цитирования: Волкова Л.В. Использование тестера SPAD 502 Plus для диагностики содержания хлорофилльных пигментов в листьях яровой пшеницы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 22-28. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-22-28

USING SPAD 502 PLUS TESTER TO DIAGNOSE CHLOROPHYLL PIGMENT CONTENT IN SPRING WHEAT LEAVES

© 2026 Volkova L.V. ✉

*Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V.Rudnitskiy
(Kirov, Russian Federation)*

✉ volkovkirov@mail.ru

Abstract. The study was conducted to explore the potential of using the Konica Minolta SPAD 502 Plus contact tester (Japan) to assess photosynthetic pigment content in wheat leaves and to isolate material for breeding. The study was conducted in 2022–2023 in Kirov region. To verify the tester's accuracy, pigment complex composition was analyzed simultaneously using a UVmini-1240 spectrophotometer (Japan). The study subjects included 8 parental varieties and 36 hybrid combinations of the third and fourth generations at the flowering and milky-wax ripeness stages. The values of SPAD 502 Plus tester are characterized by high intervarietal variability (15.4...51.2 device units) with significant genotypic differences ($HCP_{05}=4.6...9.3$). The manifestation of the trait is distinguished by high varietal specificity in terms of the level of indicator decrease from the flowering phase to milky-wax ripeness (from -3.9 to 56.3%) and is influenced by seasonal effects. A highly significant agreement ($r=0.70...0.81$) was established between the readings of two compared devices, as well as the possibility of predicting the content of the sum of chlorophyll pigments ($Chl\ a+b$) in leaves based on tester measurements ($R^2=0.82...0.85$). The results of paired correlation analysis revealed a significant correspondence between the ranks of genotypes, estimated by the average values by two different methods ($r_g=0.71...0.77$). As a result of research, 10 best hybrid combinations and 3 parental varieties were selected. The hybrid combination Darya x Egisar 29, characterized by a high SPAD 502 Plus value and minimal decline during development, is considered the most promising for breeding. Epos, Darya and Egisar 29 varieties are

recommended for inclusion in breeding programs as parental forms due to their high photosynthetic activity. Using SPAD 502 Plus tester allows for rapid assessment of breeding material for chlorophyll pigment content in the field with acceptable accuracy.

Key words: spring wheat (*Triticum aestivum*), breeding, varieties, hybrid combinations, pigments, photosynthesis, correlation.

For citation: Volkova LV. [Using SPAD 502 Plus tester to diagnose chlorophyll pigment content in spring wheat leaves]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol. 21. 2(82). 22-28 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-22-28

Введение. Одной из перспективных стратегий повышения урожайности выступает повышение эффективности фотосинтеза. Оптимизация работы фотосинтетического аппарата может увеличить зерновую продуктивность на 10...60% [1, 2]. В последнее время в научной и производственной практике широкое распространение получили портативные N-тестеры, использование которых основано на тесной зависимости между содержанием хлорофилла и азота в листьях растений [3, 4, 5]. Известно, что хлорофилл имеет пики поглощения в синей (400...500 нм) и красной (600...700 нм) областях, при отсутствии поглощения в ближней инфракрасной области. Прибор SPAD-502 Plus измеряет оптическую плотность листа в красной и ближней инфракрасной областях, в результате датчик показывает числовое значение, которое пропорционально количеству хлорофилла, присутствующего в листе.

Бесспорным положительным моментом такой диагностики служит точность ($\pm 1,0$ единиц прибора), сходимость ($\pm 0,3$ единиц прибора согласно техническим характеристикам для значений SPAD от 0 до 50,0 ед. пр.) и быстрота анализа (около 2 с) без необходимости разрушения растений и их листьев, небольшая площадь измерения листовой пластинки (2×3 мм), малое энергопотребление и компактные размеры аппарата. Кроме мониторинга состояния азотного питания растений для корректировки и оптимизации дозы удобрений, большой интерес представляет использование прибора для оценки фотосинтетической активности сортов в селекционных целях.

Количество хлорофилловых пигментов в листьях пшеницы выступает наследуемым сортовым признаком [6]. В то же время по результатам наших исследований условия года вносили значимый вклад в количество хлорофилловых пигментов яровой пшеницы (41%), влияние генотипа составляло 19%, при этом выявлена нестабильность корреляционных связей с урожайностью и ее элементами в различных гидротермических условиях [7]. Для выделения лучших образцов важно определить размах изменчивости признака, вызванный различиями генотипов. Использование сортов, способных на генетическом уровне более эффективно использовать поглощенную световую энергию для образования биомассы, в качестве родительских компонентов для скрещиваний поможет создать более продуктивные сорта зерновых культур [8, 9, 10].

Цель исследований – изучение возможностей тестера SPAD 502 Plus для диагностики

содержания хлорофилловых пигментов в листьях сортов и гибридов яровой пшеницы, поиск исходного материала, обладающего высокой фотосинтетической активностью.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022–2023 годы на опытном участке Федерального аграрного научного центра Северо-Востока (г. Киров) в двухпольном севообороте чистый пар – яровая пшеница. Почва участка – дерново-подзолистая, среднесуглинистая, pH=4,8 в солевой вытяжке, содержанием гумуса низко (2,0% по Тюрину); подвижного фосфора высокое – 192 мг/кг почвы, калия повышенное – 157 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91). Перед посевом вносили азотно-фосфорно-калийные минеральные удобрения ($N_{48}P_{48}K_{48}$). Объектом для изучения служили 8 родительских сортов и 36 гибридов $F_3...F_4$, полученных по схеме неполных диаллельных скрещиваний. Площадь делянок 0,5 м², повторность двукратная, норма высева 500 всхожих семян на 1 м². Индексное содержание хлорофилла определяли с использованием тестера Konica Minolta SPAD 502 Plus (Japan) в фазы цветения и молочно-восковой спелости с интервалом 17 дней в 2022 году и 18 дней в 2023 году. Для анализа отбирали образцы флаговых листьев 30 растений в каждом повторении. Оценку состояния фотосинтетического аппарата у тех же листьев и в те же сроки осуществляли спектрофотометром UVmini-1240 производства SHIMADZU Corporation (Japan) при длинах волн 470, 644,8, 661,6 нм. Выделение пигментов и расчет их содержания проводили по методике Н. К. Lichtenthaler, С. Bushmann [11]. Полученные данные экспериментов обрабатывали статистически с использованием методики дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов [12]. Достоверность коэффициентов фенотипической (r – за отдельные годы) и генотипической (r_g – по средним двухлетним значениям) корреляций оценивали при уровнях значимости $p \leq 0,05^*$ и $p \leq 0,01^{**}$. Ранжирование генотипов по показателям прибора SPAD 502 Plus проводили по убыванию значений от самого высокого (ранг 1) к самому низкому (ранг 44). По уровню снижения хлорофилловых пигментов от фазы цветения до молочно-восковой спелости использовали метод обратного ранжирования, по возрастианию от самого низкого (ранг 1) до самого высокого (ранг 44) значения. Лучшими считали образцы, характеризующиеся минимальными величинами суммы рангов.

В 2022 году вегетативный период развития растений проходил в условиях

переувлажнения почвы и пониженных температур (ГТК=4,0), что способствовало формированию хорошей биомассы и закладке высокопродуктивного колоса. Продолжительность вегетативного периода (от всходов до цветения) была увеличена и составила 50 дней. Генеративный период (от цветения до восковой спелости) насчитывал в среднем 32 дня и характеризовался в целом благоприятным гидротермическим режимом (ГТК=1,5). В 2023 году вегетативный период проходил при среднесуточной температуре, близкой к норме, и небольшом дефиците осадков (ГТК=1,05), в генеративный период количество осадков за месяц более чем в два раза превысило норму (ГТК=1,97).

Результаты и обсуждение. В 2022 году показания тестера SPAD 502 Plus в изучаемом наборе сортов и гибридов в период

цветения варьировали в пределах 39,5...51,2 ед.; в период молочно-восковой спелости – 29,6...48,0 ед., что позволило выявить существенные сортовые отличия ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$). Средний уровень признака к наступлению молочно-восковой спелости снижался на 16,5%, при этом межсортовая вариабельность (CV, %) возрастала с 5,8% до 12,9%. Достоверно высокие значения прибора SPAD 502 Plus, в сравнении со средним значением в опыте, показал родительский сорт Eros, гибриды Эгисар 29 × Eros, Ul Alta Blanca × Терция. Статистически достоверные различия сортов обнаружены также в результате анализа на спектрофотометре, достоверное высокое содержание пигментов *Chl a+b* наблюдали у сорта Eros, в комбинациях Дарья × Росинка 2, Степная 50 × Eros, Эгисар 29 × Eros, Ul Alta Blanca × Нива 2 (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание фотосинтетических пигментов во флаговых листьях сортов и гибридов F_3 яровой пшеницы в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II) (2022 год)

Table 1 – The content of photosynthetic pigments in the flag leaves of varieties and F_3 hybrids of spring wheat during the flowering (I) and milk-wax ripeness (II) stages (2022)

Сорт, гибрид	Показания прибора SPAD 502 Plus, ед.			Содержание пигментов <i>Chl a+b</i> , мг на 1 г сухого вещества		
	I	II	% снижения	I	II	% снижения
Дарья	47,2	44,7	5,4	16,3	12,3	24,5
Eros	46,2	48,0*	-3,9	17,9*	16,9*	5,5
Нива 2	42,2	32,2	23,8	14,2	12,0	15,7
Терция	42,2	35,4	16,2	14,8	10,2	31,3
Степная 50	49,0	43,4	11,4	17,1	10,7	37,5
Эгисар 29	47,4	42,0	11,6	16,1	12,5	22,0
Росинка 2	42,8	29,6	31,0	14,0	10,2	27,0
Ul Alta Blanca	46,4	37,2	19,8	15,2	11,5	24,1
Дарья × Эгисар 29	45,6	42,5	6,8	17,4	13,0	25,6
Дарья × Росинка 2	46,6	44,6	4,4	18,5*	16,0*	14,0
Дарья × Ul Alta Blanca	44,2	36,2	18,1	16,0	10,7	32,9
Eros × Эгисар 29	43,4	38,6	11,1	14,5	11,6	20,4
Eros × Росинка 2	43,4	34,6	20,2	15,8	10,0	36,8
Eros × Ul Alta Blanca	42,0	36,3	13,7	15,5	10,9	29,8
Нива 2 × Степная 50	39,5	31,0	21,5	12,4	8,8	28,8
Нива 2 × Эгисар 29	40,9	34,6	15,3	13,1	9,0	31,6
Нива 2 × Росинка 2	44,0	37,6	14,6	14,2	11,7	17,7
Нива 2 × Ul Alta Blanca	44,3	36,0	18,7	15,1	11,5	23,4
Терция × Степная 50	42,6	29,0	31,8	12,5	8,8	29,4
Терция × Эгисар 29	46,6	34,6	25,9	15,5	8,6	44,1
Терция × Росинка 2	46,3	39,4	19,9	16,1	12,6	21,6
Терция × Ul Alta Blanca	45,9	39,4	14,2	16,3	9,3	43,1
Степная 50 × Дарья	46,4	39,6	14,6	15,9	10,2	35,4
Степная 50 × Eros	47,1	42,0	10,9	16,3	15,0*	7,8
Степная 50 × Нива 2	43,8	33,8	22,8	14,9	9,6	35,6
Степная 50 × Терция	45,8	40,2	12,3	16,2	10,8	33,2
Эгисар 29 × Дарья	47,4	35,6	24,9	17,5	9,3	46,8
Эгисар 29 × Eros	51,2*	45,7*	10,8	19,2*	13,4	30,1
Эгисар 29 × Нива 2	42,8	41,3	3,6	14,9	12,3	17,6
Эгисар 29 × Терция	45,6	40,6	11,0	14,9	11,2	25,0
Росинка 2 × Дарья	45,3	38,8	14,2	15,8	10,9	30,7
Росинка 2 × Eros	49,6	44,4	10,6	17,0	13,1	22,7
Росинка 2 × Нива 2	43,4	30,8	29,2	15,1	8,5	43,7
Росинка 2 × Терция	42,0	36,5	13,1	14,1	9,8	30,9
Ul Alta Blanca × Нива 2	47,4	44,2	6,8	18,2*	12,4	32,1
Ul Alta Blanca × Терция	48,4	46,5*	4,0	16,0	12,9	19,5
Среднее в опыте (n=36)	45,2	38,5	16,5	15,7	11,3	27,7
$F_{\text{факт}}$	2,66*	3,68*	-	4,96*	4,49*	-
HCP_{05}	5,9	7,1	-	2,0	2,7	-
CV, %	5,8	12,9	-	10,0	17,6	-

* – значимо при $p \leq 0,05$

* – significant at $p \leq 0.05$

Согласованность значений содержания хлорофилловых пигментов, определенных с использованием двух методов, была достоверно высокая как в фазе цветения, так и в фазе молочно-восковой спелости (соответственно $r=0,81^{**}$ и $r=0,77^{**}$, $n=36$). В целях селекции на зерновую продуктивность перспективным считается отбор генотипов, способных к более продолжительному активному функционированию фотосинтетического аппарата и, следовательно, к большому накоплению ассимилятов, используемых на формирование компонентов урожая. Изученные параметры за 17-дневный период в зависимости от метода определения снижались на 16,5 и 27,7%. Среди изучаемой выборки сортов минимальным снижением хлорофилла характеризовался Epos, среди гибридов – Дарья × Росинка 2, Степная 50 × Epos, Эгисар 29 × Нива 2.

В 2023 году избыток осадков во второй половине вегетации растений привел к полеганию некоторых сортов, а также сильному развитию листовых болезней, что негативно повлияло на фотосинтетическую активность. Среднее снижение показаний прибора

SPAD 502 Plus составило 29,3%, что в 1,8 раза выше, чем в аналогичный период 2022 году. При этом продолжительность генеративного периода у яровой пшеницы в этом году была выше и составила 44 дня.

Оценка содержания пигментов посредством тестера SPAD 502 Plus в текущий год так же, как и в предыдущий, позволила выявить достоверные сортовые различия, тенденция к повышению генотипического разнообразия от фазы цветения к фазе молочно-восковой спелости сохранялась. Размах изменчивости признака составил в фазе цветения 29,9...42,2 ед., в фазе молочно-восковой спелости – 15,4...32,5 ед. Высокими значениями в первой фазе характеризовались гибридные комбинации Дарья × Росинка 2 и Epos × Эгисар 29, минимальное снижение наблюдали у комбинаций Epos × Ul Alta Blanca, Нива 2 × Эгисар 29. При анализе на спектрофотометре выделены комбинации Дарья × Эгисар 29, Нива 2 × Эгисар 29, Эгисар 29 × Дарья, из них высокие значения в фазе молочно-восковой спелости сохраняли гибриды Дарья × Эгисар 29, Нива 2 × Эгисар 29 (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание фотосинтетических пигментов во флаговых листьях сортов и гибридов F₄ яровой пшеницы в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II) (2023 год)

Table 2 – The content of photosynthetic pigments in the flag leaves of varieties and F₄ hybrids of spring wheat during the flowering (I) and milk-wax ripeness (II) stages (2023)

Сорт, гибрид	Показания прибора SPAD 502 Plus, ед.			Содержание пигментов Chl a+b, мг на 1 г сухого вещества		
	I	II	% снижения	I	II	% снижения
1	2	3	4	5	6	7
Дарья	36,5	28,6	21,7	10,4	8,2	20,8
Epos	36,8	25,0	32,0	12,9	8,5	34,5
Нива 2	32,6	22,4	31,5	9,1	7,2	21,1
Терция	30,0	17,2	42,6	7,2	5,6	23,1
Степная 50	32,3	24,2	25,2	10,0	6,9	31,4
Эгисар 29	32,4	23,5	27,4	10,1	7,5	25,8
Росинка 2	35,5	21,7	38,9	10,2	7,8	23,3
Ul Alta Blanca	35,9	24,0	33,3	10,7	7,7	28,4
Дарья × Эгисар 29	39,9	31,8	20,2	12,5	11,5*	8,0
Дарья × Росинка 2	42,2*	29,5	30,1	14,0	8,8	37,3
Дарья × Ul Alta Blanca	36,0	23,5	34,9	12,8	7,6	40,6
Epos × Эгисар 29	42,2*	30,3	28,3	13,8	8,1	41,5
Epos × Росинка 2	35,0	26,8	23,3	13,8	7,6	45,3
Epos × Ul Alta Blanca	38,0	31,9	15,8	13,3	9,5	29,1
Нива 2 × Степная 50	32,2	20,4	36,6	11,5	6,9	39,7
Нива 2 × Эгисар 29	38,0	32,5	14,7	11,5	10,7*	7,0
Нива 2 × Росинка 2	34,0	24,9	26,9	12,3	8,8	28,5
Нива 2 × Ul Alta Blanca	33,9	25,1	26,0	11,2	8,4	24,7
Терция × Степная 50	35,2	15,4	56,3	11,5	3,8	66,5
Терция × Эгисар 29	33,2	26,4	20,6	11,4	7,3	35,6
Терция × Росинка 2	34,0	25,8	24,3	10,7	7,5	30,3
Терция × Ul Alta Blanca	34,5	25,9	25,1	10,2	7,1	30,9
Степная 50 × Дарья	29,9	23,4	21,7	10,2	5,1	50,4
Степная 50 × Epos	34,2	27,2	20,7	10,1	7,2	28,8
Степная 50 × Нива 2	34,6	19,2	44,4	11,1	4,5	56,9
Степная 50 × Терция	30,9	21,8	29,6	8,6	3,8	55,7
Эгисар 29 × Дарья	37,0	27,9	24,6	14,9*	8,7	41,8
Эгисар 29 × Epos	37,2	26,1	29,7	12,1	8,2	32,7
Эгисар 29 × Нива 2	36,2	26,7	26,2	11,1	9,2	17,1
Эгисар 29 × Терция	34,8	23,6	32,1	9,5	6,9	28,0
Росинка 2 × Дарья	36,6	21,7	40,7	10,2	6,6	34,8
Росинка 2 × Epos	36,2	25,5	29,8	9,1	7,2	20,8
Росинка 2 × Нива 2	34,0	26,8	21,4	10,6	9,4	11,3
Росинка 2 × Терция	32,2	22,8	29,1	9,7	7,2	25,1

Продолжение таблицы 2 / Table 2 (continued)

1	2	3	4	5	6	7
Ul Alta Blanca × Нива 2	34,8	21,1	39,3	8,5	6,7	21,0
Ul Alta Blanca × Терция	36,6	25,6	30,0	11,4	7,5	34,2
Среднее в опыте (n=36)	35,1	24,9	29,3	11,1	7,5	31,5
F _{факт}	3,05*	2,34*	-	3,18*	3,40*	-
HCP ₀₅	4,6	9,3	-	3,5	2,5	-
CV%	8,1	15,4	29,0	15,4	21,4	41,4

* – значимо при $p \leq 0,05$

* – significant at $p \leq 0.05$

Парный корреляционный анализ значений за 2023 год выявил высокую сходимость двух методов определения содержания хлорофилловых пигментов как в первую ($r=0,70^{**}$), так и во вторую фазы развития растений ($r=0,81^{**}$). С использованием регрессионного анализа полного массива значений ($n=72$) получены уравнения, позволяющие прогнозировать значения суммы хлорофиллов a и b (Y), исходя из значений тестера (X) в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II):

$$Y = 0,4574 X - 4,995 \quad (1)$$

$$Y = 0,2915 X - 0,194 \quad (2)$$

Для подтверждения соответствия между двумя альтернативными способами оценки содержания хлорофилла, наряду с определением корреляций абсолютных значений признаков, проведен анализ ранговой корреляции, показывающий сходимость присвоенных рангов генотипов в зависимости от метода. Коэффициенты ранговой корреляции принимали значения $r=0,80^{**} \dots 0,83^{**}$ (2022 год) и $r=0,65^{**} \dots 0,76^{**}$ (2023 год); по средним двухлетним значениям $r_g=0,71^{**} \dots 0,77^{**}$, что свидетельствует о достаточной эффективности отбора лучших генотипов по значениям тестера. То есть использование в полевых условиях тестера Spad 502 Plus позволяет с достаточно высокой точностью давать оценку селекционного материала по содержанию хлорофилловых пигментов, исходя из разницы в интенсивности окраски листьев, не разрушая вегетирующие растения, что имеет немаловажное значение на начальных этапах работы.

Значения тестера были взяты за основу для выделения исходного материала для селекции. Как следует из таблиц 1 и 2, в разных

условиях вегетации происходила смена рангов генотипов. Сезонная корреляция значений прибора Spad 502 Plus в первой и второй фазах оценки была незначима и составляла соответственно $r=0,10$ и $0,32$, значений спектрофотометра – соответственно $r=0,15$ и $0,24$. Если в относительно благоприятном 2022 году выделены комбинации с участием сорта Eros, то в следующем году преимущество получили гибриды, созданные при скрещивании сортов Дарья и Эгисар 29. При анализе средних двухлетних значений выявлено, что между уровнем фотосинтетической активности в фазе цветения и ее снижением за 17...18-дневный период обнаружена достоверная отрицательная корреляция ($r=-0,42^{**}$). Генотипы с более высоким содержанием пигментов в фазе цветения, как правило, обладали более устойчивым и продолжительным функционированием фотосинтетического аппарата. Поэтому для более полной и объективной оценки исходного материала необходимо учитывать сезонные эффекты, а также различную реакцию сортов на условия (в том числе устойчивость к полеганию и болезням), выбирая те генотипы, которые подтверждают свое преимущество при смене лимитирующих факторов среды. Положительная связь между потенциальным уровнем содержания пигментов на единицу площади листа и длительностью активной фазы фотосинтеза служит основанием для проведения селекционной работы по совмещению этих качеств в одном генотипе.

Ранжирование образцов по средним значениям за 2022–2023 годы позволило выделить лучшие комбинации и рекомендовать их как источники высокой фотосинтетической активности (табл. 3).

Таблица 3 – Ранги лучших генотипов пшеницы по средним значениям прибора SPAD 502 Plus в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II) (2022–2023 годы, $n=36$)

Table 3 – Ranks of the best wheat genotypes based on the average SPAD 502 Plus readings during the flowering (I) and milk-wax ripeness (II) stages (2022–2023, $n = 36$)

Сорт, гибрид	Значение прибора SPAD 502 Plus, ранг		Уровень снижения, ранг	Σ рангов
	I	II		
Дарья × Эгисар 29	5	1	3	9
Дарья × Росинка 2	1	2	9	12
Дарья	8	3	2	13
Eros	9	4	1	14
Ul Alta Blanca × Терция	6	5	8	19
Эгисар 29 × Eros	2	6	14	22
Росинка 2 × Eros	3	7	13	23
Степная 50 × Eros	13	8	7	28
Eros × Эгисар 29	4	9	18	31
Eros × Ul Alta Blanca	19	10	5	34
Степная 50	14	12	10	36
Эгисар 29 × Нива 2	22	11	4	37
Нива 2 × Эгисар 29	23	13	6	42
Эгисар 29	21	14	12	47

Выделено 10 гибридных комбинаций и четыре родительские формы с суммой рангов от 9 до 47. Наиболее перспективной в селекционном отношении можно считать комбинацию Дарья х Эгисар 29, сочетающую высокий потенциал фотосинтетической активности с его устойчивостью. Сорт Eros рекомендуется использовать в качестве материнской и отцовской, а сорт Дарья – в качестве материнской формы в селекции на фотосинтетическую активность. Использование сортов Эгисар 29 и Степная 50 в скрещиваниях позволяет получить гибридный материал, обладающий высокой и более продолжительной фотосинтетической активностью в репродуктивный период развития.

Выводы. По результатам изучения возможности прибора контактного действия SPAD 502 Plus для диагностики содержания хлорофилловых пигментов в листьях яровой пшеницы в различные по гидротермическому режиму годы установлен широкий размах изменчивости (15,4...51,2 ед.) и значимые генотипические различия по показаниям тестера у сортов и гибридных популяций в разные годы

и фазы развития растений ($HSP_{05}=4,6...9,3$). Отмечена высокая сортовая специфичность по уровню снижения величины показателей от фазы цветения до молочно-восковой спелости (от -3,9 до 56,3 %), а также влияние сезонных эффектов на проявление признака. С использованием корреляционного анализа показана высокая значимость ($r = r_g = 0,70^{**}...0,81^{**}$) сходимость измерений SPAD 502 Plus с показаниями спектрофотометра ($Chl\ a+b$). Ранговая корреляция выявила высокую сходимость рангов генотипов, оцененных двумя разными методами ($r_g = 0,71^{**}...0,77^{**}$). Выявлены источники высокой фотосинтетической активности – сорта Eros, Дарья, Эгисар 29, Степная 50 и десять гибридных популяций. Использование тестера Spad 502 Plus позволяет с достаточно высокой точностью давать экспресс-оценку селекционному материалу по содержанию хлорофилловых пигментов в полевых условиях.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (тема № FNWE-2022-0007).

Литература

1. Процесс фотосинтеза и урожайность перспективных сортов озимой мягкой пшеницы при разных уровнях азотного и фосфорного питания в условиях орошения / Ф. М. Казиметова, Н. Р. Магомедов, А. А. Абдуллаев и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2025. Т. 17, № 5. С. 76–82. doi: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-76-82.
2. Priadkina H. A. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 97–108. doi: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524.
3. Kendal E. Relationship between chlorophyll and other features in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) using SPAD and biplot analyses // *Journal Agricultural Science and Technology*. 2015. Vol. 17. No. 7. P. 1873–1886.
4. Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Чернова И. В. Оценка состояния растений методами экспресс-диагностики // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 7 (186). С. 19–25. doi: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399.
5. Щуклина О. А., Афанасьев Р. А. Применение фотометрических приборов для экспресс-диагностики азотного питания сельскохозяйственных растений в ранние фазы вегетации // *Агрохимический вестник*. 2022. № 2. С. 73–77. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-014.
6. Калинина А. В., Лящева С. В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20. № 2 (2). С. 286–290.
7. Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С. Роль генотипа и погодно-климатических условий в формировании морфобиологических и хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы // *Таврический вестник аграрной науки*. 2020. № 3 (23). С. 43–58. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58.
8. Лепехов С. Б. Методы подбора пар для скрещивания в селекции на урожайность у самоопыляющихся культур // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017. Т. 178. № 4. С. 76–89. doi: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89.
9. Лиховидова В. А., Газе В. Л., Ионов Е. В. Влияние фотосинтетического пигмента хлорофилла при различной влагообеспеченности на продуктивность растений озимой мягкой пшеницы // *Аграрная наука*. 2020. № 7-8. С. 86–89. doi: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-86-89.
10. Хлесткина Е. К. Стратегия новой «зеленой революции» в селекции пшеницы: к юбилею академика РАН Людмилы Андреевны Беспаловой // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. Т. 183. № 1. С. 254–258. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-254-258.
11. Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001. Vol. 1. n. pag. URL: <https://www.jkip.kit.edu/molbio/download/425%20Lichtenthaler%20und%20Buschmann%202001%20Chl%20determ%20CurrProtFoodAnalChem%204-3-1.pdf> (дата обращения: 02.02.2026).
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Kazimetova FM, Magomedov NR, Abdullaev AA. [The process of photosynthesis and productivity of promising varieties of winter soft wheat at different levels of nitrogen and phosphorus nutrition under irrigation]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2025; Vol.17. 5. 76-82 p. doi: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-76-82.
2. Priadkina HA. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity. *Plant varieties studying and protection*. 2018; Vol.14. No.1. 97-108 p. doi: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524.

3. Kendal E. Relationship between chlorophyll and other features in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) using SPAD and biplot analyses. *Journal Agricultural Science and Technology*. 2015; Vol.17. No.7. 1873-1886 p.
4. Eroshenko FV, Storchak IG, Chernova IV. [Assessing of plant condition using express-diagnostic methods]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2019; 7 (186). 19-25 p. doi: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399.
5. Shchuklina OA, Afanasev RA. [Application of photometric devices for express diagnostics of nitrogen nutrition of agricultural plants in the early stages of vegetation]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2022; 2. 73-77 p. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-014.
6. Kalinina AV, Lyashcheva SV. [Composition and content of photosynthetic pigments in leaves of winter soft wheat seedlings]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2018; Vol.20. 2(2). 286-290p.
7. Volkova LV, Lisitsyn EM, Amunova OS. [The role of genotype and weather-climatic conditions in the formation of morphobiological and economically valuable traits of spring soft wheat]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2020; 3 (23). 43-58 p. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58.
8. Lepekhov SB. [Methods for selecting parental pairs for crossing in breeding for self-pollinating crops productivity]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2017; Vol.178. 4. 76-89 p. doi: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89.
9. Likhovidova VA, Gaze VL, Ionova EV. [Influence of photosynthetic chlorophyll pigment under different moisture conditions on productivity of winter soft wheat plants]. *Agrarnaya nauka*. 2020; 7-8. 86-89 p. doi: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-86-89.
10. Khlestkina EK. [Strategy of new "green revolution" in wheat breeding: on the anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences Lyudmila Andreevna Besspalova]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2022; Vol.183. 1. 254-258 p. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-254-258.
11. Lichtenthaler HK, Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. [Internet]. *Current protocols in food analytical chemistry*. 2001; Vol.1. n. pag. [cited 2026, February 2]. Available from: <https://www.jkip.kit.edu/molbio/download/425%20Lichtenthaler%20und%20Buschmann%2001%20Chl%20determ%20CurrProtFoodAnalChem%204-3-1.pdf>.
12. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy): uchebnoe posobie. 5-e izd., dop. i pererab.* [Field experiment methodology (with fundamentals of statistical processing of research results): a tutorial, 5th edition, supplemented and revised. Moscow: Agropromizdat. 1985; 351p.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторе:

Волкова Людмила Владиславовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а), e-mail: volkovkirov@mail.ru, ORCID 0000-0002-0837-8425

Автор ознакомился и одобрил окончательный вариант рукописи.

Поступила 20.10.2025; одобрена после рецензирования 06.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Author:

Volkova Lyudmila Vladislavovna – Ph.D. of Biological sciences, senior researcher of Spring Wheat Breeding Laboratory Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V.Rudnitskiy (166a Lenin St., Kirov, 610007, Russian Federation), e-mail: volkovkirov@mail.ru, ORCID 0000-0002-0837-8425

The author have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 20.10.2025; revised 06.06.2026; accepted 25.06.2026.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭМ-ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОКРЕМНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ФОНАХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ивенин А. В.¹✉, Ивенин В. В.², Петров Л. К.¹, Голубев С. М.²

¹Нижегородского научно исследовательского института сельского хозяйства –
отдела Нижегородского государственного агротехнологического университета
им. Л. Я. Флорентьева

(г. Нижний Новгород, Российская Федерация)

²Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева
(г. Нижний Новгород, Российская Федерация)

✉ a.v.ivenin@mail.ru

Реферат. Исследования проводили с целью поиска энергоэффективных технологий возделывания сортов озимой пшеницы посредством оптимизации систем защиты растений (в том числе с использованием химических и биологических средств) и минерального питания (микро- и макроудобрений). Работу выполняли в 2022–2025 годы в Нижегородской области. Схема полевого опыта предусматривала изучение следующих вариантов: сорт озимой пшеницы (фактор А) – Московская 39 (стандарт), Московская 40, Московская 56, Московская 82, Немчиновская 17, Немчиновская 57, Немчиновская 85; уровень минерального питания (фактор В) – без удобрений (контроль), $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ в подкормку, $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ в подкормку; биологически активные препараты (фактор С) – без обработки, опрыскивание растений Нанокремнием (100 г/га) весной в фазе кущения, предпосевная обработка семян Восток ЭМ-1 (100 мл/т), опрыскивание растений Восток ЭМ-1 (500 мл/га) в фазе кущения. Лидером по продуктивности оказался сорт Московская 82, адаптированный к местным почвенно-климатическим условиям. Его урожайность достигала 7,30 т/га, что превышало величину этого показателя у стандартного сорта Московская 39 на 1,33 т/га (22,3%). Применение минеральных удобрений в дозах $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ и $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ способствовало приросту урожайности, по сравнению с неудобранным фоном, на 0,39 и 0,52 т/га соответственно. Энергетическая оценка технологий показала преимущество использования биопрепарата Восток ЭМ-1. Наибольший в опыте коэффициент энергетической эффективности отмечен при предпосевной инокуляции семян (3,58) и при опрыскивании растений в фазе кущения (3,57), что выше величины этого показателя в вариантах без обработок (3,55) и с применением микроудобрения Нанокремний (3,53).

Ключевые слова: минеральные удобрения, Восток ЭМ-1, Нанокремний, озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), урожайность, коэффициент энергетической эффективности.

Для цитирования: Энергетическая эффективность возделывания сортов озимой пшеницы в зависимости от применения элементов ЭМ-технологий и нанокремния на различных фонах минерального питания в Нижегородской области / А.В. Ивенин, В.В. Ивенин, Л.К. Петров, С.М. Голубев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 29-36. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-29-36

ENERGY EFFICIENCY OF WINTER WHEAT CULTIVATION DEPENDING ON THE USE OF EM-TECHNOLOGY ELEMENTS AND NANOSILICON ON VARIOUS MINERAL NUTRITION BACKGROUNDS IN NIZHNY NOVGOROD REGION

Ivenin A. V.^a✉, Ivenin V. V.^b, Petrov L. K.^a, Golubev S. M.^b

^aNizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – Department of Nizhny Novgorod State
Agrotechnological University named after L.Ya. Florentev
(Nizhny Novgorod, Russian Federation)

^bNizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Ya. Florentyev
(Nizhny Novgorod, Russian Federation)

✉ a.v.ivenin@mail.ru

Abstract. The study was conducted to identify energy-efficient technologies for cultivating winter wheat varieties by optimizing plant protection systems (including chemical and biological agents) and mineral nutrition (micro- and macrofertilizers). The work was conducted from 2022 to 2025 in Nizhny Novgorod region. Field experiment scheme included the following options: winter wheat variety (factor A) – Moskovskaya 39 (standard), Moskovskaya 40, Moskovskaya 56, Moskovskaya 82, Nemchinovskaya 17, Nemchinovskaya 57, Nemchinovskaya 85; mineral nutrition level (factor B) – no fertilizers (control), $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ as top dressing, $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ as top dressing; biologically active preparations (factor C) – no treatment, spraying plants with Nanokremnie (100 g/ha) in spring at the

tillering stage, pre-sowing seed treatment with Vostok EM-1 (100 ml/t), spraying plants with Vostok EM-1 (500 ml/ha) at the tillering stage. Moskovskaya 82 variety, adapted to local soil and climatic conditions, turned out to be the leader in productivity. Its yield reached 7.30 t/ha, which exceeded the standard Moskovskaya 39 variety by 1.33 t/ha (22.3%). The use of mineral fertilizers at doses of $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ и $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ contributed to an increase in yield, compared to the unfertilized background, by 0.39 and 0.52 t/ha, respectively. An energy assessment of technologies showed the advantage of using Vostok EM-1 biopreparation. The highest energy efficiency coefficient in the experiment was noted with pre-sowing seed inoculation (3.58) and when spraying plants during the tillering phase (3.57), which is higher than the value of this indicator in the variants without treatment (3.55) and with the use of Nanokremniy microfertilizer (3.53).

Key words: mineral fertilizers, Vostok EM-1, Nanosilicon, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), productivity, energy efficiency coefficient.

For citation: Ivenin AV, Ivenin VV, Petrov LK, Golubev SM. [Energy efficiency of winter wheat cultivation depending on the use of EM-technology elements and nanosilicon on various mineral nutrition backgrounds in Nizhny Novgorod region]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 29-36 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-29-36

Введение. Ключевым условием прогресса зерновой отрасли служит внедрение в сельскохозяйственную практику высокопродуктивных сортов, максимально адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям, а также постоянное совершенствование агротехнологий их возделывания. В последние годы существенным сдерживающим фактором на пути роста валовых сборов и улучшения качественных показателей зерна выступает дефицит применения минеральных удобрений, в первую очередь азотной группы. Это приводит к формированию отрицательного баланса питательных веществ в почве и, как следствие, к снижению ее плодородия. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы – использование биологических препаратов, которые способны улучшить питание растений и оздоровить агроэкологическое состояние посевов. Вместе с тем, ключевая роль в преодолении сложившейся ситуации отводится оптимизации системы минерального питания [1, 2, 3].

Для полного раскрытия генетического потенциала перспективных сортов озимой пшеницы требуется создание технологий возделывания, учитывающих специфику зонально-экологических условий Нижегородской области. Базовым принципом таких технологий должно стать дифференцированное применение всех производственных ресурсов, включая макро- и микроудобрения, биопрепараты, а также современные средства защиты растений [4, 5, 6].

Главным критерием эффективности ведения сельского хозяйства выступает окупаемость вложенных затрат. В современной экономической реальности дать объективную оценку эффективности возделывания культур достаточно сложно из-за устойчивой тенденции удорожания горюче-смазочных материалов, энергоносителей, удобрений, пестицидов и семенного материала высоких репродукций. Ситуация усугубляется значительным колебанием цен на сельскохозяйственную продукцию в разные годы [7]. В связи с этим более объективную картину позволяет получить метод энергетической оценки. Этот подход

базируется на сопоставлении количества энергии, аккумулированной в урожае, с энергозатратами на его производство. Энергетический анализ дает возможность точнее сопоставлять отдельные элементы технологии производства по критерию энергоемкости и выявлять потенциальные резервы для экономии техногенной энергии в растениеводстве [8, 9].

Цель исследований – разработать энергетически выгодную технологию возделывания различных сортов озимой пшеницы с рациональным использованием средств химической и биологической защиты, минеральных микро- и макроудобрений в почвенно-климатических условиях Нижегородской области.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли на опытном поле ФГБОУ ВО Нижегородского государственного агротехнологического университета им. Л. Я. Флорентьева в 2022–2025 годы. Почва участка – светло-серая лесная, среднесуглинистая, с содержанием гумуса 1,43%. Пахотный слой характеризуется очень высоким содержанием подвижного (по Кирсанову) фосфора (252 мг/кг), высоким – калия (221 мг/кг) и слабокислой реакцией среды (pH_{KCl} 5,1).

Схема полевого опыта предполагала изучение следующих вариантов: сорта озимой пшеницы (фактор А) – Московская 39 (стандарт), Московская 40, Московская 56, Московская 82, Немчиновская 17, Немчиновская 57, Немчиновская 85; уровень минерального питания (фактор В) – без удобрений; $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ в подкормку, $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ в подкормку; биологически активные препараты (фактор С) – без обработки, Нанокремний (обработка растений в фазе кущения весной 0,1 кг/га), Восток ЭМ-1 (инокуляция семян перед посевом 0,1 л/т), Восток ЭМ-1 (обработка растений в фазе кущения весной 0,5 л/га).

Полевой опыт проводили методом систематического размещения делянок при четырехкратной повторности. Общая площадь делянки – 12 м², учетная – 11 м². Предшественником озимой пшеницы выступал чистый пар, обрабатываемый по общепринятой

для Нижегородской области технологии. Использование минеральных удобрений осуществляли в два приема. Основное внесение (диаммофоска 10:26:26) выполняли осенью под предпосевную культивацию агрегатом АКШ-4,2 на глубину заделки семян (4...6 см) в дозах согласно схеме опыта ($N_{10}P_{30}K_{30}$ и $N_{20}P_{60}K_{60}$). Весеннюю подкормку проводили аммиачной селитрой (34,4%) в дозах N_{50} и N_{100} соответственно, поделяночно вручную. Посевной материал всех вариантов подвергался предпосевной обработке: протравливанию фунгицидом Стингер Трио (0,5 л/т) и инсектицидом Имидор Про (1 л/т). За сутки до высева семена инокулировали препаратом Восток ЭМ-1, согласно схеме опыта. Нормы высева – 4,5 млн всхожих семян на 1 га. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7 в оптимальные агротехнические сроки – 1 сентября 2022 году, 7 сентября 2023 году и 4 сентября 2024 году. В комплекс работ по уходу входили следующие агроприемы: ранневесенняя подкормка аммиачной селитрой согласно схеме опыта с ручным поделяночным внесением (20.04.2023; 11.04.2024; 14.04.2025) и последующим боронованием; обработка посевов в фазе кущения баковой смесью, включающей фунгицид Альпари (0,5 л/га) и гербициды Гренери (20 г/га) и Примадонна (0,6 л/га) в фазе кущения; некорневая подкормка изучаемыми препаратами (Восток ЭМ-1 и Нанокремний) (ранцевым опрыскивателем) за день до пестицидной обработки. Урожай учитывали сплошным методом при прямом комбайнировании Сампо 130 с каждой делянки индивидуально в следующие сроки: 28.07.2023 году, 24.07.2024 году, 30.07.2025 году.

Препарат Восток ЭМ-1 – это биологический препарат нового поколения, основу которого составляет комплекс молочнокислых бактерий и дрожжей (не менее 1×10 КОЕ /см³ каждого), а также продукты их метаболизма. Вспомогательными компонентами выступают вода, сахар и патока. Нанокремний – препарат обогащен биодоступными наночастицами кремния (50%) и микроэлементами в хелатной форме, включая железо (6%), медь (1%) и цинк (0,5%).

Энергетическую эффективность производства определяли расчетно-аналитическим методом на базе технологических карт и системы энергетических эквивалентов. В качестве нормативной основы использованы показатели энергосодержания основной и побочной продукции согласно методическому пособию по определению энергозатрат при производстве продовольственных ресурсов и кормов для условий Северо-Востока Европейской части РФ, на основе технологических карт с применением энергетических эквивалентов [10]. Энергетический эквивалент продукции озимой пшеницы равен 34,4 МДж/кг; минеральных удобрений: аммиачной селитры 1 кг физической массы – 29,95 МДж/га (одинарная доза – 145 кг/га;

двойная – 290 кг/га); диаммофоски – 41,93 МДж/га (одинарная доза – 109 кг/га; двойная – 218 кг/га); применение биопрепарата – 230 МДж/га (Восток ЭМ-1 на гектарную дозу. При инокуляции семян затраты соответственно составили 15 МДж/га); микроудобрение – 460 МДж/га (Нанокремний).

Математическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы статистической обработки Statist.

Для анализа погодных условий вегетации озимой пшеницы были обработаны данные метеостанции, расположенной в Ройке (Кстовский район), за период 2023–2025 годы, предоставляемые согласно договору № 25 А/2026 от 22 января 2026. Сравнение с среднемноголетними значениями выявило устойчивую тенденцию к повышению температуры и увеличению количества осадков в зимне-весенние периоды всех трех лет. Однако последствия этой тенденции для озимой пшеницы разнились – если в 2023 и 2025 годы это способствовало успешной перезимовке, то в 2024 году спровоцировало всплеск грибковых заболеваний (снежная плесень) и выпревание растений. В 2023 году при средней за вегетационный период величине ГТК=1,3 (при среднемноголетнем значении ГТК=1,3) отмечена сильная дифференциация по месяцам – засушливые май и июнь (0,6 и 0,8, при среднемноголетних значениях в эти периоды – 1,3) сменились влажным июлем (2,2, среднемноголетнее значение – 1,3), что оказалось критически важным для налива зерна. Вегетационный период 2024 году, несмотря на общий избыток влаги (ГТК=1,6), включал в себя длительную засуху (с конца мая до середины июля) с последующими обильными осадками третьей декады июля (ГТК=2,9). В отличие от предыдущих лет, вегетация 2025 году проходила в условиях стабильного и равномерного увлажнения, превышающего норму – величина ГТК за сезон составила 2,0, а помесечные значения варьировали от 1,3 до 2,9, что обеспечило идеальные условия для роста и развития растений и, как следствие, получения высокой урожайности.

Результаты и обсуждение. Результаты трехлетних исследований демонстрируют существенное преимущество сорта Московская 82. Его средняя урожайность составила 7,30 т/га, что достоверно превышает величину этого показателя у контрольного сорта Московская 39 (5,97 т/га) на 1,33 т/га, или на 22,3% (НСР₀₅ по фактору А = 0,21). Высокая продуктивность сорта обусловлена двумя факторами: во-первых, это сорт интенсивного типа, максимально реализующий свой потенциал при внесении удобрений и использовании биопрепаратов; во-вторых, он обладает высоким уровнем адаптивности к местным почвенно-климатическим условиям, так как выведен в зональных условиях региона

проведения полевого опыта, в результате сотрудничества ФИЦ «Немчиновка» и Нижегородского НИИСХ.

Применение минеральных удобрений в дозах $N_{10}P_{30}K_{30}+N_{50}$ и $N_{20}P_{60}K_{60}+N_{100}$ повышает урожайность озимой пшеницы соответственно на 0,39 (на 6,1%) и 0,52 (на 8,2%) т/га по сравнению с фоном без удобрений (HCP_{05} по фактору $B=0,13$) (табл. 1).

При этом использование двойной дозы минерального питания $N_{20}P_{60}K_{60}+N_{100}$ достоверно превышает урожайность пшеницы на 0,13 т/га (1,9%), по сравнению с применением одинарной ($N_{10}P_{30}K_{30}+N_{50}$) дозы. Применение биопрепарата Восток ЭМ-1 (как при инокуляции семян, так и при обработке вегетирующих растений в фазе кущения при весеннем отрастании) и некорневой

подкормке препаратом Нанокремний способствует существенному росту продуктивности озимой пшеницы: прибавка урожайности относительно контроля варьируют в интервале 0,22...0,55 т/га, или на 3,4...8,6% (HCP_{05} по фактору $C = 0,12$ т/га). Кроме того, применение биопрепарата Восток ЭМ-1 изучаемыми способами повышает урожайность пшеницы по сравнению с вариантом использования Нанокремния на 0,20...0,33 т/га (на 3,0...5,0%) (HCP_{05} по фактору $C=0,16$ т/га). Применение биопрепарата Восток ЭМ-1 в виде некорневой подкормки более эффективно, чем инокуляция этим препаратом семян, перед посевом: выявлено достоверное увеличение урожайности на 0,13 т/га (1,9%) (HCP_{05} по фактору $C=0,12$ т/га) (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от применения минеральных удобрений и биопрепарата (среднее за 2023–2025 годы)

Table 1 – Yield of winter wheat varieties depending on the use of mineral fertilizers and a biopreparation (average for 2023–2025)

Фон удобрений (фактор В)	Обработка препаратами (фактор С)	Сорт (фактор А)							
		Московская 39	Московская 40	Московская 56	Московская 82	Немчиновская 17	Немчиновская 57	Немчиновская 85	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без удобрений	без обработки	5,43	5,72	5,98	6,98	5,88	6,01	6,17	6,02
	Нанокремний ***	5,76	6,01	6,32	7,11	6,02	6,35	6,33	6,27
	Восток ЭМ-1 *	5,91	6,04	6,52	7,19	6,23	6,68	6,43	6,43
	Восток ЭМ-1 ***	5,85	6,25	6,67	7,29	6,51	6,82	6,61	6,57
	среднее	5,74	6,01	6,37	7,14	6,16	6,47	6,39	6,32
$N_{10}P_{30}K_{30}+N_{50}$	без обработки	5,80	6,22	6,24	7,11	6,33	6,72	6,55	7,50
	Нанокремний ***	5,94	6,35	6,48	7,34	6,91	6,89	6,72	6,66
	Восток ЭМ-1 *	6,19	6,63	6,69	7,51	7,09	7,04	6,70	6,84
	Восток ЭМ-1 ***	6,20	6,80	6,86	7,53	7,27	7,13	6,85	6,95
	среднее	6,03	6,50	6,57	6,57	6,90	6,95	6,71	6,71
$N_{20}P_{60}K_{60}+N_{100}$	без обработки	6,01	6,29	6,26	7,16	6,49	6,75	6,80	6,54
	Нанокремний ***	6,12	6,42	6,46	7,35	6,84	6,98	6,93	6,73
	Восток ЭМ-1 *	6,23	6,60	6,97	7,43	7,17	7,45	6,96	6,97
	Восток ЭМ-1 ***	6,20	6,75	7,09	7,62	7,39	7,76	7,06	7,12
	среднее	6,14	6,52	6,70	7,39	6,97	7,24	6,94	6,84

Продолжение таблицы 1 / Table 1 (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Среднее	без обработки	5,75	6,08	6,16	7,08	6,23	6,49	6,51	6,33
	Нано-кремний ***	5,94	6,26	6,42	7,27	6,59	6,74	6,66	6,55
	Восток ЭМ-1 *	6,11	6,42	6,73	7,38	6,83	7,06	6,70	6,75
	Восток ЭМ-1 ***	6,08	6,60	6,87	7,48	7,06	7,24	6,84	6,88
	среднее	5,97	6,34	6,55	7,30	6,68	6,88	6,68	6,63
НСР ₀₅ для факторов		A=0,21; B=0,13; C=0,12; AB=0,28; AC=0,43; BC=0,37; ABC=0,74							

* инокуляция семян

** прикорневая подкормка в фазе кущения (весной)

*** некорневая подкормка в фазе кущения (весной)

* seed inoculation

** root feeding at the tillering stage (in spring)

*** foliar feeding at the tillering stage (in spring)

Результаты энергетической оценки за трехлетний период демонстрируют высокую эффективность местного сорта озимой пшеницы Московская 82. Именно он лидирует по величине окупаемости совокупных энергозатрат.

Величина коэффициента энергетической эффективности (КЭЭ) для этого сорта в среднем составила 3,60, что на 2,9% (или 0,10 единицы) превышает результат сорта-стандарта Московская 39 (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициенты энергетической эффективности возделывания сортов озимой пшеницы при комплексном использовании минеральных удобрений и биопрепарата (среднее за 2023–2025 годы)

Table 2 – Energy efficiency coefficients for the cultivation of winter wheat varieties with the integrated use of mineral fertilizers and a biopreparation (average for 2023–2025)

Фон удобрений (фактор В)	Обработка препаратами (фактор С)	Сорт (фактор А)							
		Московская 39	Московская 40	Московская 56	Московская 82	Немчиновская 17	Немчиновская 57	Немчиновская 85	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без удобрений	без обработки	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
	Нано-кремний ***	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11
	Восток ЭМ-1 *	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
	Восток ЭМ-1 ***	4,13	4,12	4,13	4,13	4,12	4,13	4,13	4,13
	среднее	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13	4,13
N ₁₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₅₀	без обработки	3,50	3,53	3,54	3,60	3,54	3,57	3,74	3,57
	Нано-кремний ***	3,48	3,52	3,53	3,59	3,56	3,56	3,55	3,54
	Восток ЭМ-1 *	3,53	3,57	3,57	3,63	3,60	3,60	3,57	3,58
	Восток ЭМ-1 ***	3,52	3,57	3,57	3,61	3,60	3,59	3,57	3,58
	среднее	3,51	3,55	3,55	3,61	3,58	3,58	3,60	3,57
N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₁₀₀	без обработки	3,05	3,09	3,09	3,19	3,11	3,14	3,15	3,12
	Нано-кремний ***	3,05	3,09	3,09	3,19	3,13	3,15	3,14	3,12

Продолжение таблицы 2 / Table 2 (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₁₀₀	Восток ЭМ-1 *	3,08	3,13	3,17	3,21	3,19	3,22	3,17	3,17
	Восток ЭМ-1 ***	3,07	3,13	3,17	3,22	3,20	3,24	3,17	3,17
	среднее	3,06	3,11	3,13	3,20	3,16	3,19	3,16	3,15
Среднее	без обра- ботки	3,56	3,59	3,59	3,64	3,60	3,62	3,68	3,61
	Нано- кремний ***	3,55	3,57	3,58	3,63	3,60	3,61	3,60	3,59
	Восток ЭМ-1 *	3,58	3,61	3,63	3,65	3,65	3,66	3,63	3,63
	Восток ЭМ-1 ***	3,57	3,61	3,62	3,65	3,64	3,64	3,62	3,62
	среднее	3,57	3,60	3,61	3,64	3,62	3,63	3,63	3,61

* инокуляция семян

** прикорневая подкормка в фазе кущения (весной)

*** некорневая подкормка в фазе кущения (весной)

* seed inoculation

** root feeding at the tillering stage (in spring)

*** foliar feeding at the tillering stage (in spring)

Расчет энергетических затрат показал, что внесение минеральных удобрений в дозах N₁₀P₃₀K₃₀ + N₅₀ и N₂₀P₆₀K₆₀ + N₁₀₀ выступает энергосберегающим способом повышения урожайности. Прирост энергии в урожае не покрывает антропогенных энергосберегающих затрат на его производство, вследствие чего максимальная энергетическая отдача (КЭЭ = 4,13) достигается исключительно благодаря мобилизации почвенных ресурсов (вариант без удобрений). Энергетический эффект становился меньше с увеличением доз минеральных удобрений: КЭЭ в варианте с применением N₁₀P₃₀K₃₀ + N₅₀ составлял 3,57, а в варианте N₂₀P₆₀K₆₀ + N₁₀₀ – 3,15. Это связано с неблагоприятными условиями вегетации растений озимой пшеницы в 2023 и 2024 годы, что повлияло на усвояемость элементов питания из минеральных удобрений и величину прибавки от их применения (табл. 2).

Применение биопрепарата Восток ЭМ-1 (как в виде инокуляции семян, так и в виде некорневой обработки в фазе кущения) обеспечило повышение энергетической окупаемости затрат при возделывании сортов озимой пшеницы по сравнению с вариантом полевого опыта без проведения обработок и варианта с некорневой подкормкой препаратом Нанокремний, содержащим микроэлементы: КЭЭ соответственно составили 3,63 и 3,62 (табл. 2).

Выводы. Максимальная в опыте урожайность озимой пшеницы (7,30 т/га) зафиксирована у сорта Московская 82. Превышение над стандартом Московская 39 составило 1,33 т/га (22,3 %). Улучшение условий минерального питания путем внесения N₁₀P₃₀K₃₀ + N₅₀ и N₂₀P₆₀K₆₀ + N₁₀₀ способствовало росту продуктивности на 0,39 и 0,52 т/га (на 6,1...8,2%) соответственно к фону без их использования. Применение при возделывании озимой пшеницы биопрепарата Восток ЭМ-1 (как для

предпосевной инокуляции семян, так и для опрыскивания вегетирующих растений пшеницы в фазе кущения) и некорневой подкормки препаратом Нанокремний, содержащим микроэлементы, увеличило урожайность, по сравнению с контрольным вариантом, на 0,22...0,55 т/га (3,4...8,6%). Использование Восток ЭМ-1 в виде некорневой подкормки более эффективно, чем инокуляция этим препаратом семян, перед посевом. Статистически значимое увеличение урожайности составляло 0,13 т/га (1,9%).

Наибольшую в опыте окупаемость затрат энергии отмечали при выращивании сорта Московская 82 – коэффициент энергетической эффективности в среднем за три года исследований составил 3,60, что на 0,10 единицы выше, чем у стандартного сорта Московская 39. Самая высокая энергетическая эффективность возделывания озимой пшеницы в опыте (КЭЭ=4,13) достигалась на неудобренном фоне, при внесении минеральных удобрений в дозах N₁₀P₃₀K₃₀ + N₅₀ и N₂₀P₆₀K₆₀ + N₁₀₀ она снижалась до 3,57 и 3,15 соответственно. Обработка озимой пшеницы препаратом Восток ЭМ-1 позволяет повысить рентабельность использования энергоресурсов, по сравнению с вариантами без обработки (КЭЭ=3,61) и с применением препарата Нанокремний (КЭЭ=3,59): энергетическая окупаемость затрат возрастает как при протравливании семян (КЭЭ = 3,63), так и при опрыскивании посевов в фазе кущения (КЭЭ = 3,62).

Сведения о финансировании. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания «Создание конкурентоспособных сортов зерновых, зернобобовых и крупяных культур, устойчивых к стрессовым факторам» Рег. № НИОКТР124112200091-3; Рег. № ИКРБС И224120700011-0.

Литература

1. A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis / N. B. Khitrov, D. I. Rukhovich, P. V. Koroleva, et al. // Archives of Agronomy and Soil Science. 2019. No. 12. P. 1963–1975. Published online. doi:10.1080/03650340.2019.1703957.
2. Динамика агрохимических показателей почвы в зависимости от применения азотсодержащих минеральных удобрений при возделывании озимых зерновых культур в условиях Северо-Запада РФ / А. Н. Воловский, М. Д. Трубяков, А. О. Рыбаков и др. // Известия Великолукской ГСХА. 2019. № 1. С. 13–26.
3. Bondar V., Makarenko N. Winter wheat growing in Ukraine: ecological assessment of technologies by the influence on soil fertility // Acta Agriculturae Slovenica. 2020. Vol. 115. № 1. P. 67–78. doi: 10.14720/aas.2020.115.1.982.
4. Черкасов Г. Н., Пыхтин И. Г., Гостев А. В. Современный подход к систематизации обработок почвы в агротехнологиях нового поколения // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 30 (1). С. 5–8.
5. Boyce Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability – A Review / P. Vejan, R. Abdullah, T. Khadiran, et al. // Molecules. 2016. Vol. 21. No. 5. P. 1–17. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/5/573> (дата обращения: 15.02.2026). doi: 10.14720/aas.2020.115.1.982
6. Влияние технологий возделывания яровой пшеницы на засоренность ее посевов и урожайность в условиях Нижегородской области / А. В. Ивенин, В. В. Ивенин, Ю. А. Богомолова и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. № 4. С. 655–663.
7. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов / А. П. Карабутов, В. Д. Соловichenko, В. В. Никитин и др. // Земледелие. 2019. № 2. С. 3–7.
8. Чудиновских В. М. Пути снижения энергоемкости вспашки // Земледелие. 1998. № 1. С. 50–52.
9. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока европейской части России / Л. М. Козлова, Ф. А. Попов, Е. Н. Носкова и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. №3(58). С. 43–48.
10. Методические указания по расчету экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских работ для условий Северо-Востока европейской части РФ. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. 66 с.

References

1. Khitrov NB, Rukhovich DI, Koroleva PV. A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis. Archives of Agronomy and Soil Science. 2019; No.12. 1963-1975 p. Published online. doi:10.1080/03650340.2019.1703957.
2. Volosevich AN, Trubnyakov MD, Rybakov AO. [Dynamics of soil agrochemical parameters depending on the use of nitrogen-containing mineral fertilizers in the cultivation of winter grain crops in the conditions of north-west of the Russian Federation]. Izvestiya Velikolukskoy GSKhA. 2019; 1. 13-26 p.
3. Bondar V, Makarenko N. Winter wheat growing in Ukraine: ecological assessment of technologies by the influence on soil fertility. Acta Agriculturae Slovenica. 2020; Vol.115. 1. 67-78 p. doi: 10.14720/aas.2020.115.1.982.
4. Cherkasov GN, Pykhtin IG, Gostev AV. [A modern approach to systematizing soil cultivation in new-generation agricultural technologies]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016; 30 (1). 5-8 p.
5. Vejan P, Abdullah R, Khadiran T. Boyce role of plant growth promoting Rhizobacteria in agricultural sustainability – a review. [Internet]. Molecules. 2016; Vol.21. No.5. 1-17 p. [cited 2026, February 15]. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/5/573>. doi: 10.14720/aas.2020.115.1.982
6. Ivenin AV, Ivenin VV, Bogomolova YuA. [Influence of spring wheat cultivation technologies on weed infestation and crop yield in Nizhny Novgorod region]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2024; 4. 655-663 p.
7. Karabutov AP, Solovichenko VD, Nikitin VV. [Soil fertility restoration, productivity and energy efficiency of crop rotations]. Zemledelie. 2019; 2. 3-7 p.
8. Chudinovskikh VM. [Ways to reduce the energy intensity of plowing]. Zemledelie. 1998; 1. 50-52 p.
9. Kozlova LM, Popov FA, Noskova EN. [Improved resource-saving technology of soil cultivation and the use of biopreparations for spring grain crops in the conditions of the central zone of North-East of the European part of Russia]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2017; 3(58). 43-48 p.
10. Metodicheskie ukazaniya po raschetu ekonomicheskoy effektivnosti ispolzovaniya v selskom khozyaystve rezultatov nauchno-issledovatel'skikh rabot dlya usloviy Severo-Vostoka evropeyskoy chasti RF. [Methodological guidelines for calculating the economic efficiency of using research results in agriculture for the conditions of North-East of the European Part of the Russian Federation]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2008; 66 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Ивенин Алексей Валентинович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия и растениеводства Нижегородского научно исследовательского института сельского хозяйства – отдела Нижегородского государственного агротехнологического университета им. Л. Я. Флорентьева (603107, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 97, корпус 1), e-mail: a.v.ivenin@mail.ru, ORCID 0000-0001-7072-4029

Ивенин Валентин Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой земледелия и растениеводства Нижегородского государственного агротехнологического университета им. Л. Я. Флорентьева (603107, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 97, корпус 1), e-mail: iveninv@mail.ru, ORCID 0000-0001-6903-8312

Петров Леонид Кириллович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Нижегородского научно исследовательского института сельского хозяйства – отдела Нижегородского государственного агротехнологического университета им. Л. Я. Флорентьева (603107, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 97, корпус 1), e-mail: petrovik@mail.ru, ORCID 0000-0002-2836-7491

Голубев Сергей Михайлович – аспирант кафедры земледелия и растениеводства Нижегородского

государственного агротехнологического университета им. Л. Я. Флорентьева (603107, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 97, корпус 1), e-mail: golubevvvsergey@gmail.com, ORCID 0009-0000-0458-4267

Вклад авторов:

А.В. Ивенин – формулирование идеи, гипотезы, цели исследования, проведение экспериментов, сбор данных, написание первоначального текста статьи, редактирование, доработка текста;

В.В. Ивенин – формулирование идеи, гипотезы, цели исследования, редактирование, доработка текста, научное руководство проектом;

Л.К. Петров – формулирование идеи, гипотезы, цели исследования, проведение экспериментов, сбор данных;

С.М. Голубев – формулирование идеи, гипотезы, цели исследования, статистический или теоретический анализ данных, проведение экспериментов, сбор данных, написание первоначального текста статьи.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 10.02.2026; одобрена после рецензирования 10.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Ivenin Aleksey Valentinovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Agriculture and Crop Production Department of Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – Department of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Ya.Florentev (97, building 1, Gagarin Avenue, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation), e-mail: a.v.ivenin@mail.ru, ORCID 0000-0001-7072-4029

Ivenin Valentin Vasilevich – Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Agriculture and Crop Production Department of Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – Department of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Ya.Florentev (97, building 1, Gagarin Avenue, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation), e-mail: iveninvv@mail.ru, ORCID 0000-0001-6903-8312

Petrov Leonid Kirillovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – Department of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Ya.Florentev (97, building 1, Gagarin Avenue, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation), e-mail: petrovlk@mail.ru, ORCID 0000-0002-2836-7491

Golubev Sergey Mikhayloviya – post-graduate student of Agriculture and Crop Production Department Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L.Ya.Florentev (97, building 1, Gagarin Avenue, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation), e-mail: golubevvvsergey@gmail.com, ORCID 0009-0000-0458-4267

Contribution of the authors:

A.V. Ivenin – Formulation of the idea, Hypothesis, and research objectives, Conducting experiments, Data collection, Writing the initial draft of the article, Editing and revising the text;

V.V. Ivenin – Formulation of the idea, Hypothesis, and research objectives, Editing and revising the text, Scientific supervision of the project;

L.K. Petrov – Formulation of the idea, Hypothesis and research objectives, Conducting experiments, Data collection;

S.M. Golubev – Formulation of the idea, Hypothesis and research objectives, Statistical or theoretical data analysis, Conducting experiments, Data collection, Writing the initial draft of the article.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 10.02.2026; revised 10.06.2026; accepted 25.06.2026.



ОЦЕНКА ГЕНОФОНДА МАЛИНЫ РЕМОНТАНТНОЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К
ВРЕДИТЕЛЯМ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

© 2026 Киселева Е. Н. ✉, Раченко М. А.

Федеральное государственное учреждение науки Сибирский институт физиологии и
биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук
(г. Иркутск, Российская Федерация)
✉ elenasolya@mail.ru

Реферат. Исследования проводили в 2019–2025 годы в г. Иркутске с целью оценки устойчивости к основным вредителям растений родительских форм и гибридных сеянцев малины. Объектами исследования стали 13 сортов родительских форм и более 250 растений, полученных от свободного опыления. Оценку выполняли на естественном инфекционном фоне, без применения удобрений и средств защиты растений. В 2024 и 2025 годы складывались благоприятные условия для развития паутинных клещей. Почва участка – серая лесная среднесуглинистая. За период исследований на растениях малины ремонтантной выявлены представители групп вредителей отряда *Lepidoptera* и семейства *Tenthredinidae*, а также виды *Pegomya rubivora* Coq. и *Batophila rubi* Payk. Повреждения этими вредителями в среднем по годам не превышали 5%. Сорта Евразия, Золотые купола, Рубиновое ожерелье и форма 32-151-1 чаще других повреждались *Aphis idaei* и были отнесены к среднеустойчивым (2 балла). По результатам оценки устойчивости листьев к клещевым повреждениям наибольшей восприимчивостью характеризуются сорта Жар-птица, Оранжевое чудо и Геракл. Средняя оценка их поражения составила 2,0 балла, что соответствует категории среднеустойчивых. Среди гибридов ремонтантной малины выделена группа устойчивых к паутинным клещам отборов (<1 балла) – 1-3-3, 1-3-2, 1-4-1, 1-4-9. Анализ видовой структуры популяции фитофажных клещей в июне показал доминирование *Tetranychus urticae*, в отдельные годы исследований на листьях нижнего яруса регистрировали *Phyllocoptes gracilis*, соотношение их численности составляло 4:1 (*T. urticae* : *P. gracilis*). В июле–августе *T. urticae* сохранял доминирующее положение в структуре популяции: его доля превышала 60%. В сентябре отмечена смена доминанта – преобладал *Neotetranychus rubi*, соотношение численности *N. rubi* : *T. urticae* составило 2:1.

Ключевые слова: малина ремонтантная, оценка, ГТК, вредители, паутинные клещи, тля.

Для цитирования: Киселева Е.Н., Раченко М.А. Оценка генофонда малины ремонтантной по устойчивости к вредителям в Южном Прибайкалье // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 37-45. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-37-45

EVALUATION OF REMONTANT RASPBERRY GENE POOL FOR PEST RESISTANCE
IN THE SOUTHERN BAIKAL REGION

© 2026 Kiseleva E. N. ✉, Rachenko M. A.

Federal State Scientific Institution Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(Irkutsk, Russian Federation)
✉ elenasolya@mail.ru

Abstract. The study was conducted from 2019 to 2025 in Irkutsk to evaluate the resistance of parental varieties and hybrid raspberry seedlings to major plant pests. The study subjects included 13 parental varieties and over 250 open-pollinated plants. The evaluation was conducted under natural pest control, without the use of fertilizers or plant protection products. In 2024 and 2025, favorable conditions for spider mites developed. The soil on the site was gray forest soil, medium loamy. During the study period, pests from *Lepidoptera* order and *Tenthredinidae* family, as well as the species *Pegomya rubivora* Coq. and *Batophila rubi* Payk. Damage by these pests, on average, did not exceed 5% across years. Evraziya, Zolotye kupola, Rubinovoe ozherele varieties and 32-151-1 Form were most frequently damaged by *Aphis idaei* and were classified as moderately resistant (2 points). Based on leaf resistance assessments, Zhar-ptitsa, Oranzhevoe chudo and Gerakl varieties were the most susceptible. Their average damage score was 2.0 points, placing them in the moderately resistant category. Among the everbearing raspberry hybrids, a group of selections resistant to spider mites (<1 point) was identified: 1-3-3, 1-3-2, 1-4-1, 1-4-9. Analysis of the species structure of the phytophagous mite population in June revealed the dominance of *Tetranychus urticae*. In some years of the study, *Phyllocoptes gracilis* was recorded on the lower leaves, with a population ratio of 4:1 (*T. urticae* : *P. gracilis*). In July–August, *T. urticae* maintained its dominant position in the population structure, accounting for over 60%. In September, a shift in dominance was noted: *Neotetranychus rubi* predominated, with a population ratio of *N. rubi* : *T. urticae* 2:1.

Key words: remontant raspberry, assessment, HTC, pests, spider mites, aphids.

For citation: Kiseleva EN, Rachenko MA. [Evaluation of remontant raspberry gene pool for pest resistance in the Southern Baikal region]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 37-45 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-37-45

Введение. В процессе эволюции растения развивали системы иммунных барьеров для защиты от фитофагов, которые в свою очередь адаптировались к новым защитным механизмам [1]. Иммунитет растений и адаптивность фитофагов обеспечивают стабильность функционирования экологических сообществ [1]. Выведение новых устойчивых к фитофагам генотипов позволяет снизить их вредоносность без применения пестицидов [2]. В мировой практике отмечают тенденции по сокращению использования пестицидов на 50% к 2030 году в рамках «Зелёного курса» Европейского союза (ЕС) [3]. Поэтому при создании нового сорта важным критерием отбора служит устойчивость к возбудителям болезней и вредителям [4].

Особенность агротехники и фенологии культуры обеспечивает исключение заражения посадок некоторыми видами вредителей и патогенов. В осенний период после срезки побегов удаление растительных остатков исключает зимовку вредителей [5]. Vegetация ремонтантной малины начинается позднее, чем у малины летнего типа плодоношения, соответственно цветение и плодоношение наступают позже, поэтому эти периоды не совпадают с пиком численности отдельных видов фитофагов. Растения малины ремонтантной практически не поражают малинно-земляничный долгоносик, почковая моль, малинный жук и первая генерация побеговой галлицы [5]. Но остаются вредители, которые наносят существенный ущерб насаждениям малины ремонтантной. При отсутствии борьбы, повреждения растений клещами могут достигать 60%, а потери урожая 40% [6]. Потери урожая от повреждения тлями достигают 11...39% [3, 7].

Первые признаки появления тли на растениях совпадают с фазами бутонизации или цветения, реже – с фазой формирования завязи [8]. При заселении растений тлями, и в процессе их питания, происходит деформация листьев и побегов, нарушается процесс фотосинтеза, что приводит к снижению урожайности, а при высокой численности – к его потере [8]. Тли также выступают переносчиками вирусных заболеваний [3, 8].

Клещи, питаясь клеточным соком, нарушают обмен веществ в клетках и фотосинтетическую активность листьев в целом, что приводит к общему угнетению растений [9, 10]. Зимуют клещи в фазе взрослых особей под опавшими листьями, на сорной растительности, в трещинах и под корой деревьев [6]. В мире на малине обнаружено 18 видов фитопатогенных клещей из трех семейств *Tetranychidae*, *Tenuipalpidae* и *Eriophyidae*, но видовой состав зависит от географического положения, климатических условий и условий экосистемы [9, 11]. Четырёхногие клещи

(*Eriophyidae*) ранней весной выходят из мест зимовки, поселяясь на почках (у ремонтантной малины – на почках однолетних побегов), и при достижении температуры воздуха выше +11°C могут переходить на молодые побеги. *Phyllocoptes gracilis* (Nalepa, 1891) очень чувствителен к влажности воздуха и погибает в условиях жаркой и сухой погоды. В период вегетации им комфортно в затененных местах с высокой влажностью [12]. Повреждения *Ph. gracilis* (семейство *Eriophyidae*) на малине изначально проявляются в виде хлоротичных пятен, которые впоследствии могут трансформироваться в красноватые некротические участки. При сильном заражении наблюдаются разрастание побегов, задержка роста, скручивание и деформация листьев. В отдельных случаях фиксируются деформация плодов, неравномерное созревание и окраска костянок, а также образование мелких галлов [9]. Паутинные клещи (*Tetranychidae*) – наиболее многочисленные и вредоносные виды на культуре. Повреждения паутинными клещами семейства *Tetranychidae* на малине обычно проявляются в виде светлых пятен на нижней стороне листьев, которые со временем становятся желтыми, серебристыми или бронзовыми из-за питания соком растений и разрушения хлорофилла [9]. Обыкновенный паутинный клещ (*Tetranychus urticae* Koch, 1836) заселяет растения во время начала вегетации, при появлении молодых побегов. Наиболее активно клещ размножается при температуре от +20...30°C и влажности воздуха 35...55% [12, 13]. Малинный паутинный клещ (*Neotetranychus rubi* Tragardh, 1915) встречаются реже и считают менее вредоносным [14]. Оптимальная температура для эмбрионального развития – +18...27°C. Красный плодовой клещ (*Panonychus ulmi* (Koch, 1836)) на растениях малины встречается редко. Его активность проявляется при температуре +8°C. Оптимальная температура для эмбрионального развития *P. ulmi* составляет от +21 до +27°C [12]. Паутинные клещи могут локализоваться как на нижней, так и верхней стороне листа, но предпочитают нижнюю [12]. На культурной малине предпочтительно заселяют верхние листья [9]. Некоторые виды клещей – переносчики вирусных болезней [9].

В условиях Южного Прибайкалья ремонтантная малина новая и малораспространенная культура, набирающая популярность среди садоводов. Сортоизучение новых сортов малины ремонтантной на территории института проводят с 2010 г., селекцию – с 2019 года. В результате сортоизучения была сформулирована модель сорта для условия Южного Прибайкалья. Один из показателей – устойчивость к возбудителям болезней и паутинным клещам. Так как в регионе, особенно в засушливые годы создаются благоприятные

условия для массового развития этого вредителя. В такие годы не устойчивые растения повреждаются клещами до 90%. В результате многолетних наблюдений возникла необходимость провести анализ по устойчивости растений ремонтантной малины к вредителям в условиях региона. Анализ устойчивости родительских форм был параллельно проведен с полученным гибридным поколением от свободного опыления и направленной гибридизации.

Цель исследования – выявление генотипов с высокой устойчивостью к группе вредителей среди родительских форм и гибридных сеянцев малины ремонтантной.

Для ее достижения решали следующие задачи: провести учет повреждений растений вредителями, определить их видовой состав; оценить устойчивость растений к группам вредителей; выявить генотипы устойчивые к вредителям.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в 2019–2025 годы в г. Иркутске по методике селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур [15].

Объектами служили 13 сортов и отборных линий родительских форм ремонтантной малины (Бриллиантовая, Брянское диво, Геракл, Евразия, Жар-птица, Золотые купола, Рубиновое ожерелье, Пингвин, Оранжевое чудо, Шапка Мономаха, отборная линия 1-220-1, отборная линия 32-151-1, отборная линия 37-15-4, выведенные в ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства) в Брянской области и более 250 гибридных сеянцев, полученных от свободного опыления и направленной гибридизации родительских форм. Материнские растения расположены рядами на расстоянии 0,7 м в ряду и 2,0 м – междурядья. Растения возделывали по однолетнему типу (осенью, при наступлении длительных заморозков побеги срезаются под корень). Весной, при формировании куста, оставляли 3...4 побега. Растения старше 5 лет выбраковывали и заменяли молодыми. Материнские растения (по 5 шт. каждого сорта) выращивали на естественном фоне, без применения систем удобрений и защиты растений.

Гибридные сеянцы высаживали по схеме: расстояние междурядий 1,5 м; расстояние в

ряду 0,5 м. Гибридные сеянцы выращивали на естественном фоне, без применения систем удобрений и защиты растений. Растения возделывали по однолетнему типу. Отбраковка растений проходила на всех этапах наблюдения за растениями с ранней весны до осени по комплексу показателей селекционной оценки. Оценивали каждое растение. Растения гибридных сеянцев получивших наибольшую оценку по комплексу признаков (ремонтантность, штамбовость, продуктивность, раннеспелость, крупноплодность, устойчивость к вредителям и возбудителям инфекций) размножали до 10 шт. и высаживали на новый участок с отборами. Участок с материнскими растениями, гибридными сеянцами и отборами разделены друг от друга территориально.

Исследования проводили на участке многолетних насаждений малины S – 0,5 га. Почва – серая лесная, по гранулометрическому составу – среднесуглинистая. Содержанием гумуса 4%. Уровень кислотности (рНводный) от 4,9 до 5,2. Подвижного фосфора 108,5 мг/кг (ГОСТ Р 54650-2011). Обменного калия 86,0 мг/кг (ГОСТ 26210-91). Органическое вещество 10,3% (ГОСТ 26213-2021).

В регионе исследования вегетационный период (средняя суточная температура выше +5°C) начинается с первой декады мая, а осенью заканчивается в первой декаде сентября. Вегетационный период 2021 года характеризовался самой низкой средней температурой +13,6°C за период исследований и наибольшим количеством осадков – 478,7 мм (гидротермический коэффициент (ГТК) составил 2,39). В 2019 году средняя температура вегетационного периода достигла +15,0°C при количестве осадков 289 мм (ГТК – 1,85). В 2020 г. средняя температура составила +15,3°C, осадков выпало 469 мм (ГТК – 2,52). В 2022 г. при средней температуре +14,8°C количество осадков достигло минимального значения за период наблюдений – 263 мм (ГТК – 1,08). В 2023 году средняя температура вегетационного периода достигла +15,1°C при сумме осадков 417 мм (ГТК – 1,76). В 2024 году зафиксирована максимальная средняя температура +15,8°C при осадках 407,9 мм (ГТК – 1,65). В 2025 году средняя температура вегетационного периода достигла +15,6°C, количество осадков составило 265 мм (ГТК – 1,1) [5] (рис. 1).

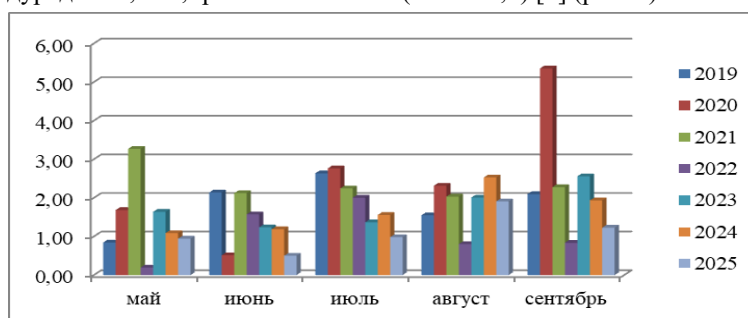


Рис. 1 – Распределение гидротермического коэффициента в период вегетации по годам
Fig. 1 – Distribution of the hydrothermal coefficient during the growing season by year

Распределение количества осадков и тепла в период вегетации неравномерно. Наиболее засушливым месяцем традиционно считается май: в среднем по годам сумма осадков не превышала 40 мм (ГТК варьировал от 0,19 до 1,6). Исключение составил 2021 год, когда выпало более 80 мм осадков, что вдвое превысило норму (ГТК мая – 3,27). За период наблюдений минимальное количество осадков в июне отмечено в 2020 и 2025 годы – не более 25 мм (39% от нормы, ГТК – 0,5). В 2022 году дефицит влаги наблюдался в нескольких месяцах: в мае выпало около 8 мм осадков (22% от нормы, ГТК – 0,19), в августе – 38 мм (39% от нормы, ГТК – 0,8), в сентябре – 25 мм (47 % от нормы, ГТК – 0,8). В 2025 году минимальное количество осадков зафиксировано в июне (39% от нормы, ГТК – 0,5) и июле (56% от нормы, ГТК – 0,98).

Наблюдения проводили в полевых условиях на естественном инфекционном фоне при отсутствии профилактических и защитных мероприятий от вредителей.

Учет вредителей и типов повреждения проводили в полевых условиях. Вначале отмечали типы повреждений. Степень повреждения растений малины вредителями оценивали визуально в баллах, еженедельно в разные фазы развития (вегетации, бутонизации, цветения, плодоношения). Для оценки использовали шкалу в баллах: 0 – повреждений нет; 1 – следы повреждений (потеря листовой поверхности 6...25%); 2 – слабая поврежденность (потеря 26...50%); 3 – средняя поврежденность (потеря 51...75%); 4 – очень сильная поврежденность (потеря более 76%) [8, 13].

Для выявления степени повреждения растений тлями использовали следующую шкалу [8, 13]: 0 – не заселены вредителем; 1 – от 3 до 5 шт.; 2 – начало деформации листьев, от 10 до 15 шт.; 3 – сильная деформация листьев и побега; 4 – побеги останавливаются в росте, наблюдается израстание.

В полевых условиях наличие клещей на растениях выявляли методом отряхивания, метод белого листа применяли при подсчете количества клещей на листовой пластине. Степень повреждения листьев оценивали по 5-ти балльной шкале: 0 – растения не заселены клещами; 1 – следы повреждений на листьях, повреждение листа малины в пределах до 25% (1...15 взрослых особей на 1 листовую пластину); 2 – повреждение листа малины в пределах 26...50% (16...30 взрослых особей); 3 – повреждение листа в пределах 51...75% (31...45 взрослых особей); 4 – повреждение свыше 75%, лист с признаками отмирания, паутина на верхней и нижней стороне листа (более 46 взрослых особей) [2, 10]. В полевых условиях сезонную динамику численности паутинных клещей и степень поврежденности листьев фиксировали на всех растениях малины ремонтантной еженедельно в течение вегетации.

По степени повреждения побегов малины

ремонтантной оценивали устойчивость растений к вредителям: устойчивые (баллы от 0 до 1,4); среднеустойчивые (от 1,5 до 2,4); неустойчивые (от 2,5 до 4) [8, 13].

Определение вредителей растений проводили по морфологическим признакам, указанных в определителе вредных и полезных насекомых и клещей плодовых и ягодных культур и сельскохозяйственной акарологии [16, 17].

Статистическую обработку проводили методом однофакторного дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета Microsoft Excel [10]. Для оценки нормальности распределения выборки использовали критерий Шапиро-Уилка [18].

Работу выполняли на оборудовании центра коллективного пользования ЦКП (Центр коллективного пользования) «Биоаналитика» с использованием коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск.

Результаты и обсуждение. В отдельные годы (2019, 2021, 2022 и 2025 годы) на родительских растениях ремонтантной малины отмечали следующие виды: гусеницы фиолетово-серой ранней совки (*Orthosia incerta* (Hufnagel, 1766)); гусеницы воинственной совки (*Eupsilia transversa* (Hufnagel, 1766)); гусеницы совки ранней темно-серой (*Orthosia gracilis* (Schifferrmüller, 1775)); гусеницы совки золотистой малинной (*Xanthia ictcritia* (Hufnagel, 1766)); гусеницы листовертки заморозковой (*Exapate congelatella* (Clerck, 1759)) и ложногусеницы вишневого бледного пилильщика (*Priophorus pallipes* Lepeletier) [5].

В июне 2020 году, 2024 году и 2025 году на растениях некоторых сортов малины ремонтантной обнаружили единичные повреждения мухой малинной (*Pegomya rubivora* (Coquillett, 1897)). В 2023 году единично отмечали имаго блошки малинной (*Batophila rubi* (Paykull, 1799)), повреждения не зафиксировали. Ежегодно в июне особи малой малинной тли (*Aphis idaei* van der Goot, 1912) заселяли растения малины ремонтантной.

В летне-осенний период во время массового созревания плодов в 2024 и 2025 годы отмечали массовое появление клопов (*Dolycoris baccarum* (Linnaeus, 1758), *Palomena prasina* (Linnaeus, 1761) и *Carpocoris purpureipennis* (DeGeer, 1773).

Так как заселение растений малины ремонтантной вредителями из отряда *Lepidoptera*, семейства *Tenthredinidae*, а также видами: *P. rubivora* и *B. rubi* носило эпизодический характер и составляло менее 5%, оценку устойчивости растений к этой группе вредителей не проводили. В 2025 году единичные повреждения зафиксированы в позднелетний период (фаза созревания плодов) у сорта Рубиновое ожерелье и гибридной формы 32-151-1. Наибольшая степень повреждения *A. idaei* выявлена у сортов Золотые купола, Евразия, Рубиновое ожерелье и формы 32-151-1.

По результатам оценки указанные генотипы отнесены к категории среднеустойчивых к тле (2 балла). За период наблюдений (2020–2025 годы) на гибридных сеянцах тля заселяла единичные растения, которые при селекционной оценке не обладали важными хозяйственными признаками. Эти растения выбраковывали в период вегетации. Согласно Программе и методике селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур, если на сеянце появились молодые тли, то его относят к восприимчивым и уничтожают (подрезают у земли ножницами) [15].

В ходе ежегодного полевого мониторинга мы учитывали всех обнаруженных клещей при расчёте заселённости растений. Однако последующее лабораторное исследование листьев методом микроскопии показало, что на одном растении (включая отдельные листовые пластинки) одновременно питаются разные виды, относящиеся к двум семействам *Eriophyoidea* (четырёхногие клещи) и *Tetranychidae* (паутиновые клещи). Из

семейства *Eriophyoidea* преобладал малинный складчатый клещ *Ph. gracilis*, локализованный преимущественно на листьях нижнего яруса. К семейству *Tetranychidae* относились: малинный паутиновый клещ *N. rubi* (питается в среднем ярусе растения); обыкновенный паутиновый клещ *T. urticae* (распределён по всему растению, но с наибольшим скоплением на верхних листьях в начале вегетации; в июле–сентябре чаще выявляется в среднем и нижнем ярусе); красный плодовой клещ *P. ulmi* (регистрируется эпизодически, преимущественно в июле–августе в засушливые периоды). Так же фиксировались единичные случаи выявления хищных клещей родов *Amblyseius* и *Neoseiulus*. Статистического учета хищных клещей не вели.

Первых клещей регистрировали в начале июня, за исключением 2025 год, когда их появление отмечали в третьей декаде мая. В конце мая на растениях обнаруживали исключительно особей *T. urticae* (рис. 2).

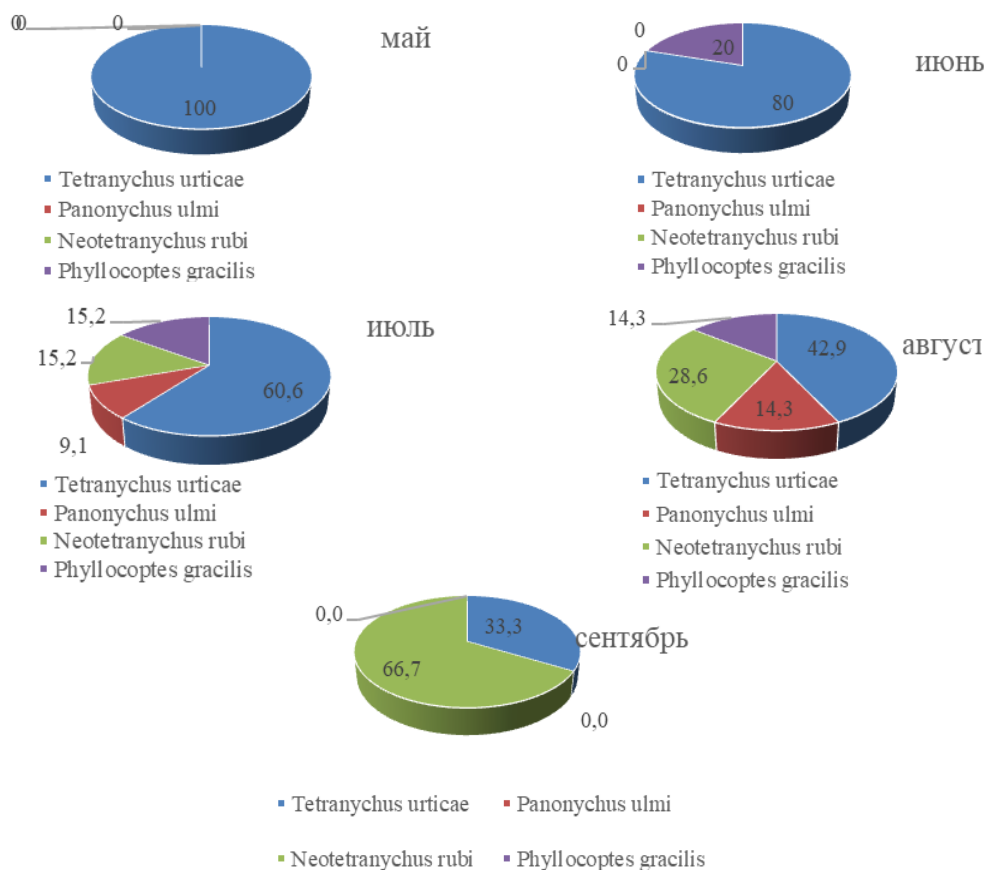


Рис. 2 – Структура видового состава клещей, % по месяцам вегетационного периода (в среднем за 2019–2025 годы)

Fig. 2 – Structure of the species composition of mites, % by month of the growing season (average for 2019–2025)

В июне на листьях нижнего яруса в отдельные годы регистрировали *Ph. gracilis*. При этом *T. urticae* доминировал в соотношении 4:1. В июле и августе *T. urticae* преобладал в общей структуре фитосанитарного комплекса – его численность в среднем за период

исследований составляла более 60% и 42% соответственно. В сентябре не выявили живых особей *Ph. gracilis* и *P. ulmi*, но на растениях количество *N. rubi* преобладало над *T. urticae* (2:1).

Неблагоприятным для развития паутиновых

клещей стал 2019 год: в июне и июле сумма осадков превысила норму почти в 1,5 раза. Тем не менее, с середины лета на листьях нижнего яруса мы регистрировали особи *Ph. gracilis*, при этом степень повреждения растений не превышала 1 балла. В 2021 году (ГТК вегетационного периода – 2,4) зафиксированы единичные поражения паутинными клещами на среднеустойчивых сортах малины; на листьях нижнего яруса также регистрировали *P. gracilis*, а степень повреждения растений была не выше 1 балла. По результатам оценки повреждений ремонтантной малины паутинными клещами установлено, что

наиболее интенсивно повреждаются сорта Жар-птица, Оранжевое чудо и Геракл (средняя оценка за период исследований – 2 балла, что соответствует категории среднеустойчивых (табл. 1).

За весь период наблюдений самый засушливый вегетационный период был в 2025 году с мая по июль на фоне высоких средних температур воздуха (в среднем выше нормы на 1,3°C, и низким количеством осадков (в среднем на 25%) ГТК за период вегетации составил 1,1. В этот год зарегистрировали массовое и продолжительное повреждение растений малины ремонтантной паутинными клещами.

Таблица 1 – Степень повреждения листьев родительских форм и гибридных сеянцев паутинными клещами (*Tetranychidae*)

Table 1 – Degree of leaf damage in parental forms and hybrid seedlings caused by spider mites (*Tetranychidae*)

Сорт, форма	Степень повреждения листьев паутинными клещами, %								Стандартное отклонение	Средний балл
	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год	2025 год	среднее		
Евразия	5	3	3	10	3	3	15	6,00	4,73	1
Пингвин	15	10	0	15	5	20	25	12,86	8,59	1
Оранжевое чудо	55	20	5	30	8	55	60	33,29	23,39	2
Геракл	45	25	5	20	10	35	55	27,86	18,22	2
Жар Птица	20	20	10	25	25	40	60	28,57	16,51	2
Рубиновое ожерелье	10	10	3	5	5	10	20	9,00	5,66	1
Брянское диво	10	10	3	3	3	5	15	7,00	4,73	1
Золотые купола	5	8	2	3	3	5	15	5,86	4,49	1
Бриллиантовая	5	8	0	3	3	3	10	4,57	3,41	1
32-151-1	0	3	0	3	3	5	10	3,43	3,41	1
37-15-4	3	3	0	0	0	0	5	1,57	2,07	1
1-220-1	8	8	3	0	0	0	35	7,71	12,55	1
HCP ₀₅ 8,836; F _{факт.} 12,46 ≥ F _{табл.} 1,93										

С 2020 по 2024 гг. после обильных осадков в июле количество паутинных клещей на растениях в августе–сентябре резко снижалось, однако в 2025 г. такого спада численности мы не зафиксировали (рис. 3). Плотность *T. urticae* составила минимум 0,042±0,004 шт./см² в мае и максимум 0,169±0,010 шт./см² в июне. В июле численность *T. urticae* снизилась незначительно – в пределах погрешности измерений – и составила 0,167±0,015 шт./см². Экземпляры *N. rubi* обнаружили в июле

(0,045±0,020 шт./см²) и регистрировали в течение сентября, когда зафиксировали наибольшую плотность вида – 0,111±0,040 шт./см². Красный плодовый клещ (*P. ulmi*) в 2025 г. отмечали в среднем и нижнем ярусе листьев в июле и августе: плотность популяции составила 0,045±0,004 шт./см² и 0,042±0,011 шт./см² соответственно. Малинный складчатый клещ (*Ph. gracilis*) был выявлен только на нижних листьях в течение летних месяцев; его средняя плотность составила 0,026±0,002 шт./см².

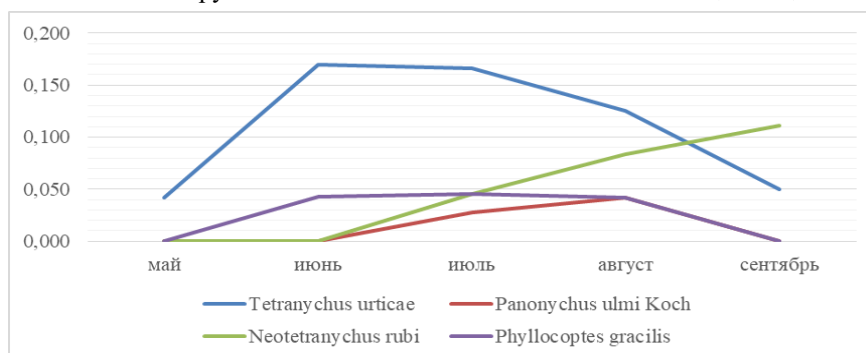


Рис. 3 – Средняя плотность популяции клещей на ремонтантной малине, шт./см² листовой пластины, 2025 год

Fig. 3 – Average density of the mite population on remontant raspberry, individuals/cm² of leaf blade, 2025

Увеличение степени повреждения листьев малины ремонтантной более 2 баллов наблюдается при снижении ГТК ниже 1,5. Повышение ГТК обратно коррелирует со степенью повреждения листьев малины ремонтантной паутиными клещами (рис. 4). В период с августа и до конца вегетационного периода формируются неблагоприятные условия для развития обыкновенного паутиного клеща, как наиболее многочисленного вида в популяции. Это связано с понижением ночных температур

и повышением влажности воздуха выше 55%, из-за обильных осадков.

Исключением стал 2025 год, когда в августе выпало 104% осадков от нормы, но на фоне высоких температур и засушливого периода с мая по июль резкого снижения численности паутиных клещей не произошло. Коэффициент детерминации показывает, что на заселение растений паутиными клещами отрицательное влияние оказывает ГТК ($R^2 = 0,57$).

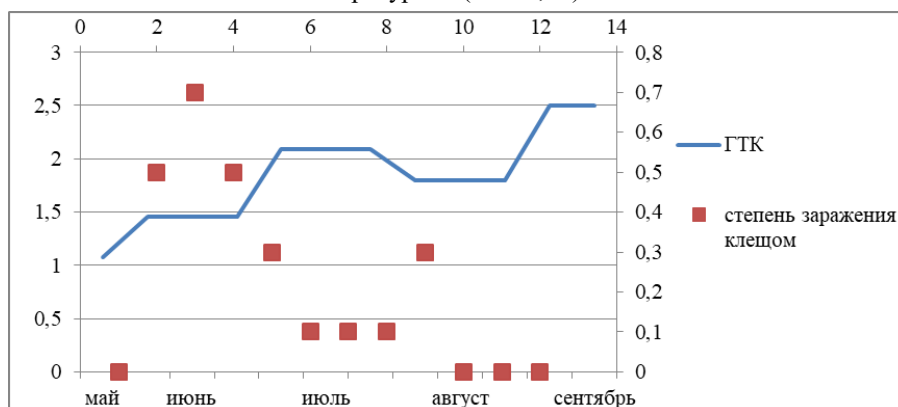


Рис. 4 – График корреляции ГТК и заселенности паутиными клещами растений малины ремонтантной (среднее за 2019–2025 годы)

Fig. 4 – Correlation graph of the hydrothermal coefficient and the infestation of remontant raspberry plants by spider mites (average for 2019–2025)

Оценка степени повреждения растений паутиными клещами показала, что среди отборов можно выделить генотипы устойчивые к паутиным клещам. Самые устойчивые генотипы, с баллом ниже 1 были

оценены как устойчивые. Это гибриды: 1-3-3, 1-3-2 (получены от свободного опыления формы 37-15-4) и 1-4-1, 1-4-9 (получены от свободного опыления сорта Евразия) (табл. 2).

Таблица 2 – Устойчивость гибридных сеянцев малины ремонтантной к паутиным клещам (*Tetranychidae*)

Table 2 – Resistance of hybrid remontant raspberry seedlings to spider mites (*Tetranychidae*)

Устойчивость к паутиному клещу	Генотип
устойчивые (баллы 0...1,4)	1-3-3, 1-3-2, 1-2-10, 1-4-1, 1-4-9, 1-1-5, 1-5-8, 1-5-5, 1-5-7, 1-5-3, 1-1-4, 1-6-1, 2-2-3, 2-2-4
среднеустойчивые (баллы 1,5...2,4)	1-5-9, 1-5-6, 1-1-2
неустойчивые (баллы 2,5...4)	-

Гибридный сеянец 1-3-2 также показал высокие показатели по другим хозяйственным признакам. Отбор был охарактеризован как: высокопродуктивный, с дружным созреванием плодов. Побеги покрыты мелкими шипами в нижней трети побега более обильно, в верхней части побега – слабее. По форме плоды удлинненно трапиевидные. Окраска красная. Масса плодов до 10 г. Органолептическая оценка высокая, генотип оценен в 5 баллов. Содержание сахаров 9,0°Вх, содержание органических кислот (по яблочной) 1,6%.

Выводы. За период исследований (2019–2025 годы) на растениях малины ремонтантной выявлены вредители представители отряда *Lepidoptera* и семейства *Tenthredinidae*, а также виды *P. rubivora* и *B. rubi*. Повреждения этими вредителями не превышали 5%. Такие сорта, как Евразия, Золотые купола, Рубиновое ожерелье и форма 32-151-1 чаще других

повреждались малой малиновой тлей. По устойчивости к этому вредителю они были оценены, как среднеустойчивые.

Чаще и сильнее паутиными клещами повреждались такие сорта, как Жар птица, Оранжевое чудо и Геракл (в среднем за период исследований оценка составила 2 балла, что соответствует среднеустойчивым генотипам).

К высокоустойчивым и устойчивым к паутиным клещам отнесены гибридные формы 1-3-3, 1-3-2 (полученные от свободного опыления формы 37-15-4), 1-4-1, 1-4-9 (полученные от свободного опыления сорта Евразия).

Сведения о финансировании. Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России для Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (рег. номер НИОКТР – 125021902487-9).

Литература

- 1.Раздобурдин В. А., Кириллова О. С. Поверхность листовой пластинки как фактор, влияющий на развитие паутинного клеща на огурце // Вестник защиты растений. 2019. № 4 (102). С. 60–65. doi: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-60-65.
- 2.Зейналов А. С., Чурилина Т. Н., Давлетшина Ю. Б. Биоэкологические особенности и вредоносность обыкновенного паутинного клеща (*Tetranychus urticae* (Koch.)) на землянике садовой в Оренбургской области // Плодоводство и ягодоводство России. 2021. № 65. С.76–86. doi: 10.31676/2073-4948-2021-65-76-86
- 3.The species, density, and intra-plant distribution of mites on red raspberry (*Rubus idaeus* L.) / J. L. Tan, N. Trandem, Z. Hamborg, et al. // Exp Appl Acarol. 2024. Vol. 93 (2). P. 317–337. doi: 10.1007/s10493-024-00930-7.
- 4.Delivering sustainable crop protection systems via the seed: exploiting natural constitutive and inducible defence pathways / J. A. Pickett, G. I. Aradottir, M. A. Birkett, et al. // Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2014. Vol. 369 (1639). Article 20120281. URL: <https://royalsocietypublishing.org/rstb/article-abstract/369/1639/20120281/57924/Delivering-sustainable-crop-protection-systems-via?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения: 15.04.2024). doi: 10.1098/rstb.2012.0281.
- 5.Киселева Е. Н., Раченко М. А. Оценка гибридных сеянцев малины ремонтантной по устойчивости к вредителям в Южном Предбайкалье // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 75-летию Уральского сада лечебных культур им. Профессора Л. И. Вигорова. Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. С. 160–167.
- 6.Анорбаев А. Р., Рахманов А. Х. Видовой состав паутинных клещей (*Tetranychidae*), встречающихся в семечковых плодовых садах Узбекистана // Universum: химия и биология. 2021. № 4 (82). С. 8–10.
- 7.Incidence of aphid-transmitted viruses in raspberry and raspberry aphids in Norway and experiments on aphid transmission of black raspberry necrosis virus / B. Sapkota, N. Trandem, J. Franova, et al. // Front Plant Sci. 2024. Vol. 15. Article 1441145. URL: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1441145/full?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article (дата обращения: 15.12.2025). doi: 10.3389/fpls.2024.1441145. eCollection 2024.
- 8.Known and Potential Invertebrate Vectors of Raspberry Viruses / J. L. Tan, N. Trandem, J. Franova, et al. // Viruses. 2022. Vol. 14(3). Article 571. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4915/14/3/571> (дата обращения: 21.03.2023). doi: 10.3390/v14030571.
- 9.Raspberry Viruses in the Czech Republic, with Identification of a Novel Virus: Raspberry Virus A / J. L. Tan, I. Koloniuk, O. Lenz, et al. // Viruses. 2025. Vol. 17. No. 12. Article 1597. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4915/17/12/1597> (дата обращения: 15.01.2026). doi: 10.3390/v17121597.
- 10.Assessment of applying an integrated pest management strategy to control the raspberry leaf and bud mite, *Phyllocoptes gracilis* (Nal.) and its effect on the raspberry leaf metabolites / G. Podedworny, M. Tartanus, D. Solecka, et al. // Journal of Plant Protection Research. 2024. Vol. 64. No. 1. P. 52–60. doi: 10.24425/jppr.2024.149152.
- 11.Ермолаева Л. В., Сорокин А. А. Устойчивость жимолости синей к тлям на Северо-Западе России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. С. 52–57. doi: 10.24411/2078-1318-2020-12052.
- 12.Rakhmanov A. *Tetranychus urticae* Koch Biology on Apple Trees // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №10. С. 239–243. doi: 10.33619/2414-2948/107/28.
- 13.Куклина А. Г., Каштанова О. А., Сорокопудов В. Н. Фитосанитарный мониторинг жимолости синей в Средней России // Вестник КрасГАУ. 2019. № 9. С. 35–40.
- 14.Невоструева Е. Ю. Исходные формы малины на устойчивость к малинному клещу в условиях Среднего Урала // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2016. Т. 3. С. 98–100.
- 15.Программа и методике селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е. Н. Седова. Орел: ВНИИСПК, 1995. 503 с.).
- 16.Определитель вредных и полезных насекомых и клещей плодовых и ягодных культур в СССР / В. С. Великань, А. М. Гегечкори, В.Б. Голуб и др.; Сост. Л.М. Копанева. Л.: Колос. Ленингр. Отд-ние, 1984. 288 с.
- 17.Лившиц И. З., Митрофанов В. И., Петрушов А. З. Сельскохозяйственная акарология. М.: ГНУ ВСТИСП Россельхозакадемии, 2011. 351 с.
- 18.Оценка семенной продуктивности родительских видов и гибридов *Trollius* с использованием критерия Манна-Уитни / Л. В. Буглова, М. В. Козлова, О. Ю. Васильева и др. // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2024 № 1 (49). С. 6–16. с.

References

1. Razdoburdin VA, Kirillova OS. [Leaf blade surface as a factor influencing spider mite development on cucumber]. *Vestnik zashchity rasteniy*. 2019; 4 (102). 60–65 p. doi: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-60-65.
2. Zeynalov AS, Churilina TN, Davletshina YuB. [Bioecological features and harmfulness of the common spider mite (*Tetranychus urticae* (Koch.)) on garden strawberries in Orenburg region]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2021; 65. 76–86 p. doi: 10.31676/2073-4948-2021-65-76-86
3. Tan JL, Trandem N, Hamborg Z. The species, density, and intra-plant distribution of mites on red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Exp Appl Acarol*. 2024; Vol. 93 (2). 317–337 p. doi: 10.1007/s10493-024-00930-7.
4. Pickett JA, Aradottir GI, Birkett MA. Delivering sustainable crop protection systems via the seed: exploiting natural constitutive and inducible defence pathways. [Internet]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2014; Vol.369 (1639). Article 20120281. [cited 2024, April 15]. Available from: <https://royalsocietypublishing.org/rstb/article-abstract/369/1639/20120281/57924/Delivering-sustainable-crop-protection-systems-via?redirectedFrom=fulltext>. doi: 10.1098/rstb.2012.0281.
5. Kiseleva EN, Rachenko MA. [Evaluation of hybrid remontant raspberry seedlings for pest resistance in the Southern Baikal region]. *Materialy Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 75-letiyu Uralskogo sada lechebnykh kultur im. Professora L.I.Vigoro*. Ekaterinburg: UGLTU. 2025; 160–167 p.
6. Anorbaev AR, Rakhmanov AKh. [Species composition of spider mites (*Tetranychidae*) found in pome fruit orchards of Uzbekistan]. *Universum: khimiya i biologiya*. 2021; 4 (82). 8–10 p.

7. Sapkota B, Trandem N, Franova J. Incidence of aphid-transmitted viruses in raspberry and raspberry aphids in Norway and experiments on aphid transmission of black raspberry necrosis virus. [Internet]. Front Plant Sci. 2024. Vol. 15. Article 1441145. [cited 2025, December 15]. Available from: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1441145/full?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article. doi: 10.3389/fpls.2024.1441145. eCollection 2024.
8. Tan JL, Trandem N, Franova J. Known and potential invertebrate vectors of raspberry viruses. [Internet]. Viruses. 2022; Vol.14(3). Article 571. [cited 2023, March 21]. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-4915/14/3/571>. doi: 10.3390/v14030571.
9. Tan JL, Koloniuk I, Lenz O. Raspberry viruses in the Czech Republic, with identification of a novel virus: raspberry virus A. [Internet]. Viruses. 2025; Vol.17. No.12. Article 1597. [cited 2026, January 15]. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-4915/17/12/1597>. doi: 10.3390/v17121597.
10. Podedworny G, Tartanus M, Solecka D. Assessment of applying an integrated pest management strategy to control the raspberry leaf and bud mite, *Phyllocoptes gracilis* (Nal.) and its effect on the raspberry leaf metabolites. Journal of Plant Protection Research. 2024; Vol.64. No.1. 52-60 p. doi: 10.24425/jppr.2024.149152.
11. Ermolaeva LV, Sorokin AA. [Resistance of blue honeysuckle to aphids in the north-west of Russia]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; 52-57 p. doi: 10.24411/2078-1318-2020-12052.
12. Rakhmanov A. [Tetranychus urticae Koch Biology on apple trees]. Byulleten nauki i praktiki. 2024; Vol.10. 10. 239-243 p. doi: 10.33619/2414-2948/107/28.
13. Kuklina AG, Kashtanova OA, Sorokopudov VN. [Phytosanitary monitoring of blue honeysuckle in Central Russia]. Vestnik KrasGAU. 2019; 9. 35-40 p.
14. Nevostueva EYu. [Initial forms of raspberry for resistance to raspberry mite in the conditions of Middle Urals]. Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kultur. 2016; Vol.3. 98-100 p.
15. Sedov EN. Programma i metodika selektsii plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur. [Program and methods for breeding fruit, berry and nut crops]. Orel: VNIISP. 1995; 503 p.
16. Velikan VS, Gegechkori AM, Golub VB. [Identifier of harmful and beneficial insects and mites of fruit and berry crops in the USSR]. Sost. L. M. Kopaneva. Leningrad: Kolos. Leningr. otd-nie. 1984; 288 p.
17. Livshits IZ, Mitrofanov VI, Petrushov AZ. Selskokhozyaystvennaya akarologiya. [Agricultural acarology]. Moscow: GNU VSTISP Rosselkhozakademii. 2011; 351 p.
18. Buglova LV, Kozlova MV, Vasileva OYu. [Evaluation of seed productivity of parental species and hybrids of Trollius using Mann-Whitney test]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyy nauchnyy zhurnal. 2024; 1 (49). 6-16 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Елена Николаевна Киселева – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела прикладных и экспериментальных разработок Федеральное государственное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 132), e-mail: elenasolya@mail.ru, ORCID 0000-0002-4267-5829

Максим Анатольевич Раченко – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом прикладных и экспериментальных разработок Федеральное государственное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 132), e-mail: bigmks73@rambler.ru, ORCID 0000-0001-7644-7771

Вклад авторов:

Е.Н. Киселева – концептуализация, верификация данных, формальный анализ, проведение исследования, администрирование данных, создание черновика рукописи, визуализация;

М.А. Раченко – верификация данных, ресурсы, администрирование данных, создание рукописи и её редактирование, визуализация, руководство исследованием, администрирование проекта, получение финансирования.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 23.01.2026; одобрена после рецензирования 06.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Kiseleva Elena Nikolaevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, researcher of Department of Applied and Experimental Development Federal State Scientific Institution Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (132 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russian Federation), e-mail: elenasolya@mail.ru, ORCID 0000-0002-4267-5829

Rachenko Maksim Anatolevich – Doctor of Agricultural Sciences, Head of Department of Applied and Experimental Development Federal State Scientific Institution Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (132 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russian Federation), e-mail: bigmks73@rambler.ru, ORCID 0000-0001-7644-7771

Contribution of the authors:

Е.Н. Киселева – Conceptualization, data verification, Formal analysis, Conducting the research, Data administration, Drafting the manuscript, Visualization;

М.А. Раченко – Data verification, Resources, Data administration, Manuscript preparation and editing, Visualization, Research supervision, Project administration, Funding acquisition.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 23.01.2026; revised 06.06.2026; accepted 25.06.2026.



ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

© 2026 Тимохин А. Ю.¹✉, Шулико Н. Н.¹, Кубасова Е. В.¹, Тукмачева Е. В.¹, Терентьев А. В.²

¹Омский аграрный научный центр
(г. Омск, Российская Федерация)

²Государственный университет управления
(г. Москва, Российская Федерация)

✉ timokhin@anc55.ru

Реферат. Исследования проводили с целью изучения степени влияния различных форм минеральных удобрений на ферментативную активность почвы, интенсивность разложения целлюлозы и урожайность сельскохозяйственных культур для совершенствования систем удобрения. Работу выполняли в 2022–2024 годы. в Омской области в длительном стационарном полевом опыте, который включал следующие варианты: без удобрений – контроль, N₆₀, P₆₀, N₆₀P₆₀. Почва опытного участка – лугово-черноземная среднетяжелосуглинистая. Ферментативную активность определяли в воздушно-сухих образцах. На энзиматическую активность почвы влияли метеорологические условия периода наблюдений и выращиваемые культуры. Каталаза проявляла максимальную в опыте активность под посевами многолетних трав к завершению вегетационного периода – в августе, достигая 2,03 O₂ см³/мин. Значительного воздействия азотных и фосфорных удобрений на активность инвертазы и уреазы не наблюдали. Наибольшую интенсивность разложения целлюлозы в почве отмечали в посевах льна масличного, где величина этого показателя варьировала от 0,82 до 0,95% в сутки, против 0,60...0,71% в сутки под многолетними травами и 0,69...0,85% в сутки под сорго-суданковым гибридом. В сложившихся условиях применение N₆₀P₆₀ в посевах льна масличного, ежи в смеси с эспарцетом и сорго-суданкового гибрида было наиболее эффективным и обеспечивало сбор 1,54 т/га маслосемян, 4,21 и 5,23 т/га абсолютно сухого вещества надземной массы растений соответственно.

Ключевые слова: ферментативная активность, лугово-черноземная почва, минеральные удобрения, плодородие, урожайность.

Для цитирования: Влияние различных условий минерального питания на биологическую активность лугово-черноземной почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур / А.Ю. Тимохин, Н.Н. Шулико, Е.В. Кубасова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 46–53. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-46-53

INFLUENCE OF VARIOUS MINERAL NUTRITION CONDITIONS ON BIOLOGICAL ACTIVITY OF MEADOW-CHERNOZEM SOILS AND PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROP

© 2026 Timokhin A. Yu.^a✉, Shuliko N. N.^a, Kubasova E. V.^a, Tukmacheva E. V.^a, Terentev A. V.^b

^aOmsk Agricultural Research Center
(Omsk, Russian Federation)

^bState University of Management
(Moscow, Russian Federation)

✉ timokhin@anc55.ru

Abstract. The study was conducted to assess the influence of various forms of mineral fertilizers on soil enzymatic activity, cellulose decomposition rate and crop yields, with the aim of improving fertilization systems. The study was conducted from 2022 to 2024 in Omsk region in a long-term stationary field experiment, which included the following treatments: no fertilizer (control), N₆₀, P₆₀ and N₆₀P₆₀. The experimental plot soil was a medium-humus, heavy loamy meadow-chnozem soil. Enzymatic activity was determined in air-dried samples. Meteorological conditions during the observation period and crops grown influenced the soil's enzymatic activity. Catalase demonstrated its highest activity under perennial grass crops towards the end of growing season, in August, reaching 2.03 O₂ cm³/min. No significant effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on invertase and urease activity were observed. The highest rate of cellulose decomposition in the soil was observed in oil flax crops, where this indicator varied from 0.82 to 0.95% per day, compared to 0.60 to 0.71% per day under perennial grasses and 0.69 to 0.85% per day under the sorghum-sudan hybrid. Under the current conditions, the use of N₆₀P₆₀ in flaxseed, orchardgrass mixed with sainfoin and sorghum-sudan hybrid

crops was most effective, yielding 1.54 t/ha of oilseeds and 4.21 and 5.23 t/ha of aboveground plant dry matter, respectively.

Key words: enzymatic activity, meadow-chernozem soil, mineral fertilizers, fertility, productivity.

For citation: Timokhin AYu, Shuliko NN, Kubasova EV, et al. [Influence of various mineral nutrition conditions on biological activity of meadow-chernozem soils and productivity of agricultural crop]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 46-53 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-46-53

Введение. Микробиологические процессы считают маркером почвенного плодородия [1]. Энзиматическая активность, при применении различных сельскохозяйственных технологий, позволяя объективно оценить их воздействие на почвенное плодородие [2, 3]. Каталазная и инвертазная активность существенно снижается с глубиной почвенного профиля [4]. При усилении агротехнологического воздействия на почву (применение минеральных удобрений), активность каталазы возрастает. Положительная корреляция установлена между активностью уреазы и содержанием доступного азота в почве [5, 6].

Почвенные ферменты играют важную роль в разложении и трансформации органического вещества, высвобождают доступные питательные вещества для биоты и участвуют в циклах биогенных элементов [7]. Ферментативная активность почвы изменяется намного быстрее, чем большинство физических и химических показателей, что обеспечивает выявление трансформации органического вещества на ранних стадиях [8].

В условиях континентального и умеренного климата, при относительно оптимальном увлажнении, ограничивающим активность ферментов фактором выступает режим теплообеспеченности. В этой связи, пик энзиматической активности выпадает на летние месяцы, совпадая с всплеском биологической активности почвы [9, 10].

Непрерывное протекание микробиологических процессов и применение удобрений улучшают свойства почвы, например, активизируется биологическая и энзиматическая активность, происходит обогащение гумусом, улучшаются водные и физические свойства, что, в конечном итоге, способствует сохранению плодородия [11].

Утилизация и включение в биологический круговорот послеуборочных остатков полевых культур – первостепенное условие сохранения почвенного плодородия. На целлюлозолитическую активность оказывают влияние температура воздуха и почвы, увлажнение, аэрация, биологическая активность, средства интенсификации и др. [12].

Цель исследований – определение степени воздействия различных доз минеральных удобрений на энзиматическую и целлюлозолитическую активность почвы и урожайность сельскохозяйственных культур для совершенствования системы удобрений.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022–2024 годы на полях

ФГБНУ «Омский АНЦ». Опыт проведен в восьмипольном севообороте. Эксперимент предполагал изучение следующих вариантов:

- сельскохозяйственная культура (фактор А) – однолетняя культура (лен масличный, *Linum usitatissimum* L.); многолетние травы (смесь эспарцета песчаного *Onobrychis arenaria* (Kit.) с ежой сборной *Dactylis glomerata* L.); однолетние травы (сорго-суданковый гибрид – ССГ, *Sorghum xdrummondii* (Steud.) Millsp. & Chase);

- минеральные удобрения (фактор В) – без удобрений (контроль), N₆₀, P₆₀, N₆₀P₆₀.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднетяжелосуглинистая, рНвод – 7,2, плотность пахотного слоя 1,07...1,14 г/см³. Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0...20 см в варианте без применения удобрений (контроль) – среднее (менее 100 мг/кг, по Чирикову), обеспеченность почвы подвижным калием – очень высокая (более 180 мг/кг) независимо от агрофона.

Анализ ферментативной активности почвы проводили в воздушно-сухих образцах: инвертазы – по Купревичу, уреазы по Гофману, каталазы – газометрически [13]. Интенсивность разложения целлюлозы определяли методом Тихомировой [14].

Метеорологические условия в годы проведения исследований были контрастными. Так, 2022 и 2023 года характеризовались неравномерным поступлением атмосферных осадков при повышенной температуре воздуха, в таких условиях ГТК за май-август составил 0,98 и 0,80 соответственно. В 2024 году количество выпавших осадков превышало средние многолетние значения при ГТК – 1,70.

Результаты и обсуждение. При анализе микробиологической активности важным показателем выступает активность фермента каталазы, который разлагает ядовитую для микроорганизмов и растений перекись водорода на молекулярный кислород и воду. Активность каталазы возрастала в течение вегетационного периода вне зависимости от варианта опыта, это объясняется повышением средней температуры пахотного слоя почвы, что, как известно, способствует активации микробиологических процессов. Максимальный уровень активности отмечали в августе (в среднем на 68% относительно июньского отбора проб) (рис. 1).

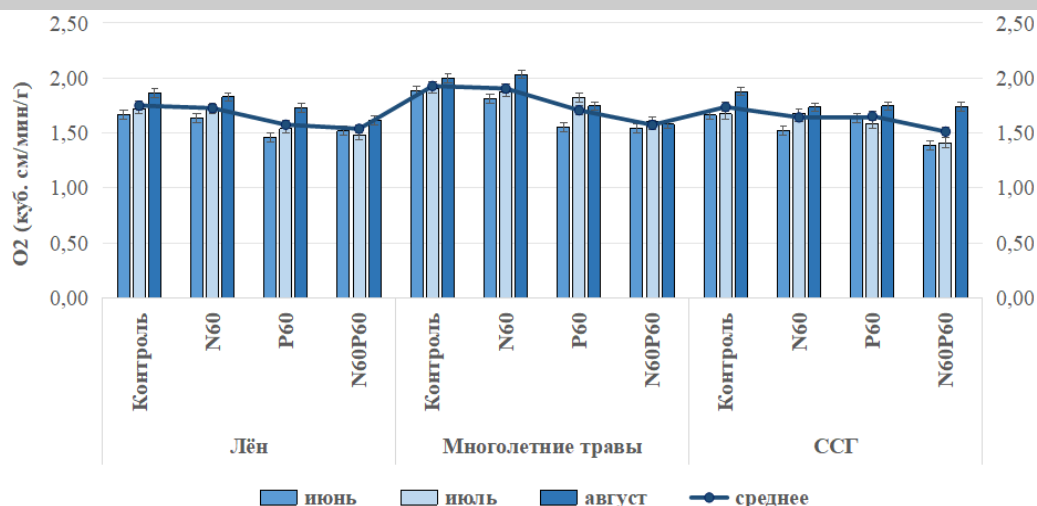


Рис. 1 – Катазная активность почвы при применении минеральных удобрений (2022–2024 гг.), O₂ см³/мин/г

Fig. 1 – Catalase activity of the soil under the application of mineral fertilizers (2022–2024), O₂ cm³/min/g

При рассмотрении минеральных удобрений как фактора воздействия на динамику ферментативной активности почвы, не было обнаружено чёткой взаимосвязи между элементами питания и уровнем ферментов в почве. Активность каталазы повышалась при выращивании многолетних трав, максимальные значения активности фермента отмечены в августе в варианте с применением азотных удобрений (N₆₀) – до 2,03 см³/мин/г, что можно объяснить биологическими свойствами выращиваемой травосмеси, в составе которой присутствует бобовая культура.

На содержание фермента инвертазы существенным образом повлиял видовой состав

растительности, а также более благоприятный температурный режим почвы во второй половине вегетационных периодов. На фоне многолетних трав даже в контрольном варианте отмечена высокая инвертазная активность, до 2,46 мг, что на 77% выше, по сравнению с аналогичным вариантом сорговой культуры.

В отношении внесения элементов питания заметных различий между вариантами не было обнаружено. Оценивая средние значения показателя, можно отметить тенденцию на активацию энзимов инвертазы при внесении фосфорных удобрений (P₆₀), от 15,93 у сорго-суданкового гибрида до 21,07 мг у многолетних трав (рис. 2).

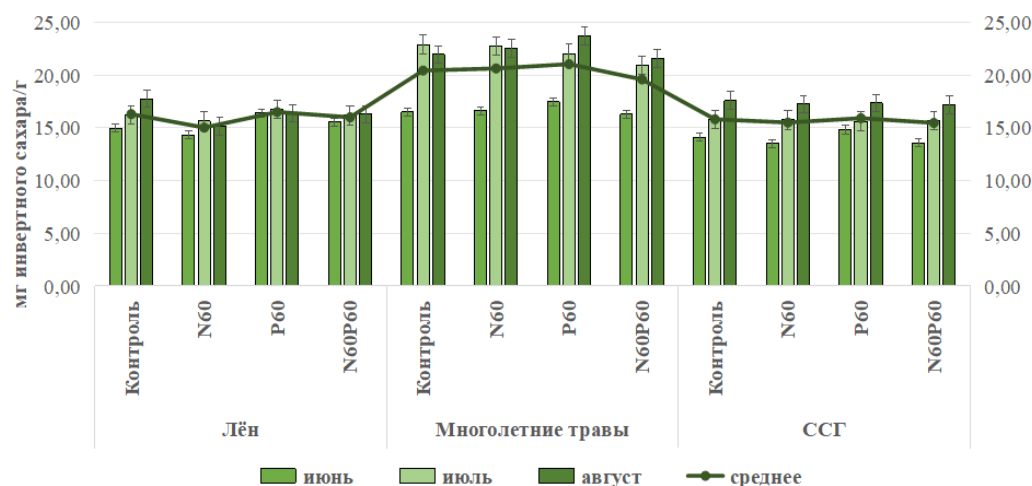


Рис. 2 – Активность фермента инвертаза в зависимости от применения минеральных удобрений (2022–2024 годы), мг инвертного сахара/г почвы

Fig. 2 – Invertase enzyme activity depending on the application of mineral fertilizers (2022–2024), mg of invert sugar/g of soil

В наших исследованиях вариант с многолетними травами показал максимальные результаты по активности фермента уреазы – достигая 0,81 мг NH₃/г почвы, что подтверждает тесную взаимосвязь почвенной

микробиоты с сельскохозяйственными культурами и различный характер их взаимодействия в зависимости от видового состава растительности (рис. 3). Так, исследованиями коллег установлено, что непосредственно на

корнях хлопчатника, томатов и перца увеличивается количество бактерий, использующих минеральные формы азота и труднорастворимые фосфаты; в корневой зоне фасоли, кукурузы и пшеницы относительно высоко количество бактерий, использующих органические формы азота и минеральные формы фосфора. Это свидетельствует о специфическом воздействии разных видов растений на микроорганизмы [15].

Известно, что микробный ценоз играет важнейшую роль в процессах почвообразования. Бактерии и грибы участвуют в большинстве биохимических превращений в почвах, включая минерализацию органических соединений, гумификацию, азотфиксацию, нитрификацию и аммонификацию. При этом направленность вызываемых микроорганизмами процессов может способствовать росту растений или угнетать его [16].

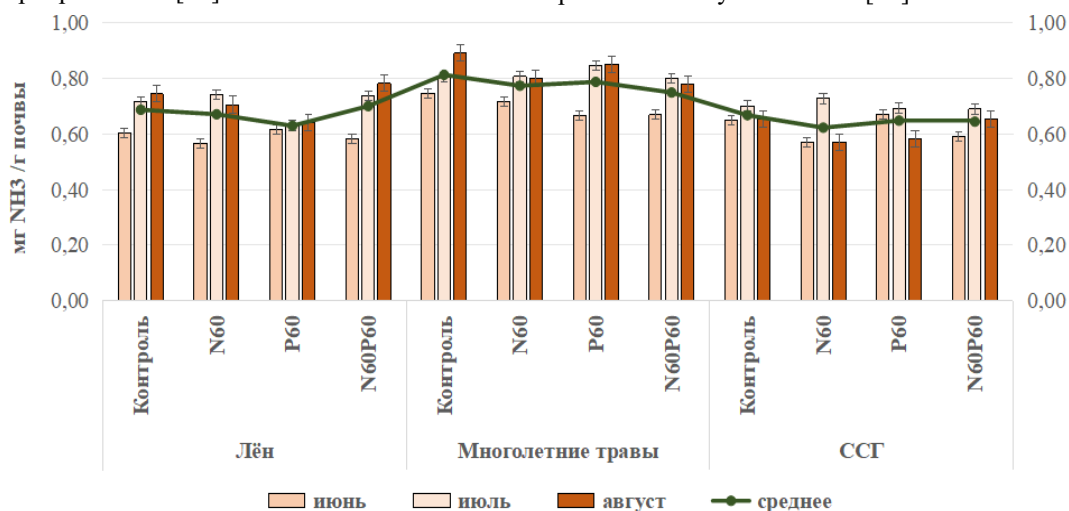


Рис. 3 – Активность фермента уреазы в зависимости от применения бактериальных удобрений (2022–2024 годы), мг NH₃/г почвы

Fig. 3 – Urease enzyme activity depending on the application of bacterial fertilizers (2022–2024), mg of NH₃/g of soil

Интенсивность разложения целлюлозы в почве характеризует её биологическую активность. Величина этого показателя отражает интенсивность микробиологических процессов, которые определяют плодородие почвы и скорость трансформации органического вещества. Целлюлозолитическая активность зависит от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода, наличия в почве легкодоступного азота, состава и численности микробных ассоциаций, разрушающих целлюлозу и других факторов.

Наибольшей в опыте интенсивностью разложения целлюлозы в почве отличались варианты под посевом льна масличного, варьирование составило от 0,82 до 0,95% в сутки, при уровне под многолетними травами от 0,60 до 0,71% в сутки, под сорго-суданковым гибридом – от 0,69 до 0,85% в сутки (табл. 1). Это может быть обусловлено тем, что в разрушении целлюлозы по большей части участвуют микрогрибы, нашими исследованиями установлены высокие их абсолютные значения в почве под посевом льна [17].

Таблица 1 – Интенсивность разложения целлюлозы в слое почвы 0...20 см в зависимости от применения удобрений (2022–2024 годы), %

Table 1 – Intensity of cellulose decomposition in the 0–20 cm soil layer depending on the application of fertilizers (2022–2024), %

Культура (фактор А)	Минеральные удобрения (фактор В)	Год				Среднее за сутки, %
		2022	2023	2024	среднее	
1	2	3	4	5	6	7
Лён масличный	0	65,28	44,53	47,46	52,42	0,90
	N ₆₀	63,13	45,99	48,77	52,63	0,91
	P ₆₀	52,50	42,68	70,38	55,19	0,95
	N ₆₀ P ₆₀	57,10	40,46	45,86	47,81	0,82
	среднее	59,50	43,42	53,12	52,01	0,90
Многолетние травы	0	44,50	29,79	45,73	40,01	0,69
	N ₆₀	30,25	29,00	45,48	34,91	0,60
	P ₆₀	29,53	32,66	45,01	35,73	0,62
	N ₆₀ P ₆₀	46,80	34,72	42,63	41,38	0,71
	среднее	37,77	31,54	44,71	38,01	0,66

Продолжение таблицы 1 / Table 1 (continued)

1	2	3	4	5	6	7
Сорго-суданковый гибрид	0	51,98	35,57	33,32	40,29	0,69
	N ₆₀	62,55	28,61	57,35	49,50	0,85
	P ₆₀	50,78	37,26	37,26	41,76	0,72
	N ₆₀ P ₆₀	68,43	35,83	43,69	49,31	0,85
	среднее	58,44	34,32	42,91	45,22	0,78
Среднее	0	53,92	36,63	42,17	44,24	0,76
	N ₆₀	51,98	34,53	50,53	45,68	0,79
	P ₆₀	44,27	37,53	50,88	44,23	0,76
	N ₆₀ P ₆₀	57,44	37,00	44,06	46,17	0,79
	среднее	51,90	36,43	46,91	45,08	0,78
HCP ₀₅ для факторов		A=7,15*; B=8,25; AB=14,30				
Доля влияния факторов, %		A=89,4; B=1,4; AB=9,2				

* $p \geq 0,05$

Применение минеральных удобрений в различных дозах способствовало усилению интенсивности разложения клетчатки в почве под льном масличным (на 0,05% при внесении P₆₀ против 0,90% в контроле) и сорго-суданковым гибридом (на 0,16% при внесении N₆₀, N₆₀P₆₀ против 0,69% в контроле).

В почве под посевом многолетних трав наблюдали некоторое снижение величины показателя в вариантах с удобрениями N₆₀, P₆₀ соответственно на 0,09 и 0,07%, по отношению к контролю. Возможно слишком плотное сложение почвы под посевом многолетних трав послужило причиной снижения интенсивности разложения целлюлозы, так как

происходит ограничение распространения корней, снижается активность и численность микроорганизмов [11].

Гидротермические условия вегетационного периода и уровень минерального питания оказывали влияние на биологические свойства почвы, и, как следствие, на продуктивность сельскохозяйственных культур в опыте. Недобор осадков и повышенный температурный фон в 2023 году приводили к снижению продуктивности многолетних трав на 35% в сравнении с 2022 года. При этом, в переувлажненном 2024 году отмечено снижение урожайности льна масличного и сорго-суданкового гибрида (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние условий минерального питания на урожайность культур (2022–2024 гг.), т/га

Table 2 – Effect of mineral nutrition conditions on crop yield (2022–2024), t/ha

Вариант	Год			
	2022	2023	2024	Среднее
Лен масличный (маслосемена), HCP ₀₅ =0,45				
0	1,12	0,99	0,71	0,94
N ₆₀	0,98	1,13	0,92	1,01
P ₆₀	1,73	1,01	0,86	1,13
N ₆₀ P ₆₀	1,73	1,76	1,14	1,54
Среднее	1,34	1,22	0,91	1,16
Многолетние травы (сухая надземная масса за два укоса), HCP ₀₅ =0,71				
0	3,84	2,42	3,18	3,15
N ₆₀	4,17	2,32	3,85	3,45
P ₆₀	3,97	2,81	3,65	3,48
N ₆₀ P ₆₀	4,43	3,10	5,09	4,21
Среднее	4,11	2,66	3,94	3,57
Сорго-суданковый гибрид (сухая надземная масса), HCP ₀₅ =1,35				
0	2,77	2,56	2,25	2,53
N ₆₀	3,64	3,50	4,03	3,72
P ₆₀	3,11	4,59	2,94	3,54
N ₆₀ P ₆₀	4,25	5,52	5,93	5,23
Среднее	3,44	4,04	3,79	3,76

В вариантах применения азотных минеральных удобрений (N₆₀) отмечена тенденция увеличения урожайность маслосемян льна масличного с 0,94 до 1,01 т/га или на 7%, фосфорных – до 1,13 т/га (на 20%), а при их

сочетании – до 1,54 т/га, или на 64%.

Многолетние травы, в среднем за период исследований, сформировали в контрольном варианте 3,15 т/га сухого вещества надземной массы за два укоса. Азотные удобрения

способствовали интенсивному развитию мятликового компонента, а фосфорсодержащие – бобового, то есть повышали сбалансированность травосмеси. Наиболее эффективным в опыте в таких условиях было внесение удобрений в дозе $N_{60}P_{60}$, что способствовало увеличению урожайности на 34% до 4,21 т/га.

Сорго-суданковый гибрид был отзывчивым на применение минеральных удобрений. Внесение N_{60} и P_{60} увеличивало урожайность надземной массы до 3,72 и 3,54 т/га сухого вещества, что на 47 и 40% выше контроля, а $N_{60}P_{60}$ – до 5,23 т/га или на 107%.

Выводы. На ферментативную активность почвы существенное воздействие оказывает вид сельскохозяйственной культуры. Более сильный отклик был получен при выращивании многолетних трав, в состав которых входят бобовые культуры. Эта закономерность отмечена для каталазы ($1,93 O_2 \text{ см}^3/\text{мин}/\text{г}$), инвертазы (21,07 мг инвертного сахара/г) и

уреазы (0,81 мг $NH_3/\text{г}$ почвы). Активность фермента инвертазы несколько увеличивалась при внесении P_{60} . Наибольшую интенсивность разложения целлюлозы в почве отмечали в вариантах со льном масличным, где величина этого показателя варьировала от 0,82 до 0,95% в сутки, против 0,60...0,71% в сутки под многолетними травами, 0,69...0,85% в сутки под сорго-суданковым гибридом.

Внесение азотно-фосфорных удобрений способствовало интенсивному развитию растений и, как следствие, росту урожайности. Сбор маслосемян льна в варианте $N_{60}P_{60}$ достигал 1,54 т/га, сухого вещества надземной массы многолетних трав и сорго-суданкового гибрида – 4,21 и 5,23 т/га соответственно.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2024-542.

Литература

1. Sheikh S. A., Atmapoojya S. L. Experimental study on factors affecting the efficiency of microbially induced carbonate precipitation in soil. *Materials Today // Proceedings*. 2022. Vol. 60. No. 4. P. 275-280. doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.530.
2. Проворов Н. А., Тихонович И. А. Сельскохозяйственная микробиология и симбиогенетика: синтез классических идей и конструирование высокопродуктивных агроценозов (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 5. С. 821–831. doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.821rus.
3. Белоусов А. А., Белоусова Е. Н., Кухбуди Д. Д. Динамика каталазной активности чернозема обыкновенного в условиях минимизации обработки // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 5 (170). С. 103–108.
4. Магда Е. В., Мазиров М. А., Зинченко М. К. Активность каталазы и инвертазы при различной интенсивности механической обработки почвы // *Владимирский земледелец*. 2022. № 2 (100). С. 24–30.
5. Завалин А. А., Алешин М. А. Использование растениями азота в различных агроценозах. М.: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова», 2024. 310 с.
6. Почвы ксерофитных лугов Среднего Подесенья: к вопросам накопления органических веществ и биохимической активности / С. Н. Поцепай, Л. Н. Анищенко, М. В. Семьшев и др. // *Аграрная наука*. 2024. № 3. С. 109–113. doi: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-109-113.
7. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) / Д. А. Никитин, М. В. Семенов, Т. И. Чернов и др. // *Почвоведение*. 2022. № 2. С. 228–243. doi: 10.31857/S0032180X22020095.
8. Soil enzyme activity in response to long-term organic matter manipulation / Z. Kotroczó, Z. Veres, I. Fekete, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 70. P. 237–243.
9. Ферментативная активность орошаемых луговых почв Бухарского оазиса / Л. А. Гафурова, Г. М. Набиева, Д. Ю. Махкамова и др. // *Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса: Коллективная монография / Под редакцией В. В. Окоркова*. Иваново: ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», 2020. С. 13–15.
10. Зинченко М. К., Зинченко С. И. Оценка ферментативной активности серой лесной почвы агросистем // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2019. № 2 (27). С. 5–11. doi: 10.35523/2307-5872-2019-27-2-5-11.
11. Relative impacts of tillage, residue management and crop-rotation on soil bacterial communities in a semi-arid agroecosystem / Y. E. Navarro-Noya, S. Gomez, N. Montoya-Ciriaco, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. No. 65. P. 86–95. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.05.009.
12. Osler G. H. R., Sommerkorn M. Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna // *Ecology*. 2007. No. 88. P. 1611–1621. doi: 10.1890/06-1357.1.
13. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
14. Тихомирова Л. Д. Биологический метод определения плодородия почвы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 1973. № 5. С. 15–18.
15. Wang X., Chi Y., Song S. Important soil microbiota's effects on plants and soils: a comprehensive 30-year systematic literature review // *Frontiers in Microbiology*. 2024. Vol. 15. P. 1347745. doi: 10.3389/fmicb.2024.1347745.
16. Халикова Л. В., Кавеленова Л. М. Почвенный микробоценоз в агросреде как динамичная система: первичные результаты оценки изменений // *Самарский научный вестник*. 2023. Т. 12. № 2. С. 91–97. doi: 10.55355/snv2023122114.
17. Эффективность применения минеральных удобрений в орошаемом севообороте / Н. Н. Шулико, А. Ю. Тимохин, Е. В. Тукмачева и др. // *Плодородие*. 2023. № 2 (131). С. 82–88. doi: 10.25680/S19948603.2023.131.19.

References

1. Sheikh SA, Atmapoojya SL. Experimental study on factors affecting the efficiency of microbially induced carbonate precipitation in soil. *Materials today proceedings*. 2022; Vol.60. No.4. 275-280 p. doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.530.
2. Provorov NA, Tikhonovich IA. [Agricultural microbiology and symbiogenetics: synthesis of classical ideas and construction of highly productive agroecosystems (review)]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2022; Vol.57. 5.

821-831 p. doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.821rus.

3. Belousov AA, Belousova EN, Kukhbudi DD. [Dynamics of catalase activity of ordinary chernozem under conditions of minimized tillage]. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 5 (170). 103-108 p.

4. Magda EV, Mazirov MA, Zinchenko MK. [Catalase and invertase activity under different intensities of mechanical tillage]. *Vladimirskiy zemledelets*. 2022; 2 (100). 24-30 p.

5. Zavalin AA, Aleshin MA. Ispolzovanie rasteniyami azota v razlichnykh agrotsenozakh. [Nitrogen use by plants in various agrocenoses]. Moscow: FGBNU Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut agrokhimii imeni D.N.Pryanishnikova. 2024; 310 p.

6. Potsepay SN, Anishchenko LN, Semyshev MV. [Soils of xerophytic meadows of Middle Podsenya region: on the accumulation of organic matter and biochemical activity]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 3. 109-113 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-109-113.

7. Nikitin DA, Semenov MV, Chernov TI. [Microbiological indicators of ecological functions of soils (review)]. *Pochvovedenie*. 2022; 2. 228-243 p. doi: 10.31857/S0032180X22020095.

8. Kotroczo Z, Veres Z, Fekete I. Soil enzyme activity in response to long-term organic matter manipulation. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014; Vol.70. 237-243 p.

9. Gafurova LA, Nabieva GM, Makhkamova DYU. Fermentativnaya aktivnost oroshaemykh lugovykh pochv Bukharskogo oazisa. Sovremennye tendentsii v nauchnom obespechenii agropromyshlennogo kompleksa: kollektivnaya monografiya. [Enzyme activity of irrigated meadow soils of Bukhara oasis. Modern trends in scientific support of the agro-industrial complex: collective monograph]. / Editorship V.V. Okorkov. Ivanovo: FGBNU Verkhnevolzhskiy FANTs. 2020; 13-15 p.

10. Zinchenko MK, Zinchenko SI. [Assessment of enzymatic activity of gray forest soil of agrosystems]. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya*. 2019; 2 (27). 5-11 p. doi: 10.35523/2307-5872-2019-27-2-5-11.

11. Navarro-Noya YE, Gomez S, Montoya-Ciriaco N. Relative impacts of tillage, residue management and crop-rotation on soil bacterial communities in a semi-arid agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013; No.65. 86-95 p. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.05.009.

12. Osler GHR, Sommerkorn M. Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna. *Ecology*. 2007; No.88. 1611-1621 p. doi: 10.1890/06-1357.1.

13. Khaziev FK. Metody pochvennoy enzimologii. [Methods of soil enzymology]. Moscow: Nauka. 2005; 252p.

14. Tikhomirova LD. [Biological method for determining soil fertility]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 1973; 5. 15-18 p.

15. Wang X, Chi Y, Song S. Important soil microbiota's effects on plants and soils: a comprehensive 30-year systematic literature review. *Frontiers in Microbiology*. 2024; Vol.15. 1347745 p. doi: 10.3389/fmicb.2024.1347745.

16. Khalikova LV, Kavelenova LM. [Soil microbiocenosis in the agricultural environment as a dynamic system: primary results of change assessment]. *Samarskiy nauchnyy vestnik*. 2023; Vol.12. 2. 91-97 p. doi: 10.55355/snv2023122114.

17. Shuliko NN, Timokhin AYU, Tukmacheva EV. [Efficiency of mineral fertilizer application in irrigated crop rotation]. *Plodorodie*. 2023; 2 (131). 82-88 p. doi: 10.25680/S19948603.2023.131.19.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Тимохин Артем Юрьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. Агротехнологическим центром Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: timokhin@anc55.ru, ORCID 0000-0002-5120-4068

Шулико Наталья Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией микробиологии Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: shuliko@anc55.ru, ORCID 0000-0001-5641-434X

Кубасова Екатерина Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: kbasova.k@mail.ru, ORCID 0009-0003-3166-0028

Тукмачева Елена Васильевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии Омского аграрного научного центра (644012, Российская федерация, г. Омск, проспект Королева 26), e-mail: tukmacheva@anc55.ru, ORCID 0000-0002-1312-3881

Терентьев Алексей Вячеславович – главный научный сотрудник Управления координации научных исследований Государственного университета управления (109542, Российская федерация, г. Москва, Рязанский проспект 99), e-mail: av_terentev@guu.ru, ORCID 0000-0003-3500-2201

Вклад авторов:

А. Ю. Тимохин – концептуализация исследования, научное руководство, формальный анализ, получение финансирования;

Н. Н. Шулико – верификация данных, проведение исследования, написание первоначального текста, редактирование и доработка текста;

Е. В. Кубасова – проведение исследования, написание первоначального текста, визуализация;

Е. В. Тукмачева – проведение исследования, редактирование и доработка текста;

А. В. Терентьев – концептуализация исследования, научное руководство, получение финансирования.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 16.06.2025; одобрена после рецензирования 09.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Timokhin Artem Yurevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Agrotechnological Center of Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: timokhin@anc55.ru, ORCID 0000-0002-5120-4068

Shuliko Natalya Nikolaevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Microbiology Laboratory, Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: shuliko@anc55.ru, ORCID 0000-0001-5641-434X

Kubasova Ekaterina Vladimirovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Microbiology Laboratory of Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: kubasova.k@mail.ru, ORCID 0009-0003-3166-0028

Tukmacheva Elena Vasilevna – Ph.D. of Biological Sciences, leading researcher of Microbiology Laboratory of Omsk Agricultural Research Center (26 Korolev Avenue, Omsk, Russian Federation, 644012), e-mail: tukmacheva@anc55.ru, ORCID 0000-0002-1312-3881

Terentev Aleksey Vyacheslavovich – chief researcher of Scientific Research Coordination Department of State University of Management (99 Ryazansky Prospekt, Moscow, Russian Federation, 109542), e-mail: av_terentev@guu.ru, ORCID 0000-0003-3500-2201

Contribution of the authors:

A.Yu. Timokhin – Conceptualization of study, Scientific supervision, Formal analysis, Funding acquisition;

N.N. Shuliko – Data verification, Research implementation, Initial writing, editing, and finalizing the text;

E.V. Kubasova – Research implementation, Initial writing and visualization;

E.V. Tukmacheva – Research implementation, Editing and finalizing the text;

A.V. Terentev – Study conceptualization, Scientific supervision, Funding acquisition.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 16.06.2025; revised 09.06.2026; accepted 25.06.2026.



ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОРТА КАРТОФЕЛЯ ПЕЧОРСКИЙ

© 2026 Тулинов А. Г. ✉

Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

(г. Сыктывкар, Российская Федерация)

✉ toolalgen@mail.ru

Реферат. Растения картофеля интенсивно потребляют элементы минерального питания из почвы и положительно реагируют на внесение удобрений. Для обеспечения формирования качественного урожая с высоким содержанием питательных веществ и концентрацией нитратов, соответствующей санитарным требованиям, необходимо разработать систему внесения минеральных удобрений. Цель исследований – определение влияния доз минеральных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля. Работу выполняли в 2023–2025 годы в Республике Коми. Объект изучения – сорт Печорский. Схема полевого опыта предусматривала изучение следующих вариантов: без удобрений (контроль), половинная, одинарная ($N_{48}P_{48}K_{48}$), полуторная и двойная дозы нитроаммофоски (16:16:16). Удобрение вносили вручную вразброс до всходов растений картофеля с последующей заделкой при междурядной обработке культиватором-окучником КОН-2,8 на глубину 5...7 см. Выявлена высокая отзывчивость картофеля на минеральные удобрения, обеспечившие формирование урожайности в варианте с двойной дозой 35,7 т/га с содержанием сухого вещества 21,3%, крахмала – 12,7%, что превышало контроль соответственно на 17,1 т/га, 1,8 и 1,9%. Содержание нитратов в клубнях при увеличении доз удобрений возрастало с 51,0 мг/кг в контроле до 94,0 мг/кг в варианте с двойной дозой NPK, но не превышало ПДК (250 мг/кг). Выход товарной продукции после хранения составил в среднем 91,0...92,8%, что свидетельствует о высокой лёжкости клубней сорта Печорский при возделывании его как на фоне высоких доз минеральных удобрений, так и без них, что особенно важно для условий северных регионов Российской Федерации, в частности для Республики Коми, где хранения клубней может продолжаться 8...9 месяцев.

Ключевые слова: картофель (*Solanum tuberosum* L.), сорт, клубни, минеральные удобрения, урожайность, качество, лёжкость.

Для цитирования: Тулинов А.Г. Влияние различных доз минеральных удобрений на урожайность и качественные показатели сорта картофеля Печорский // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 54-60. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-54-60

EFFECT OF VARIOUS DOSES OF MINERAL FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY AND QUALITY INDICATORS OF PECHORSKIY POTATO VARIETY

© 2026 Tulinov A.G. ✉

Institute of Agrobiotechnology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the

Russian Academy of Sciences

(Syktывkar, Russian Federation)

✉ toolalgen@mail.ru

Abstract. Potato plants intensively consume mineral nutrients from the soil and respond positively to fertilizer application. To ensure a high-quality yield with high nutrient content and nitrate concentrations that meet sanitary requirements, it is necessary to develop a mineral fertilizer application system. The aim of this study was to determine the effect of mineral fertilizer doses on potato tuber yield and quality. The study was conducted from 2023 to 2025 in Komi Republic. The subject of the study was Pechorskiy variety. Field experiment scheme included the following treatments: no fertilizer (control), half, single ($N_{48}P_{48}K_{48}$), one and a half and double doses of nitroammophoska (16:16:16). The fertilizer was applied manually by scattering before the emergence of potato plants, followed by incorporation during inter-row cultivation with a KON-2.8 cultivator-ridger to a depth of 5...7 cm. High responsiveness of potatoes to mineral fertilizers was revealed, ensuring the formation of a yield in the variant with a double dose of 35.7 t/ha with a dry matter content of 21.3%, starch - 12.7%, which exceeded the control by 17.1 t/ha, 1.8 and 1.9%, respectively. The nitrate content in tubers with an increase in fertilizer doses increased from 51.0 mg/kg in the control to 94.0 mg/kg in the variant with a double dose of NPK, but did not exceed the maximum permissible concentration (250 mg/kg). The productivity of marketable produce after storage averaged 91.0-92.8%, demonstrating the excellent shelf life of Pechorskiy potato variety, both when grown with and without high doses of mineral fertilizers. This is especially important for the northern regions of the Russian Federation, particularly Komi Republic, where tuber storage can last 8-9 months.

Key words: potato (*Solanum tuberosum* L.), variety, tubers, mineral fertilizers, yield, quality, shelf life.

For citation: Tulinov AG. [Effect of various doses of mineral fertilizers on productivity and quality indicators of Pechorskiy potato variety]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 54-60 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-54-60

Введение. Картофель (*Solanum tuberosum* L.) характеризуется высокой чувствительностью к минеральному питанию. В течение вегетационного периода растения интенсивно поглощают необходимые элементы питания из почвы [1, 2, 3]. Азот и фосфор выполняют ключевую роль в формировании мощной листовой поверхности, что непосредственно способствует эффективному процессу фотосинтеза. Калий обеспечивает повышение устойчивости картофеля к засушливым условиям и участвует в образовании сухих веществ. Фосфор и калий оказывают значительное влияние на число формируемых клубней и их качественные характеристики. Тем не менее, чрезмерное использование высоких доз минеральных удобрений существенно увеличивает затраты на выращивание культуры и приводит к накоплению избыточного количества нитратов в клубнях [4, 5, 6]. Чтобы избежать этого, крайне важно выявление наиболее эффективных норм внесения удобрений специально для новых перспективных сортов. Для повышения прибыльности производства необходима разработка адресной агротехники для каждого нового сорта перед началом его широкого распространения [7, 8].

Вклад сорта в формирование урожая картофеля может достигать до 70%, что свидетельствует о его большой значимости при возделывании этой культуры [9, 10]. В 2025 году в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию, был включен сорт Печорский.

Цель исследований – определение влияния различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество клубней сорта картофеля Печорский для разработки технологии его возделывания.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли на опытном поле Института агротехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Республика Коми, г. Сыктывкар) в 2023–2025 годы на участках шестипольного севооборота, по соответствующим методикам [11, 12].

Изучение агротехники сорта картофеля Печорский, относящегося к среднеранней группе спелости со сроком формирования товарных клубней к 85-му дню, проводили при схеме посадки 0,7 м × 0,3 м на двурядковых делянках с количеством 25 клубней в рядке. Опыт закладывали в четырех повторностях на делянках площадью 10,5 м² каждого варианта. Предшественником выступали однолетние травы (смесь вики и овса). Возделывание картофеля соответствует Северо-Западному зональному типу технологии без применения химических обработок против насекомых и болезней [13]. Закладку опытных делянок

осуществляли в начале июня, уборку – спустя 85 дней. Учет урожайности проводили на 65-й и на 85-й дни от посадки. В качестве удобрений применяли сложное комплексное азотно-фосфорно-калийное минеральное удобрение нитроаммофоска производства АО Минудобрения (Россия), в котором соотношение N:P:K составляло 16:16:16% д.в. Удобрение вносили вручную до всходов растений картофеля с последующей заделкой междурядной обработкой культиватором-окучником КОН-2,8 на глубину 5...7 см.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: контроль (без внесения удобрений); 0,5 NPK – N₂₄P₂₄K₂₄; 1,0 NPK – N₄₈P₄₈K₄₈; 1,5 NPK – N₇₂P₇₂K₇₂; 2,0 NPK – N₉₆P₉₆K₉₆.

Отбор почвенных образцов и определение их агрохимических свойств выполняли в соответствии с методикой [14]. Почва опытного участка – дерново-подзолистая, среднесуглинистая, со следующими агрохимическими показателями в слое формирования клубней: содержание органического вещества – 5,0...6,8%; рН_{сол.} – 5,2...5,8 ед.; Нг – 2,6...2,9 ммоль/100 г; содержание подвижного фосфора (P₂O₅) и калия (K₂O) по Кирсанову в модификации ЦИНАО – соответственно 427,0...556,9 и 99,8...266,0 мг/кг; обменного кальция – 5,4...11,9 ммоль/100 г; обменного магния – 1,4...3,5 ммоль/100 г почвы.

Устойчивость к фитопатогенам картофеля (фитофтороз, альтернариоз, ризоктониоз) определяли согласно девятибалльной шкале: 1 – очень низкая, 3 – низкая, 5 – средняя, 7 – высокая, 9 – очень высокая [11, 15].

В период с сентября по май 2023–2024 и 2024–2025 годы сорт Печорский закладывали на зимнее хранение с целью изучения лёжкоспособности клубней при возделывании картофеля при различных дозах минеральных удобрений [16, 17].

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом дисперсионного анализа с применением специальной надстройки AgCSTAT, адаптированной под программу из пакета Microsoft Office Excel (США) [18].

Вегетационные периоды за 2023–2025 года по данным метеорологической станции «Сыктывкар», характеризовались контрастно. Лето 2023 года было с преобладанием холодной погоды в первой его половине и очень теплым во второй. Преимущественно холодная погода июня замедлила рост и развитие картофеля. Температура воздуха в большинстве дней месяца была ниже нормы. Значительный недобор осадков был во второй

декаде месяца (4% от декадной нормы). Условия увлажнения в июне были засушливые. Погода в июле характеризовалась сменой прохладных и теплых периодов. Средняя

температура воздуха (18,4°C) была в пределах нормы. В августе до середины месяца стояла жаркая и сухая погода, а затем сменилась на холодную и дождливую (табл. 1).

Таблица 1 – Агрометеорологические условия в годы проведения исследований
Table 1 – Agrometeorological conditions during the years of the research

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	ГТК _{июнь-август}
2023 г.			
Июнь	12,8	40	1,4
Июль	18,4	126	
Август	16,2	24	
2024 г.			
Июнь	17,1	62	1,1
Июль	18,7	85	
Август	14,9	52	
2025 г.			
Июнь	15,0	196	2,3
Июль	16,3	84	
Август	15,9	84	
Средние многолетние данные			
Июнь	14,6	71	1,5
Июль	17,6	71	
Август	14,0	80	

Лето 2024 года было жарким и продолжительным. В июне преобладала теплая погода. Большинство дней месяца были теплыми, что позволило сократить отставание в развитии растений, которое отмечали в первых числах месяца. Фактическая температура июня была выше нормы на 2,5°C. В июле преобладала теплая погода, на фоне которой были отдельные холодные периоды во второй и третьей декадах. Средняя температура воздуха была в пределах нормы. В августе наблюдали неустойчивую погоду, во второй половине месяца теплые периоды чередовались с прохладными. Агрометеорологические условия в первой и третьей декадах августа были благоприятными для роста и развития картофеля и формирования урожая. Фактическая температура месяца была в пределах нормы (14,9°C).

В июне 2025 году отмечена неустойчивая, с осадками погода. Среднемесячная температура воздуха была в пределах нормы и составила 15,0°C. Наиболее теплой была вторая пятидневка июня. Осадки выпадали в виде ливневых дождей различной интенсивности. В первой и третьей декадах месяца осадки значительно превышали норму и составили 355 и 428% от нее. В июле преобладала холодная погода с неравномерным распределением осадков. Гидрометеорологические условия в большинстве дней июля были неблагоприятными. Преобладание холодной погоды сдерживало рост и развитие растений. В августе преобладала теплая погода. Среднемесячная температура воздуха была выше нормы и составила 15,9°C. Осадки выпадали в виде ливневых дождей различной интенсивности. За месяц сумма выпавших осадков (84 мм) была в пределах нормы. ГТК составил 2,3, превысив средние многолетние данные на 0,8.

Результаты и обсуждение. Срок

появления полных всходов картофеля варьировал от 20 дней (при применении удобрений) до 27 дней (контроль). В дальнейшем в фазе бутонизации отмечено наилучшее в опыте развитие растений в вариантах при внесении удобрений. Продолжительность периода от появления полных всходов до начала бутонизации составляла 18 дней в вариантах с полной, полуторной и двойной дозами NPK и 21 день при снижении нормы до половины или без удобрений. Использование минеральных удобрений способствовало сокращению прохождения фазы между появлением полных всходов и началом цветения с 38 дней в контроле до 34 дней в остальных вариантах.

Анализ биометрических показателей выявил влияние различных доз минеральных удобрений на формирование надземной массы картофеля (табл. 2). В период бутонизации растения опытных вариантов отличались большей высотой – превышение контроля составило от 24 до 32%, достигнув абсолютной величины показателя в среднем 42,0...45,0 см против 34,0 см в варианте без внесения удобрений (НСР – 4,9 см). К периоду цветения высота растений изучаемых вариантов превысила контроль на 6,0...28,0 см или на 14,0...67,0%. Наибольшая в опыте высота растений отмечена в варианте с удвоенной дозой удобрений – 70,0 см, что на 28,0 см превышало контроль и на 15,0 см вариант с одинарной дозой удобрения (1,0 NPK). Темпы прироста зеленой массы (ботвы) также оказались существенно выше в вариантах с удобрениями. За период между началом образования бутонов и цветением увеличение высоты основных стеблей изменялось от 6,0 до 26,0 см (от 0,5 до 1,6 см в сутки), тогда как в контрольном варианте прирост составлял всего лишь 8,0 см (0,5 см в сутки).

Таблица 2 – Биометрические показатели растений картофеля в течение вегетации в зависимости от доз удобрений

Table 2 – Biometric indicators of potato plants during the growing season depending on fertilizer doses

Вариант	Количество основных стеблей, шт.	Высота растений, см			
		в фазе бутонизации	в % к контролю	в фазе цветения	в % к контролю
Контроль	3,5	34,0	100,0	42,0	100,0
0,5 NPK	4,5	42,0	123,5	48,0	114,3
1,0 NPK	5,5	45,0	132,4	55,0	131,0
1,5 NPK	5,5	43,0	126,5	58,0	138,1
2,0 NPK	7,5	44,0	129,4	70,0	166,7
НСП ₀₅	0,5	3,7		4,9	

Количество основных стеблей в расчете на одно растение в контроле составляло 3,5 шт., в опытных вариантах – от 4,5 до 7,5 шт.

Сложившиеся в годы исследований (2023–2025 годы) погодные условия, а именно повышенная влажность и высокие температуры, особенно в период интенсивного нарастания вегетативной массы растений, привели к развитию грибкового заболевания – альтернариоза. В период вегетации в среднем за три года исследований в варианте без применения удобрений отмечали поражение ботвы альтернариозом до 1 балла (по девятибалльной шкале), в вариантах с половинной, полной и полуторной дозами удобрения – до 6...7 баллов, на растениях в варианте с двойной дозой отмечены единичные пятна поражения ботвы картофеля (8 баллов). Фитофтороз, ризиктониоз и черная ножка на растениях в опыте не выявлены.

Ранние копки, проведенные на 65-й день от посадки, показали положительное влияние внесения удобрений на скороспелость (табл. 3). Наиболее интенсивно клубнеобразование и нарастание массы клубней происходило в варианте с полуторной дозой минеральных удобрений. Применение двойной дозы, по

сравнению с контролем, повысило раннюю урожайность на 132,3% (+ 12,1 т/га), а по сравнению с одинарной дозой – на 36,8% (+ 5,7 т/га) (НСП₀₅ – 3,4 т/га).

По фракционному составу клубней следует отметить вариант с двойной дозой минеральных удобрений. Сорт Печорский хорошо отзывался на их повышенное внесение, сформировав уже на 65-й день от посадки в среднем 2,3 шт. клубней крупной фракции (> 80 г), тогда как в вариантах с меньшей дозой удобрений величина этого показателя составляла 0,3 шт. и соответствовала контролю.

В то же время во всех изучаемых вариантах клубни средней фракции (30...80 г) по количеству в кусте превосходили вариант без удобрений на 1,2...2,2 шт. Внесение различных доз минеральных удобрений позволило увеличить общее количество клубней в кусте, по сравнению с контролем, на 4,7...8,0 шт. Вследствие высокой ранней урожайности и количества клубней в кусте в варианте с применением двойной дозы удобрений средняя масса клубня составила 29,7 г, в контроле – 19,5 г, в остальных рассматриваемых вариантах – 18,5...21,3 г или на уровне контроля.

Таблица 3 – Урожайность клубней картофеля в зависимости от доз удобрений на 65-й (числитель) и 85-й (знаменатель) дни от посадки

Table 3 – Potato tuber yield depending on fertilizer doses on the 65th (numerator) and 85th (denominator) days after planting

Вариант	Количество клубней в кусте, шт.	Фракционный состав, мелкая (< 30 г)/средняя (30...80 г)/крупная (> 80 г)	Средняя масса клубней, г	Урожай с 1 куста, г	Урожайность, т/га
Контроль	<u>9,8</u> 10,3	<u>7,3/2,3/0,3</u> 6,3/4,0/0	<u>19,5</u> 37,9	<u>191,1</u> 390,4	<u>9,1</u> 18,6
0,5 NPK	<u>14,5</u> 15,3	<u>11,0/3,5/0</u> 9,5/3,8/2,0	<u>18,7</u> 35,1	<u>271,2</u> 537,0	<u>12,9</u> 25,6
1,0 NPK	<u>15,3</u> 16,0	<u>9,5/5,5/0,3</u> 7,5/5,3/3,3	<u>21,3</u> 35,0	<u>325,9</u> 560,0	<u>15,5</u> 26,7
1,5 NPK	<u>17,8</u> 18,3	<u>13,5/4,3/0</u> 10,0/7,0/1,3	<u>18,5</u> 38,4	<u>329,3</u> 702,7	<u>15,7</u> 33,5
2,0 NPK	<u>15,0</u> 16,5	<u>8,3/4,5/2,3</u> 9,5/6,5/0,5	<u>29,7</u> 45,4	<u>445,5</u> 749,1	<u>21,2</u> 35,7
НСП ₀₅	<u>1,3</u> 1,4				<u>3,4</u> 5,2

При проведении ранних копок дополнительно учитывали надземную массу растений картофеля, которая изменялась от 7,3 т/га (контроль) до 17,7 т/га (2,0 NPK). Наибольшая

величина этого показателя была выше, чем в варианте без внесения удобрений, на 143%, с одинарной дозой – на 23%. Отношение массы клубней к массе ботвы составляло от

0,9 до 1,2 ед.

Учет урожая на 85-й день от посадки показал, что достоверная прибавка урожайности, в сравнении с вариантом с одинарной дозой NPK отмечена в вариантах с применением минеральных удобрений в полуторной и двойной дозах – 33,5...35,7 т/га (+ 25,5...33,7%) (НСР₀₅ – 5,2 т/га).

Средний урожай клубней с одного куста этих вариантов составил 702,7...749,1 г, тогда как в контроле – 390,4 г. Наибольший прирост урожая в опыте в период с 65-го по 85-й день отмечен при дозе 1,5 NPK – 0,89 т/га в сутки, превысив вариант без внесения удобрений на 0,41 т/га в сутки.

Различия в формировании средних и крупных клубней в кусте по вариантам отмечены и к 85-му дню от посадки. В контрольном варианте не выявлено клубней крупной фракции, превышающей 80 г, тогда как в других вариантах их количество изменялось от 0,5 до 3,3 шт. Внесение повышенных доз минеральных удобрений обеспечило получение клубней среднего товарного качества в количестве 6,5...7,0 шт., превышающем вариант с одинарной дозой NPK и контроль на 1,2...1,7 и 2,5...3,0 шт. соответственно. Следует отметить, что при внесении 1,5 и 2,0 доз NPK происходит смещение количества клубней от крупной к средней фракции – с 1,3 до 7,0 и с 0,5 до 6,5 шт. соответственно, тогда как в

вариантах с дозами 0,5 и 1,0 NPK – в кусте формируется по 2,0...3,3 клубня массой свыше 80 г.

В условиях Республики Коми сорт Печорский при внесении удобрений формирует большое количество клубней с последующим их наращиванием по массе, формируя продовольственные клубни высокого класса с оптимальным размером поперечного диаметра (> 28 и < 80 мм), соответствующего ГОСТ 33996-2016 и ГОСТ 7176-2017. Средняя масса клубней изменялась от 35,0 г в варианте 1,0 NPK до 45,4 г в варианте 2,0 NPK, превысив контроль на 20%, а технологию с 1,0 NPK – на 30%. Тенденция к увеличению количества клубней в кусте вследствие применения удобрений, отмеченная на 65-й день от посадки, выявлена и на 85-й день. Все рассматриваемые дозы удобрений обеспечили формирование 15,3...18,3 клубней, тогда как в контроле их количество в среднем составило 10,3 шт.

Следует отметить, что при первом сроке учета урожая достоверный его рост отмечен от увеличения доз удобрений до 2,0 NPK, тогда как при втором сроке – только до 1,5 NPK.

Содержание сухого вещества в клубнях перед закладкой на хранение составляло от 19,5% (контроль) до 21,3% (2,0 NPK), в варианте с 1,0 NPK – 20,4% (табл. 4).

Таблица 4 – Химический состав клубней картофеля перед закладкой на хранение и их гектарный сбор в зависимости от доз удобрений

Table 4 – Chemical composition of potato tubers before storage and their per-hectare yield depending on fertilizer doses

Вариант	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Нитраты, мг/кг	Витамин С, мг%	Сбор		
					сухого вещества, т/га	крахмала, т/га	витамина С, кг/га
Контроль	19,5	10,8	51,0	22,4	3,6	2,0	3,0
0,5 NPK	19,9	10,9	61,0	21,9	5,1	2,8	4,1
1,0 NPK	20,4	11,4	61,0	19,5	5,4	3,0	5,2
1,5 NPK	20,1	13,0	64,0	16,1	6,7	4,4	7,3
2,0 NPK	21,3	12,7	94,0	16,1	7,6	4,5	8,0
НСР ₀₅	1,8	1,1	5,9	1,7			

Увеличение продуктивности надземной массы растений картофеля позволило получить и высокое значение крахмалистости клубней, которая варьировала от 10,8% в контроле до 13,0% при внесении полуторной дозы минеральных удобрений, и имела тенденцию к снижению при избыточном минеральном питании в двойной дозе (НСР₀₅ – 1,1%).

Содержание витамина С в клубнях картофеля сорта Печорский с повышением доз полного минерального удобрения снижалось. Так, в вариантах с 1,5 NPK и 2,0 NPK, по сравнению с контролем, разница содержания в клубнях картофеля витамина С составляла 6,3 мг% (НСР₀₅ – 1,7 мг%).

Содержание нитратов в клубнях при увеличении доз вносимых минеральных удобрений возрастало с 51,0 мг/кг в контроле

до 94,0 мг/кг в варианте с двойной дозой NPK, но не превышало предельно допустимой концентрации (ПДК), равной 250 мг/кг сырых клубней.

Вследствие высоких урожайности и качественных показателей картофельных клубней максимальный в опыте сбор крахмала, сухого вещества и витамина С с 1 га отмечен в варианте с двойной дозой NPK – 4,5 т/га крахмала, 7,6 т/га сухого вещества и 8,0 кг/га витамина С, что превышало значения контрольного варианта в 2,0...2,5 раза и технологию с внесением одинарной дозы удобрений (1,0 NPK) в 1,5...2 раза.

По результатам учетов изменения количества картофеля при хранении потеря массы (естественная убыль) составляла в среднем для вариантов 7,2...9,0% (табл. 5).

Таблица 5 – Лёжка клубней картофеля в хранилище в период зимнего хранения в зависимости от доз удобрений

Table 5 – Keeping quality of potato tubers in storage during the winter storage period depending on fertilizer doses

Вариант	Условная урожайность до закладки на хранение, т/га	Потери при хранении, %	Условная урожайность с учетом потерь на хранение, т/га	Выход товарной продукции после хранения, %
Контроль	18,6	7,2	17,3	92,8
0,5 NPK	25,6	7,5	23,7	92,5
1,0 NPK	26,7	8,1	24,5	91,9
1,5 NPK	33,5	8,5	30,7	91,5
2,0 NPK	35,7	9,0	32,5	91,0

В период зимнего хранения на клубнях не отмечено перезаражения от ботвы к клубням грибными заболеваниями, и в целом сохранность клубней в опыте была очень высокой в вариантах применения различных доз минеральных удобрений.

Выход товарной продукции после хранения составил в среднем 91,0...92,8%, что свидетельствует о высокой лёжке клубней сорта Печорский при возделывании его как по фону минеральных удобрений в различных дозах, так и без них, что особенно важно для условий северных регионов Российской Федерации и особенно для Республики Коми, в котором процесс хранения картофеля длится в течение 8...9 месяцев (сентябрь – май) [11].

Выводы. Картофель сорта Печорский хорошо отзывается на внесение возрастающих доз минеральных удобрений, что

обеспечивает формирование урожайности в варианте с применением двойной дозы до 35,7 т/га клубней с высокими качественными характеристиками – содержание сухого вещества до 21,3%, крахмала до 12,7%, что выше, чем в варианте без удобрений, соответственно на 17,1 т/га, 1,8% и 1,9% соответственно.

Учитывая высокую лёжку клубней сорта Печорский (91,0%), его можно рекомендовать для возделывания сельхозтоваропроизводителям не только в Республике Коми, но и в других северных регионах Российской Федерации.

Сведения о финансировании. Работа выполнена по государственному заданию № FUUU-2026-0010 (регистрационный № 1023032700219-2-4.1.6) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

Литература

- Куналиева М. К., Калиева Т. К., Сарсеналиев Р. С. Влияние различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество раннего картофеля в условиях Западно-Казахстанской области // Пермский аграрный вестник. 2022. № 1 (37). С. 50–57. doi: 10.47737/2307-2873_2022_37_50.
- Чехалкова Л. К., Конова А. М., Гаврилова А. Ю. Влияние доз минеральных удобрений, сроков и схем посадки на выход семенного и продовольственного картофеля новых сортов Забава и Смоляночка // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3 (51). С. 68–75. doi: 10.18286/1816-4501-2020-3-68-75.
- Действие органических и минеральных удобрений и их сочетание при внесении под картофель на черноземах Закамья Республики Татарстан / Ф.Ш. Шайхутдинов, И.М. Сержанов, Р.И. Гараев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. №2(74). С.39–43. doi:10.12737/2073-0462-2024-39-43.
- The importance of nutrient management for potato production part II: plant nutrition and tuber quality / M. Naumann, M. Koch, H. Thiel, et al. // Potato Research. 2020. No. 63. P.121–137. doi:10.1007/s11540-019-09430-3.
- Демиденко Г. А. Качественная характеристика клубней картофеля в зависимости от применения минеральных удобрений // Вестник КрасГАУ. 2021. №10(175). С.209–215. doi:10.36718/1819-4036-2021-10-209-215.
- Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля / Л. И. Петрова, Ю. И. Митрофанов, М. В. Гуляев и др. // Аграрный вестник Урала. 2021. № 4 (207). С. 34–42. doi: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
- Elrys A. S., Abdo A. I. E., Desoky E-S. M. Potato tubers contamination with nitrate under the influence of fertilizers and spray with molybdenum and salicylic acid // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. No. 7. P. 7076–7089. doi: 10.1007/s11356-017-1075-y.
- Effect of transplanting dates and spacing on yield attributing character, productivity and economics of potato cultivation through true potato seed (TPS) technology / D. Sen, A. Rakshit, N. C. Sarkar, et al. // Italian Journal of Agronomy. 2010. Vol. 5. No. 1. P. 35–42. doi: 10.4081/ija.2010.35.
- Сорт как фактор повышения урожайности и качества картофеля в условиях степной зоны юго-востока Западной Сибири / Е. П. Кондратенко, О. Б. Константинова, Т. А. Мирошина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 12 (34). С. 56–60. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11209.
- Selection of Canadian potato clones for agronomic and frying quality traits / G. O. Silva, A. S. Pereira, F. Q. Azevedo, et al. // Horticultura Brasileira. 2019. Vol. 37. P. 423–428. doi: 10.1590/S0102-053620190410.
- Симаков Е. А., Склярова Н. П., Яшина И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. М.: ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК», 2006. 70 с.
- Коршунов А. В. Многофакторные опыты по картофелю (планирование, проведение, анализ). М.: ВНИИКСХ, 2002. 100 с.
- Шморгунов Г. Т., Тулинов А. Г., Булатова Н. В. Система земледелия Республики Коми: монография. Сыктывкар: ГОУ ВО КРАГСиУ, 2017. 225 с.
- Минеев В. Г. Практикум по агрохимии: учебное пособие. М.: МГУ, 2001. 689 с.
- Международный классификатор СЭВ видов картофеля секции Tuberarium (Dun.) Buk. Рода Solanum L. / Н. Задина, И. Виднер, М. Майор и др. Л.: ВИР, 1984. 43 с.

16. Пшеченков К.А., Зейрук В.Н., Сидякина И.И. Методические указания по технологии хранения картофеля различного назначения. М.: ВНИИКСХ, 2002. 20 с.
17. Широков Е. П., Полегаев В. И. Хранение и переработка плодов и овощей. М.: Колос, 1982. 320 с.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Kuanalieva MK, Kalieva TK, Sarsengaliyev RS. [Effect of different doses of mineral fertilizers on productivity and quality of early potatoes in the west Kazakhstan region]. *Permiskiy agrarnyy vestnik*. 2022; 1 (37). 50-57 p. doi: 10.47737/2307-2873_2022_37_50.
2. Chekhalkova LK, Konova AM, Gavrilova AYU. [Effect of mineral fertilizer doses, timing and planting patterns on the yield of seed and ware potatoes of new varieties Zabava and Smolyanochka]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2020; 3 (51). 68-75 p. doi: 10.18286/1816-4501-2020-3-68-75.
3. Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM, Garaev RI. [Effect of organic and mineral fertilizers and their combination when applied to potatoes on chernozems of Kama region of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; 2 (74). 39-43 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-39-43.
4. Naumann M, Koch M, Thiel H. The importance of nutrient management for potato production part II: plant nutrition and tuber quality. *Potato Research*. 2020; No.63. 121-137 p. doi: 10.1007/s11540-019-09430-3.
5. Demidenko GA. [Qualitative characteristics of potato tubers depending on the use of mineral fertilizers]. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 10 (175). 209-215 p. doi: 10.36718/1819-4036-2021-10-209-215.
6. Petrova LI, Mitrofanov Yul, Gulyaev MV. [Influence of various factors on the formation of yield and quality of potato products]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2021; 4 (207). 34-42 p. doi: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
7. Elrys AS, Abdo AIE, Desoky E-SM. Potato tubers contamination with nitrate under the influence of nitrogen fertilizers and spray with molybdenum and salicylic acid. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; Vol.25. No.7. 7076-7089 p. doi: 10.1007/s11356-017-1075-y.
8. Sen D, Rakshit A, Sarkar NC. Effect of transplanting dates and spacing on yield attributing character, productivity and economics of potato cultivation through true potato seed (TPS) technology. *Italian Journal of Agronomy*. 2010; Vol.5. No.1. 35-42 p. doi: 10.4081/ija.2010.35.
9. Kondratenko EP, Konstantinova OB, Miroshina TA. [Variety as a factor in increasing potato yield and quality in the steppe zone of south-east of Western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020; 12 (34). 56-60 p. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11209.
10. Silva GO, Pereira AS, Azevedo FQ. Selection of Canadian potato clones for agronomic and frying quality traits. *Horticultura Brasileira*. 2019; Vol.37. 423-428 p. doi: 10.1590/S0102-053620190410.
11. Simakov EA, Sklyarova NP, Yashina IM. Metodicheskie ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsesssa kartofelya. [Methodological guidelines for potato breeding technology]. Moscow: OOO Redaktsiya zhurnala Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2006; 70 p.
12. Korshunov AV. Mnogofaktornye opyty po kartofelyu (planirovanie, provedenie, analiz). [Multifactorial experiments on potatoes (planning, implementation, analysis)]. Moscow: VNIKKh. 2002; 100 p.
13. Shmorgunov GT, Tulinov AG, Bulatova NV. Sistema zemledeliya Respubliki Komi: monografiya. [Farming system of the Komi Republic: monograph]. Syktyvkar: GOU VO KRAGSiU. 2017; 225 p.
14. Mineev VG. Praktikum po agrokhimii: uchebnoe posobie. [Agrochemistry workshop: textbook]. Moscow: MGU. 2001; 689 p.
15. Zadina N, Vidner I, Mayor M. Mezhdunarodnyy klassifikator SEV vidov kartofelya sektsii Tuberarium (Dun.) Buk. Roda Solanum L. [CMEA International classification of potato species, section Tuberarium (Dun.) Buk. Genus Solanum L.]. Leningrad: VIR. 1984; 43 p.
16. Pshechenkov KA, Zeyruk VN, Sidiyagina II. Metodicheskie ukazaniya po tekhnologii khraneniya kartofelya razlichnogo naznacheniya. [Methodical guidelines for potato storage technology for various purposes]. VNIKKh. 2002; 20 p.
17. Shirokov EP, Polegaev VI. Khraneniye i pererabotka plodov i ovoshchey. [Storage and processing of fruits and vegetables]. Moscow: Kolos. 1982; 320 p.
18. Dospikhov BA. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). [Methodology of field experiments (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat. 1985; 351 p.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторе:

Тулинов Алексей Геннадьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник Института агробιοтехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (167023, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27), e-mail: toolalgen@mail.ru, ORCID 0000-0002-7184-6113

Автор ознакомился и одобрил окончательный вариант рукописи.

Поступила 04.02.2026; одобрена после рецензирования 11.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Author:

Tulinov Aleksey Gennadevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, researcher Institute of Agrobiotechnology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (27 Syktyvkar, Rucheynaya St., Republic of Komi, 167023, Russian Federation), e-mail: toolalgen@mail.ru, ORCID 0000-0002-7184-6113

The author have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 04.02.2026; revised 11.06.2026; accepted 25.06.2026.



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ
ЗАРАЖЕННОГО ФУЗАРИОЗОМ ЗЕРНА

© 2026 Беляков М. В. ✉, Герасименко С. А., Борзенко С. И., Ефременков И. Ю.

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(г. Москва, Российская Федерация)
✉ bmw20100@mail.ru*

Реферат. Снижение потерь посевного материала из-за патогенов может быть реализовано на этапе послеуборочной очистки с применением оптических методов оценки зараженности зерна. Цель исследования – разработка автоматизированной фотолюминесцентной системы сепарации зернового материала и оценка основных показателей качества ее работы. Объектом исследования является процесс распознавания и сепарации здоровых и зараженных семян по их оптическим люминесцентным свойствам. Научная новизна заключается в переходе от количественных способов сепарирования к качественным методам точечного воздействия, где разделение зернового материала не стремится к усреднению результата, а способно, пусть и с определенной долей погрешности, отделять зерна с заданными показателями. Исследования проводили в 2022–2025 годах в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. В качестве зернового материала взяты семена пшеницы, ячменя и овса. Сепарирующий аппарат основан на определении зараженности зерна оптическим люминесцентным методом в потоке зерновой массы по соотношению потоков фотолюминесценции при возбуждении излучением 362 нм и 424 нм. Согласно критерию энергоэффективности, которым является максимум эффективной отдачи выбраны источники излучения. Блок сепарации зерна включает светонепроницаемую камеру с двумя светодиодами (эффективная отдача излучения 0,95–0,98%) и одним широкоспектральным фотодиодом. Разработанная система включает: бункер с позиционирующим устройством на транспортной ленте, блок оптико-электронной диагностики, исполнительное устройство в виде соленоидов. Алгоритм работы установки сепарации включает: инициализацию и проверку основных систем; получение сигнала люминесценции; анализ полученного отношения сигналов и запуск исполнительных устройств. В качестве исходного материала для сепарации использована выборка зерна размером 1000 здоровых и 1000 зерен пораженных патогенной микрофлорой. Точность распознавания семян с использованием фотолюминесцентной сепарации достигает 72%. При этом доля верно классифицированных семян превышает 75%, а относительная погрешность измерения ключевого параметра (Φ_{362}/Φ_{424}) составляет менее 10% для обеих групп.

Ключевые слова: сепарация, фотолюминесценция, зерно, зараженность, фузариоз.

Для цитирования: Разработка системы фотолюминесцентной сепарации зараженного фузариозом зерна / М.В. Беляков, С.А. Герасименко, С.И. Борзенко, И.Ю. Ефременков // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 61–70. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-61-70

DEVELOPMENT OF PHOTOLUMINESCENT SEPARATION SYSTEM FOR
FUSARIUM-INFECTED GRAIN

© 2026 Belyakov M.V. ✉, Gerasimenko S.A., Borzenko S.I., Efremenkova I.Yu.

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM
(Moscow, Russian Federation)
✉ bmw20100@mail.ru*

Abstract. Seed losses due to pathogens can be reduced at the post-harvest cleaning stage using optical methods for assessing grain infestation. The aim of this study is to develop an automated photoluminescence system for separating grain and to evaluate its key performance indicators. The object of the study is the process of recognizing and separating healthy and infected seeds based on their optical luminescence properties. The scientific novelty lies in the transition from quantitative separation methods to qualitative, targeted methods, where grain separation does not aim for averaging results but is capable, albeit with a certain degree of error, to separate grains with specified parameters. The research was conducted from 2022 to 2025 at Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center for VIM. Wheat, barley and oat seeds were used as grain material. Separation apparatus is based on the determination of grain contamination using an optical luminescence method in the grain flow based on the ratio of photoluminescence fluxes upon excitation by radiation at 362 nm and 424 nm. The radiation sources were selected according to the energy efficiency criterion, which is maximum effective output. The grain separation unit includes a light-tight chamber with two LEDs (effective radiation output of 0.95–0.98%) and one wide-spectrum photodiode. The developed system includes a hopper with a positioning device on a conveyor belt, an optoelectronic diagnostics unit and an actuator in the form of

solenoids. The separation unit's operating algorithm includes: initialization and testing of the main systems; receiving a luminescence signal; analysis of the received signal ratio; and activation of the actuators. A sample of 1 000 healthy and 1 000 pathogen-infected grains was used as the starting material for separation. Seed recognition accuracy using photoluminescence separation reaches 72%. The proportion of correctly classified seeds exceeds 75% and the relative measurement error of the key parameter (Φ_{362}/Φ_{424}) is less than 10% for both groups.

Key words: separation, photoluminescence, grain, infestation, fusarium.

For citation: Belyakov MV, Gerasimenko SA, Borzenko SI, Efremkov IYu. [Development of photoluminescent separation system for fusarium-infected grain]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 61-70 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-61-70

Введение. Повышение урожайности зерновых культур сегодня происходит в большей мере за счет внедрения передового научно-технического оборудования, методов и технологий, а не за счет увеличения обрабатываемых площадей. Всего 2% всей производимой пшеницы в России соответствуют 1 и 2 классу [1]. В связи с этим повышения качества семенного материала, а также сокращение потерь на всех этапах производства, является важной задачей продовольственной безопасности. На этапе хранения семенного материала потери могут достигать 20 – 40% из-за патогенов [2, 3]. Эта задача может быть решена на этапе послеуборочной очистки зерна и семян с применением неинвазивных методов оценки зараженности зерна и дальнейшем удалением зараженных зерен из общей зерновой массы [4, 5].

Неинвазивно определять и отделять зерновой материал способом фотосепаратор, однако существует ряд ограничений с использованием данного сепарирующего прибора. К его основным недостаткам можно отнести стоимость [6], она в сравнении с прочим зерноочистительным оборудованием велика, если сравнивать с воздушной или воздушно-решетной машиной производительностью 3-5 т/ч, то цена фотосепаратора при той же производительности, выше 2-7 раз. К недостаткам фотосепаратора можно также отнести то, что основным его рабочим органом является сверхскоростная камера, которая и занимает большую часть стоимости, при этом определить зараженность она способна лишь по внешним признакам, когда симптомы заболевания уже визуальным образом проявились. Распознать на более ранних стадиях без явных признаков заражения он не способен [7]. В связи с этим разработка метода, который способен определять заражение зернового материала патогенной микрофлорой на ранних стадиях без явно выраженных симптомов заражения, является актуальным вопросом.

Предложенные ранее оптические лазерные волоконные сортировщики [8] помимо нескольких лазеров требуют наличия устройства развертки лазерного пучка, сложные системы построения и анализа изображения, содержащие оптоволокно. Общими недостатками подобного рода устройств являются высокая сложность и трудность технической эксплуатации, обусловленные необходимостью юстировки оптических элементов схемы, требованиями по обеспечению высоких частот сканирования. Также, датчики, основанные на

анализе цвета зерна, затруднительно использовать в полевых условиях. Указанные недостатки требуют разработки диагностирующей системы сепарирующего аппарата для обеспечения надежного экспрессного анализа зараженного зерна.

Для решения задачи сортировки зерна наиболее адекватным при построении анализирующего алгоритма представляется использование методов нечеткой логики, так как селекция длин волн и определение величины отношения потоков фотолуминесценции в реальных условиях всегда осуществляется с определенной погрешностью [9].

Цель исследования – разработка автоматизированной фотолуминесцентной системы сепарации зернового материала и оценка основных показателей качества ее работы.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в 2022-2025 годах в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. В качестве зернового материала для разработки системы сепарации взяты семена яровой пшеницы «Иришка № 172», ячменя «Московский 86» и овса «Залп». Степень поражения семян р. *Fusarium* определяли в Федеральном центре оценки безопасности и качества зерна и продуктов их переработки Федеральной службой по ветеринарному и фитосанитарному надзору по ГОСТ 31646-2012 (РФ) «Зерновые культуры. Метод определения содержания фузариозных зерен». Были сепарированы здоровые и зараженные зерна и исследованы их фотолуминесцентные свойства [10]. Экспериментальные измерения проводили при комнатной температуре 20-22°C и влажности 40-50% в светоизолированной камере из ABS пластика, обеспечивающей минимальную остаточную освещенность менее 0,01 лк.

При разработке системы сепарации зараженных фузариозом зерен были использованы методы проектирования, включающие принцип системности, принцип развития, учитывающий возможность модернизации и совершенствования, принцип совместимости для обеспечения взаимодействия прибора с системами зерноочистки в процессе функционирования, принцип энергетической эффективности для достижения рационального использования энергии оптического излучения для возбуждения и регистрации люминесцентного излучения.

Для источников излучения энергоэффективность определяется по эффективной отдаче излучения.

$$k_{\text{э.в.}} = \frac{\Phi_{\text{эф}}}{\Phi_{\text{полн}}} = \frac{\sum_0^{\infty} \varphi(\lambda)_{\text{сд}} \cdot S(\lambda) \Delta \lambda}{\sum_0^{\infty} \varphi(\lambda)_{\text{сд}} \Delta \lambda} \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{эф}}$ – эффективный поток, $\Phi_{\text{полн}}$ – полный поток возбуждающего излучения, $S(\lambda)$ – спектральная чувствительность зерна, $\varphi(\lambda)_{\text{сд}}$ – спектр излучения светодиода.

Методы проектирования определяются необходимостью создания такой системы, которая способна функционировать при постоянном совершенствовании технологического процесса фотосепарации. Модульный принцип разработки устройства позволяет при необходимости создавать его модификации для решения иных задач по сортировке, например, для других видов зерна или для сепарации от загрязнений.

Для практической реализации метода определения заражения отдельного зерна необходима реализация следующих действий:

1. Одиночный образец позиционируется в светозащитной емкости.
2. Происходит возбуждение фотолюминесценции в течение 20 мкс двумя источниками излучения с максимумами примерно 362 нм и 424 нм.
3. Фотоприемником регистрируется люминесценция через 0,75-1 мкс после выключения каждого источника излучения.
4. Полученные фотосигналы усиливается на усилителе, оцифровываются и обрабатываются микроконтроллером.

Таблица 1 – Светодиоды и их основные параметры
Table 1 – LEDs and their main parameters

Название светодиода	Длина волны излучения λ , нм	Прямой ток I , мА	Прямое напряжение U , В	Угол излучения φ , °	Поток излучения Φ_e , Вт
VLMU3510-365-130	362	700	4,0	160	0,95
NICHIA NCSU276A	365	700	4,0	160	0,90
NICHIA NVSU233B	365	1400	3,85	160	1,4
NICHIA NCSU033C	365	700	4,0	160	0,75
CREELED424	424	700	4,0	150	0,80
LHUV-0420-0550	420	1000	3,5	150	1,0
LZ4-00UA00-00U6	400	1000	3,9	120	5,45

Численным критерием выбора светодиода является его эффективная отдача (см. формулу (1)) при возбуждении для $\Delta\lambda = 2$ нм, так как спектр излучения светодиода является более узким, чем спектр чувствительности приемника (зерна пшеницы). Рассмотрим несколько светодиодов для возбуждения семян пшеницы на $\lambda_b = 362$ нм, 424 нм.

VLMU3510-365-130 и CREELED424 – являются усовершенствованными светодиодами серии XR, которые в отличие от серии XR обладают сравнительно компактными размерами, а именно 0,35х0,35х0,20 см и лучшими световыми характеристиками, а именно

5. По результатам обработки зерно идентифицируется как зараженное, незараженное, либо сомнительное по потокам фотолюминесценции и калибровочным соотношениям.

6. Идентификационная информация об образце зерна подается на выход и с учетом полученных данных определяется дальнейшее действие с ним.

Семена подаются из бункера-накопителя на транспортерную ленту с частотой, заданной микропроцессором. В оптико-электронном модуле световой поток от источников излучения поступает на поверхность зерна, находящегося в светонепроницаемой камере. Люминесцентное излучение зерна поступает на фотоприемник. Электрические сигналы с фотоприемника, после облучения каждым из источников поступают для обработки и управления дальнейшими действиями. На основе анализа отношения потоков Φ_{362}/Φ_{424} микроконтроллер формирует управляющие сигналы для перемещения зерна по ленте. Граница сепарации при отношении потоков $\Phi_{362}/\Phi_{424} = 0,580$. Семена с большим отношением будут отнесены к зараженным, а с меньшим – к здоровым.

В качестве источников излучения применяются светодиоды, имеющие требуемый спектральный состав, малую инерционность и дающие возможность переключения за менее, чем 20 мкс. Основные данные современных светодиодов, потенциально возможных при проектировании системы сортировки, представлены в таблице 1.

световой поток при пиковом подаваемом напряжении может превосходить 100 лм. Такой световой поток достигается благодаря встроенной линзе, оптическая ось которой проходит через центральную часть корпуса, что позволяет без существенных оптических потерь встраивать данные источники излучения в другие оптические узлы устройств. А благодаря тому, что данные светодиоды имеют форм-фактор SMD – в них предусмотрен теплоотвод, который позволяет осуществлять монтаж вместе с системами охлаждения, такими как радиатор или вентилятор.

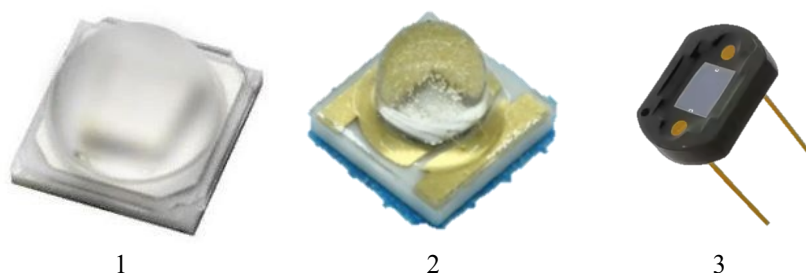


Рис.1 – Источники и приемник излучения:
1 – светодиод CREELED 424, 2 – светодиод VLMU3510-365-130,
3 – фотодиод Hamamatsu S1133
Fig. 1 – Radiation Sources and Receiver:
1 – CREELED 424 LED, 2 – VLMU3510-365-130 LED,
3 – Hamamatsu S1133 Photodiode

Разработана блок-схема алгоритма работы устройства фотOLUMИНЕСЦЕНТНОЙ сепарации семян зерновых культур, зараженных фузариозом (рис. 2).

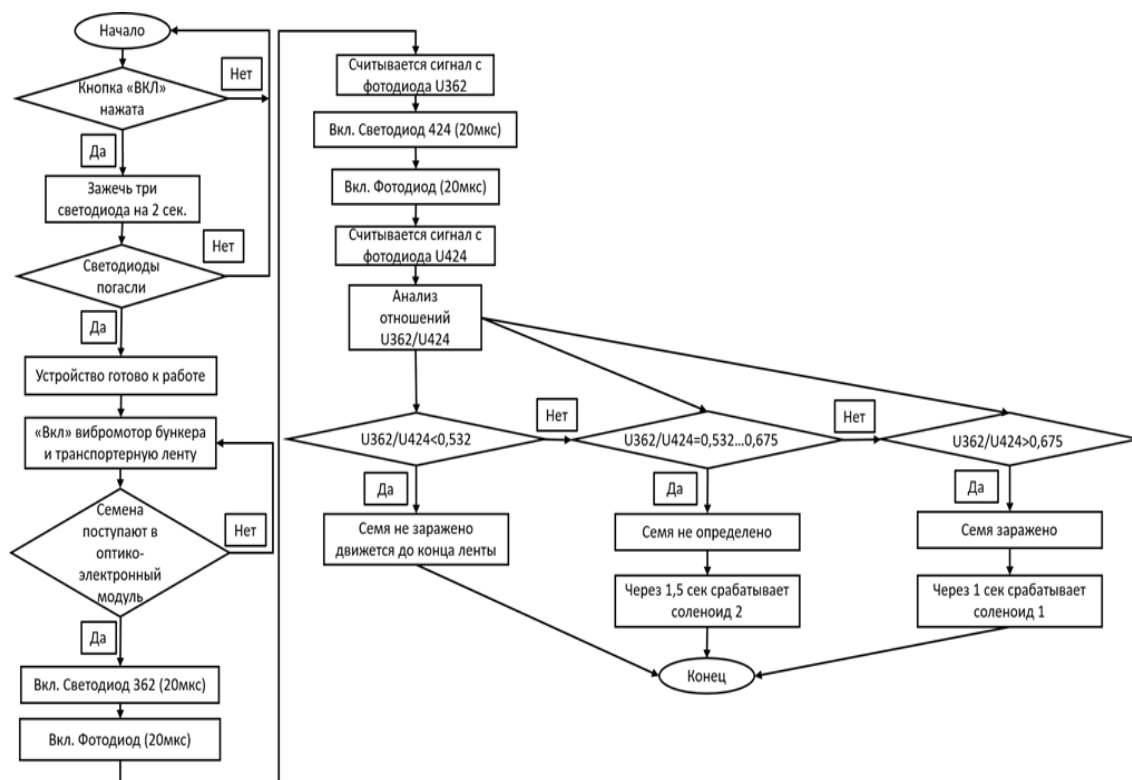


Рис. 2 – Блок-схема алгоритма работы устройства сортировки роботизированной системы оптической экспресс диагностики семян зерновых культур

Fig. 2 – Block diagram of the operation algorithm of the sorting device of the robotic optical express diagnostic system for grain seeds

Данный алгоритм включает три этапа: инициализация и проверка основных систем; получение сигнала люминесценции; анализ полученного отношения сигналов и запуск исполнительных устройств (соленоидов).

Разработанный прототип установки для экспериментов включает транспортерную ленту с регулируемой скоростью движения, светозащитную камеру с входом и выходом для единичного движения зерна, светодиоды и фотодиод с системой электрического питания, а также сигнальные

индикаторы.

Результаты и обсуждение. Ранее было установлено [11, 12], что наиболее информативными диапазонами спектра фотOLUMИНЕСЦЕНЦИИ для зерна пшеницы являются 390-540 нм (при возбуждении 362 нм) и 450-600 нм (при возбуждении 424 нм).

Для возбуждения люминесценции необходимо осуществить подбор источников излучения (светодиодов). Результаты расчетов эффективной отдачи светодиодов по формуле (1) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета эффективной отдачи излучения светодиодов
Table 2 – Results of calculating the effective radiation output of the LEDs

Источник излучения	$k_{э.в.}$
VLMU3510-365-130	0,98
NICHIA NCSU276A	0,97
NICHIA NVSU233B	0,97
NICHIA NCSU033C	0,97
CREELED424	0,95
LHUV-0420-0550	0,94
LZ4-00UA00-00U6	0,73

Для возбуждения люминесценции на $\lambda = 362$ нм наиболее подходящим является светодиод VLMU3510-365-130, поскольку обладает максимальным $k_{э.в.}$, который равен 0,98, угол излучения $\varphi = 160^\circ$, а поток излучения $\Phi_e = 0,95$ Вт.

Светодиод CREELED424 является наиболее оптимальным для рабочей длины 424 нм из-за высокой эффективной отдачи, широкому углу излучения и относительно большому потоку равному $\Phi_e = 0,8$ Вт.

Выбранные светодиоды имеют не только высокую эффективную отдачу излучения, но также высокий прямой ток $I = 700 - 1000$ мА и прямое напряжение $U = 3,5 - 4,0$ В, следовательно, при излучении будет выделяться большое количество тепла, которое необходимо рассеивать. С возникшей проблемой справятся специальные подложки для

светодиодов, сделанные из теплопроводящих материалов.

Для приема фотолюминесцентного излучения выбраны фотодиоды ввиду высокого быстродействия и малых габаритных размеров. При этом следует выбирать фотодиод с таким спектром чувствительности, чтобы он перекрывал обе полосы фотолюминесценции (390-540 нм и 450-600 нм), причем спектральная чувствительность в этих полосах не сильно отличалась друг от друга. Другим немаловажным критерием выбора является максимальная интегральная чувствительность, потому что люминесцентный сигнал очень мал.

В качестве приемника излучения выбран фотодиод S1133 фирмы Hamamatsu. Его внешний вид представлен на рисунке 1, спектральная чувствительность – на рисунке 3, а основные параметры – в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры фотодиода S1133
Table 3 – Parameters of the S1133 photodiode

Параметр	Значение
Площадь чувствительной поверхности, мм	2,4×2,8
Диапазон температур, °C	-10°C - +60
Спектральный диапазон, нм	320-730
Фоточувствительность, А/Вт	0,3
Темновой ток, пА	10
Время нарастания сигнала, мкс	2,5

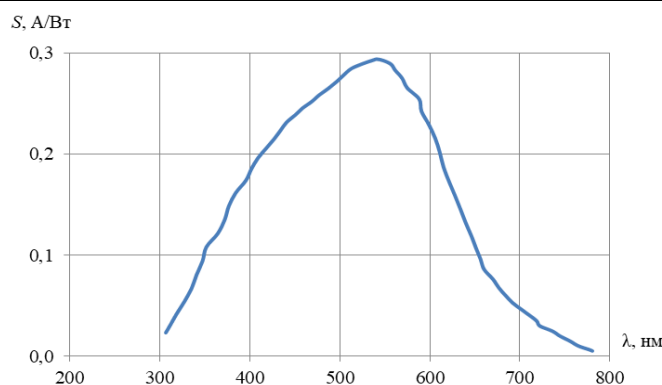


Рис. 3 – Спектральная характеристика чувствительности фотодиода S1133
Fig. 3 – Spectral sensitivity characteristic of the S1133 photodiode

Из рисунка 3 следует, что при регистрации люминесценции в диапазоне 390-540 нм фотодиод обладает чувствительностью S от 0,17 А/Вт до 0,28 А/Вт, а в диапазоне люминесценции 450-600 нм S составляет от 0,21 А/Вт до 0,23 А/Вт, что составляет около 60 – 66% от максимальной чувствительности фотодиода в 0,3 А/Вт, что делает выбор

данного фотодиода оптимальным для решения поставленной задачи. Также использование одного фотодиода существенно уменьшает стоимость системы фотолюминесцентной сепарации при увеличении пропускной способности установки.

В качестве микроконтроллера выбран АТmega328Р. АТmega328Р-микроконтроллер

семейства AVR имеет 8-битный процессор и позволяет выполнять большинство команд за один такт. Каждый из 14 цифровых выводов использует функции pinMode, digitalWrite, и digitalRead. Выводы работают при напряжении 5 В. Каждый вывод имеет нагрузочный резистор (стандартно отключен) 20-50 кОм и может пропускать до 40 мА. В связи с этим для питания светодиодов, а им требуется от 700 – 1000 мА, а также фотодиодов, необходим дополнительный преобразователь, способный увеличить ток и напряжение до требуемых значений.

Поскольку по своей природе люминесценция является сравнительно слабым излучением, то для ее регистрации необходим усилитель, который будет обладать большим коэффициентом усиления и при этом низкими шумовыми составляющими. С такой задачей может справиться операционный усилитель. Данный электронный компонент бывает как с однополярным, так и с двухполярным питанием, имеет дифференциальный вход. Разрабатываемая система фотолюминесцентной сепарации имеет однополярное питание, следовательно, был выбран операционный усилитель AD820ANZ. Данный ОУ обладает низким дрейфом смещения с температурой, а именно 2 мкВ/°С, следовательно, резкие температурные колебания не повлияют на качество выходного сигнала. Также AD820ANZ обладает высокой линейностью и точностью, ширина полосы пропускания 1,8 МГц. Поскольку люминесценция является быстро протекающим процессом, то операционный усилитель должен обладать высокой скоростью нарастания сигнала. AD820ANZ имеет скорость нарастания 3 В/мкс, при токе потребления 800 мкА, что достаточно для регистрации люминесценции, передачи аналогового – цифрового сигнала в микроконтроллер.

Напряжение питания операционного усилителя имеет довольно широкий диапазон, а именно 3 – 36 В, что делает данный операционный усилитель универсальным встраиваемым компонентом в различных электрических схемах, благодаря тому, что не нужно применять дополнительные преобразователи напряжений. При недостаточном напряжении питания, AD820ANZ не сможет выйти на рабочую точку, при превышении напряжения питания произойдет нагрев и последующее разрушение электронного компонента. Благодаря вышеперечисленным характеристикам AD820ANZ является эффективным, эргономичным и относительно не дорогим решением.

Для управления включением и выключением источников излучения, у которых напряжение питания составляет от 3-4 В, а также ток от 700-1000 мА, необходимо использовать высокоомощные аналоговые переключатели, способные пропустить через себя данные значения $U_{п}$ и $I_{п}$.

В качестве аналогового переключателя выберем одноканальный силовой ключ RDC1-S1 N power MOSFET. Понижающий DC-DC преобразователь – это преобразователь, способный получить стабилизированное напряжение постоянного тока на выходе меньше, чем напряжение постоянного тока, поданное на его вход. Поскольку выбранный микроконтроллер ATmega328P не способен единолично пропустить через себя ток для светодиодов в размере 700-1000 мА, необходимы преобразователи, способные поддерживать постоянное напряжение и ток на выходе. С данной задачей справится понижающий DC-DC преобразователь LM2596.

Конструктивная схема оптоэлектронного блока сепарации зерна пшеницы представлена на рисунке 4.

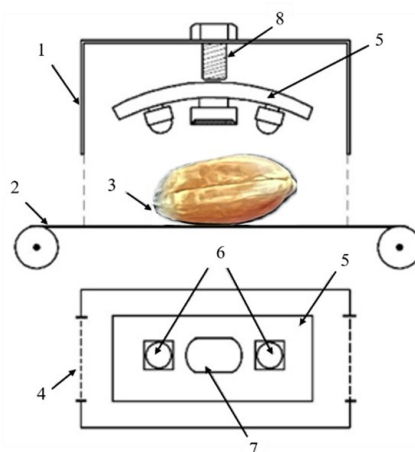


Рис. 4 – Конструктивная схема оптоэлектронного блока сепарации зерна пшеницы:
1 – светонепроницаемая камера, 2 – транспортерная лента, 3 – исследуемый образец зерна,
4 – входное отверстие камеры, 5 – подложка, 6 – светодиоды, 7 – фотодиод,
8 – винт для перемещения подложки

Fig. 4 – Structural diagram of the optoelectronic grain separation unit for wheat:

1 – Light-tight chamber, 2 – Conveyor belt, 3 – Test grain sample,
4 – Chamber inlet, 5 – Substrate, 6 – LEDs, 7 – Photodiode, 8 – Screw for substrate movement



Рис. 5 – Общий вид устройства фотолуминесцентной сепарации семян зерновых культур, зараженных фузариозом: 1 – бункер-накопитель, 2 – транспортерная лента, 3 – оптоэлектронный блок, 4 – потенциометр (вкл./выкл. и частота подачи) индикация (зеленый-здоровое зерно, красный-некондиционное, желтый-неопределённое), 5 – соленоиды, 6 – зерно

Fig. 5 – General View of the Photoluminescent Separation Device for Cereal Seeds Infected with Fusarium: 1 – Storage Hopper, 2 – Conveyor Belt, 3 – Optoelectronic Unit, 4 – Potentiometer (On/Off and Feed Rate); Indication (Green – Healthy Grain, Red – Non-Conforming Grain, Yellow – Uncertain), 5 – Solenoids, 6 – Grain

Внешний вид устройства фотолуминесцентной сепарации зараженного фузариозом зерна представлен на рисунке 5.

Технологический процесс работы установки: семенная масса зерна засыпается в бункер-накопитель 1 и под действием вибрации, которая регулируется потенциометром 4, поступает на подающую ленту 2, лента перемещает зерно со скоростью 0,05 м/с к оптоэлектронному модулю 3. В оптоэлектронном модуле световой поток от источников излучения поступает на поверхность зерна, находящегося в светонепроницаемой камере. Люминесцентное излучение зерна поступает на фотоприемник. Электрические сигналы с фотоприемника, после облучения каждым из источников поступают для обработки и

управления микропроцессором. Семена с отношением $U_{362}/U_{424} < 0,532$ будут отнесены к не зараженным, $U_{362}/U_{424} = 0,532 \dots 0,675$ относятся к неопределенным, а с $U_{362}/U_{424} > 0,675$ – к здоровым. Затем зерно движется дальше по подающей ленте 2 к устройству сортировки 5. Если зерно здоровое, то мигает зеленый светодиод и оно движется до конца ленты, если зерно не определено, то загорается желтый светодиод и срабатывает первый соленоид 5 по ходу движения ленты, если зерно заражено, то загорается красный светодиод и срабатывает второй соленоид.

На рисунке 6 представлены результаты измерения 1000 здоровых и 1000 зараженных семян на разрабатываемой установке фотолуминесцентной сепарации.

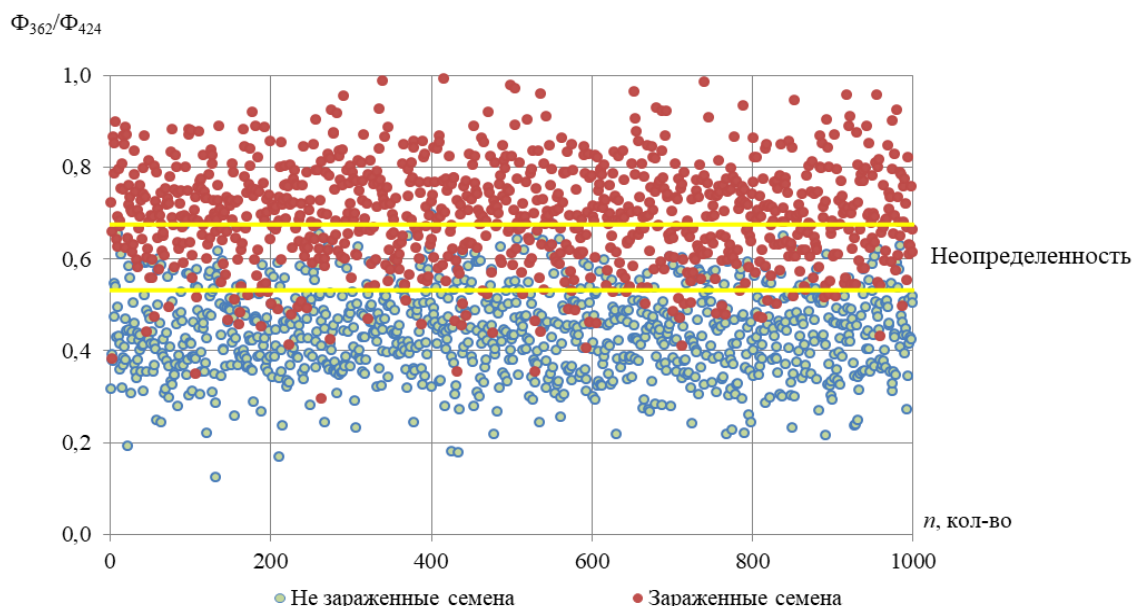


Рис. 6 – Результат измерения отношений сигнала Φ_{362}/Φ_{424} для не зараженных и зараженных семян

Fig. 6 – The result of measuring the Φ_{362}/Φ_{424} signal ratio for uninfected and infected seeds

Из рисунка 6 следует, что некоторые точки из выборки семян здоровых и зараженных находятся в области неопределенности, также наблюдается некоторое количество семян, которые отнесены ошибочно к той или иной

группе. Однако, большее количество потока семян распознано верно.

В таблице 4 представлены результаты работы разрабатываемой системы фотолюминесцентной сепарации.

Таблица 4 – Результаты работы системы фотолюминесцентной сепарации
Table 4 – Results of the photoluminescent separation system operation

Параметры	Не зараженные семена	Зараженные семена
Φ_{362}/Φ_{424}	$0,437 \pm 0,04$	$0,698 \pm 0,06$
n , КОЛ-ВО	1000	1000
$n_{\text{неопред.}}$ КОЛ-ВО	155	338
$n_{\text{промах}}$ КОЛ - ВО	2	68
Производительность 1 канала, зерен/с	3	
Точность распознавания, %	72	

Относительная погрешность Φ_{362}/Φ_{424} для не зараженных и зараженных семян составляет менее 10%. При фотолюминесцентной сепарации свыше 75 % семян отнесены к своей группе верно. Точность распознавания составляет 72%. Попадание части здоровых семян в зону неопределенности может быть связано с естественной вариабельностью люминесцентных свойств, степенью распространности фузариозного поражения по поверхности, дефектами самой поверхности или поверхностными загрязнениями. Высокое количество неопределенных и ошибочно классифицированных зараженных семян (338 и 68 соответственно) требует дальнейшего уточнения пороговых значений и алгоритма обработки сигналов. Мобильность, универсальность, модульность, функциональность, надежность и сравнительно низкая стоимость являются ключевыми преимуществами разрабатываемого сепарирующего устройства. Данное устройство может быть масштабировано путем увеличения количества каналов измерения, что в свою очередькратно повысит его производительность. Регистрация потоков фотолюминесценции с точки зрения реализации устройств в 6-10 раз дешевле [6], в отличие от систем, основанных на распознавании изображений (машинного зрения), которое требует высокоточных и дорогих камер.

Выводы:

1. Разработанная система неразрушающего контроля зараженности зерна включает светонепроницаемую камеру с двумя светодиодами и широкоспектральным фотодиодом. Для возбуждения люминесценции выбран светодиод VLMU3510-365-130 ($\lambda = 362$ нм, эффективная отдача $k_{\text{э.в.}} = 0,98$, угол излучения $\varphi = 160^\circ$, поток $\Phi_e = 0,95$ Вт), а в качестве приемника – фотодиод S1133 (Hamamatsu), чувствительность которого в рабочих диапазонах составляет 60–66% от максимальной, что обеспечивает оптимальную регистрацию сигнала.

2. Доля семян, верно отнесенных к своей группе методом фотолюминесцентной сепарации, превышает 75%. Общая точность распознавания достигает 72%, производительность одного канала установки составляет не менее 3 зерен/с. Дальнейшие направления совершенствования заключаются в увеличении числа каналов, а также применению нейросетевых методов для увеличения точности распознавания зараженного зерна.

3. Относительная погрешность определения ключевого параметра Φ_{362}/Φ_{424} не превышает 10% как для здоровых, так и для зараженных образцов. Таким образом, разработанная автоматизированная фотолюминесцентная система сепарации зернового материала имеет удовлетворительные показатели качества работы.

Литература

1. Производство пшеницы в России / В. М. Зимняков, А. А. Курочкин, С. В. Богомазов и др. // Нива Поволжья. 2020. № 1(54). С. 15-21. doi: 10.36461/NP.2020.54.1.003
2. Boyko A., Moskovsky M. N., Vorobev S. The Basics of Using Spectral Technologies for Diagnostics and Control of Seed Stock during Storage // Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. 2022. P. 1635-1643. doi: 10.1007/978-3-031-11058-0_166
3. Zudyte B., Luksiene Z. Visible light-activated ZnO nanoparticles for microbial control of wheat crop // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2021. Vol. 219(112206). doi: 10.1016/j.jphotobiol.2021.112206.
4. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Зюлин А. Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. № 1. С. 2-9.
5. Разработка рабочего органа вертикального пневмоканала для очистки шрота подсолнечника / В. Г. Хамуев, И. А. Пехальский, С. А. Герасименко и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5(77). С. 402-411. doi: 10.32786/2071-9485-2024-05-45.
6. Стукалова А. В., Ямпилев С. С., Балданов В. Б. Обзор современных фотосепараторов // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 1(92). С. 62-71. doi: 10.53980/24131997_2024_1_62.
7. Толмачев В. Д., Лебедев Д. В. Актуальность применения фотосепараторов в технологическом процессе // Символ науки. 2019. № 6. С. 234-238.

8. Пат. 2521215 Российская Федерация. МПК В07С 5/34. Оптоволоконный лазерный сортировщик. / Шульгин В. А. [и др.]; патентообладатель: Чуйко Г. В. – № 2012156324/03; заявл. 24.12.2014; опубл. 27.06.14. ; Бюл. № 18 – 4 с.

9. Соколов С. В., Новиков А. И. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. № 2. С. 5–13. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.

10. Method of Optical Diagnostics of Grain Seeds Infected with Fusarium / M. V. Belyakov, M.N. Moskovskiy, M.A. Litvinov, et al. // Applied Sciences (Switzerland). 2022. Vol. 12(10). doi: 10.3390/app12104824.

11. Design of Device for Optical Luminescent Diagnostic of the Seeds Infected by Fusarium / M.N. Moskovskiy, M.V. Belyakov, A.S. Dorokhov, et al. // Agriculture. 2023, 13(3). doi: 10.3390/agriculture13030619.

12. Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве / С. В. Гудков, Р.М. Саримов, М.Е. Асташев и др. // Успехи физических наук. 2024. Т. 194. № 2. С. 208–226. doi: 10.3367/UfNr.2023.09.039577.

References

1. Zimnyakov VM, Kurochkin AA, Bogomazov SV. [Wheat production in Russia]. Niva Povolzhya. 2020; 1 (54). 15–21 p. doi: 10.36461/NP.2020.54.1.003

2. Boyko A., Moskovsky MN, Vorobev S. The basics of using spectral technologies for diagnostics and control of seed stock during storage. Networked control systems for connected and automated vehicles. 2022; 1635–1643 p. doi: 10.1007/978-3-031-11058-0_166

3. Zudyte B, Luksiene Z. Visible light-activated ZnO nanoparticles for microbial control of wheat crop. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2021; Vol.219(112206). doi: 10.1016/j.jphotobiol.2021.112206.

4. Lachuga YuF, Izmaylov AYu, Zyulin AN. [Development and implementation of highly efficient, resource- and energy-saving technologies and technical means for post-harvest grain processing and seed preparation]. Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2009; 1. 2–9 p.

5. Khamuev VG, Pekhalskiy IA, Gerasimenko SA. [Development of working element of vertical pneumatic pipe for cleaning sunflower meal]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2024; 5(77). 402–411 p. doi: 10.32786/2071-9485-2024-05-45.

6. Stukalova AV, Yampilov SS, Baldanov VB. [Review of modern color sorters]. Vestnik VSGUTU. 2024; 1 (92). 62–71 p. doi: 10.53980/24131997_2024_1_62.

7. Tolmachev VD, Lebedev DV. [Relevance of using color sorters in the technological process]. Simvol nauki. 2019; 6. 234–238 p.

8. Shulgin VA. Optovolokonnyy lazernyy sortirovshchik. [Fiber-optic laser sorter]. Patent 2521215 Rossiiskaya Federatsiya. MПК В07С 5/34. Patent holder Chuyko G.V. № 2012156324/03; declared 24.12.2014; published 27.06.14; Bulletin 18. 4 p.

9. Sokolov SV, Novikov AI. [New optoelectronic systems for express analysis of seeds in forestry production]. Lesotekhnicheskii zhurnal. 2019; Vol.9. 2. 5–13 p. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.

10. Belyakov MV, Moskovskiy MN, Litvinov MA. Method of optical diagnostics of grain seeds infected with Fusarium. Applied Sciences (Switzerland). 2022; Vol.12(10). doi: 10.3390/app12104824.

11. Moskovskiy MN, Belyakov MV, Dorokhov AS. Design of device for optical luminescent diagnostic of the seeds infected by Fusarium. Agriculture. 2023; 13(3). doi: 10.3390/agriculture13030619.

12. Gudkov SV, Sarimov RM, Astashev ME. [Modern physical methods and technologies in agriculture]. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2024; Vol.194. 2. 208–226 p. doi: 10.3367/UfNr.2023.09.039577.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Беляков Михаил Владимирович – главный научный сотрудник лаборатории инновационных технологий и технических средств кормления в животноводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: bmw20100@mail.ru, ORCID 0000-0002-4371-8042

Герасименко Станислав Александрович – старший научный сотрудник лаборатории технологий и машин для послеуборочной обработки зерна Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: stanislav.mkm@gmail.com, ORCID 0000-0003-4152-6570

Борзенко Сергей Игоревич – старший научный сотрудник лаборатории технологий и машин для послеуборочной обработки зерна Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: serzhbk@gmail.com, ORCID 0000-0002-2040-7022

Ефременков Игорь Юрьевич – младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий и технических средств кормления в животноводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: matiusharius@mail.ru, ORCID 0000-0003-2302-9773

Вклад авторов:

М.В. Беляков – разработка научной концепции, формальный анализ, подготовка статьи к публикации, руководство исследованиями;

С.А. Герасименко – методология, валидация, ресурсы;

С.И. Борзенко – валидация, ресурсы, подготовка исходного варианта рукописи;

И.Ю. Ефременков – программное обеспечение, проведение измерений, визуализация, подготовка исходного варианта рукописи.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 22.04.2025; одобрена после рецензирования 14.03.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Belyakov Mikhail Vladimirovich – chief researcher of Laboratory of Innovative Technologies and Technical Means of Feeding in Animal Husbandry Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5 1st Institutsky Proezd, Moscow, 109428, Russian Federation), e-mail: bmw20100@mail.ru, ORCID 0000-0002-4371-8042

Gerasimenko Stanislav Aleksandrovich – senior researcher of Laboratory of Technologies and Machines for Post-Harvest Grain Handling Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5 1st Institutsky Proezd, Moscow, 109428, Russian Federation), e-mail: stanislav.mkm@gmail.com, ORCID 0000-0003-4152-6570

Borzenko Sergey Igorevich – senior researcher of Laboratory of Technologies and Machines for Post-Harvest Grain Handling Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5 1st Institutsky Proezd, Moscow, 109428, Russian Federation), e-mail: serzhbk@gmail.com, ORCID 0000-0002-2040-7022

Efremkov Igor Yurevich – junior researcher of Laboratory of Innovative Technologies and Technical Means of Feeding in Animal Husbandry Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5 1st Institutsky Proezd, Moscow, 109428, Russian Federation), e-mail: matiusharius@mail.ru, ORCID 0000-0003-2302-9773

Contribution of the authors:

M.V. Belyakov – Development of the scientific concept, Formal analysis, Preparation of the article for publication, Supervision of the research;

S.A. Gerasimenko – Methodology, Validation, Resources;

S.I. Borzenko – Validation, Resources, Preparation of the initial draft of the manuscript;

I.Yu. Efremkov – Software, Conducting measurements, Visualization, Preparation of the initial draft of the manuscript.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 22.04.2025; revised 14.03.2026; accepted 25.06.2026.



ОБОСНОВАНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ СКАТНОЙ ПЛАСТИНЫ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПОДКОРНЕВОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

© 2026 Валиев А. Р. ✉, Хазиев А. А., Сабиров Р. Ф., Гайнутдинов Б. И.

*Казанский государственный аграрный университет
(г. Казань, Российская Федерация)
✉ ayratvaliev@mail.ru*

Реферат. Повышение эффективности использования минеральных удобрений является одной из важнейших задач современного земледелия. Одним из перспективных направлений совершенствования технологий внесения удобрений является их локальное подкорневое размещение с формированием расширенной зоны питания растений. Эффективность такого способа во многом определяется равномерностью распределения гранул удобрений в почвенном слое, которая зависит от конструктивных параметров распределяющих элементов рабочего органа. Цель исследования – обоснование рационального радиуса кривизны скатной пластины рабочего органа для подкорневого внесения минеральных удобрений. Теоретические исследования выполнены на основе анализа движения гранул по криволинейной поверхности с учётом действия центробежных сил и условий сохранения контакта гранул с рабочей поверхностью. Для уточнения влияния радиуса кривизны на характер распределения гранул проведено численное моделирование методом дискретных элементов в программном комплексе Rocky DEM. Установлено, что радиус кривизны скатной пластины оказывает определяющее влияние на формирование полосовой зоны размещения удобрений. Наиболее равномерное распределение гранул обеспечивается при радиусе кривизны 20 мм, при котором коэффициент равномерности распределения достигает значения 0,92. Уменьшение или увеличение радиуса относительно рационального значения приводит к ухудшению равномерности распределения и локализации гранул в отдельных участках борозды. Результаты могут быть использованы при проектировании рабочих органов для локального внесения гранулированных минеральных удобрений.

Ключевые слова: минеральные удобрения, подкорневое внесение, рабочий орган, скатная пластина, радиус кривизны, распределение гранул, Rocky DEM, коэффициент равномерности.

Для цитирования: Обоснование радиуса кривизны скатной пластины рабочего органа для подкорневого внесения минеральных удобрений / А.Р. Валиев, А.А. Хазиев, Р.Ф. Сабиров, Б.И. Гайнутдинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 71-78. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-71-78

JUSTIFICATION OF CURVATURE RADIUS OF DEFLECTOR PLATE OF A WORKING UNIT FOR SUBSURFACE APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS

© 2026 Valiev A. R. ✉, Khaziev A. A., Sabirov R. F., Gaynutdinov B. I.

*Kazan State Agrarian University
(Kazan, Russian Federation)
✉ ayratvaliev@mail.ru*

Abstract. Improvement of mineral fertilizer use efficiency is one of the most important challenges in modern crop production. One promising approach for improving fertilizer application technologies is their localized subsurface placement, creating an expanded plant nutrition zone. The effectiveness of this method is largely determined by the uniformity of fertilizer granule distribution in the soil layer, which depends on the design parameters of the spreading elements of the working unit. The aim of the study is to justify the rational curvature radius of deflector plate of a working unit for subsurface application of mineral fertilizers. Theoretical studies were conducted based on an analysis of granule movement along a curved surface, taking into account the action of centrifugal forces and conditions for maintaining granule contact with the working surface. Numerical simulation was carried out using Discrete Element Method in Rocky DEM software package in order to clarify the influence of curvature radius on granule distribution pattern. It was found that curvature radius of deflector plate has a significant influence on the formation of strip fertilizer placement zone. The most uniform granule distribution is achieved with a curvature radius of 20 mm, at which the distribution uniformity coefficient reaches 0.92. Decreasing or increasing the radius relative to the optimal value leads to deterioration of distribution uniformity and localization of granules in certain sections of the furrow. The results can be used in the design of working units for localized subsurface application of granular mineral fertilizers.

Key words: mineral fertilizers, subsurface application, working unit, deflector plate, curvature radius, granule distribution, Rocky DEM, coefficient of uniformity.

For citation: Valiev AR, Khaziev AA, Sabirov RF, Gaynutdinov BI. [Justification of curvature radius of deflector plate of a working unit for subsurface application of mineral fertilizers]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 71-78 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-71-78

Введение. Одним из основных факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур является рациональное применение минеральных удобрений. При традиционных способах внесения значительная часть питательных веществ используется растениями не полностью, вследствие неравномерного распределения в почве, вымывания в нижние горизонты и перехода элементов питания в труднодоступные формы [1, 2, 3].

Перспективным направлением повышения эффективности использования удобрений является их локальное размещение непосредственно в зоне развития корневой системы растений. Такой способ позволяет концентрировать элементы питания в наиболее активной части корнеобитаемого слоя, снижать потери удобрений и повышать коэффициент их использования растениями [4, 5, 6].

Для реализации технологии локального подкорневого внесения разработан рабочий орган, обеспечивающий формирование борозды и распределение гранул минеральных удобрений по её ширине посредством специальной скатной пластины. В отличие от традиционного ленточного внесения, предлагаемая конструкция формирует расширенную полосовую зону размещения удобрений, более полно соответствующую характеру развития мочковатой корневой системы зерновых культур [7].

Характер распределения гранул удобрений в значительной степени определяется геометрией скатной пластины. Одним из основных

параметров является радиус её кривизны. При недостаточном радиусе происходит резкое изменение траектории движения гранул, что приводит к их концентрации в отдельных участках борозды. Чрезмерное увеличение радиуса, напротив, снижает интенсивность поперечного перераспределения частиц и приводит к ухудшению равномерности размещения удобрений.

В связи с этим возникает необходимость теоретического и численного обоснования рационального значения радиуса кривизны скатной пластины, обеспечивающего наиболее равномерное распределение гранул минеральных удобрений по ширине формируемой зоны размещения.

Цель исследования – обосновать рациональный радиус кривизны скатной пластины рабочего органа для подкорневого внесения минеральных удобрений на основе теоретического анализа движения гранул и результатов численного моделирования методом дискретных элементов.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования являлся разработанный рабочий орган для подкорневого внесения гранулированных минеральных удобрений (рис. 1), предназначенный для формирования расширенной полосовой зоны размещения удобрений в почве. Конструктивной особенностью рабочего органа является наличие скатной пластины криволинейной формы, обеспечивающей поперечное перераспределение гранул удобрений по ширине формируемой борозды.

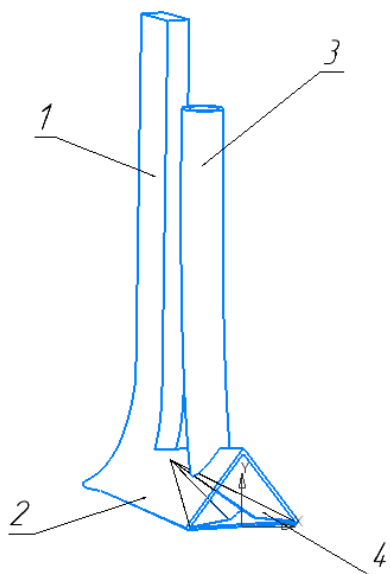


Рис. 1 – Конструкция рабочего органа для подкорневого внесения минеральных удобрений

1 – стойка; 2 – лоток; 3 – тукопровод, 4 – скатная пластина

Fig. 1 – Design of the working tool for sub-root application of mineral fertilizers:

1 – shank; 2 – tray; 3 – fertilizer duct; 4 – chute plate

Технологический процесс работы заключается в следующем. При движении агрегата рабочий орган формирует борозду заданной глубины, после чего поток гранулированных удобрений поступает на скатную пластину (4) через тукопровод (3). Под действием силы тяжести, инерционных сил и контактных взаимодействий с рабочей поверхностью гранулы изменяют направление движения и распределяются по ширине борозды, формируя расширенную зону размещения удобрений.

Для обоснования рационального радиуса кривизны скатной пластины выполнены теоретические исследования движения гранулы по криволинейной поверхности и численное моделирование методом дискретных элементов (DEM) [8, 9, 10].

Теоретический анализ основан на рассмотрении движения отдельной гранулы удобрения по поверхности скатной пластины радиуса кривизны R . При движении по криволинейной траектории на гранулу действуют сила тяжести, нормальная реакция поверхности, сила трения и центробежная сила инерции.

Условием сохранения контакта гранулы с поверхностью является положительное значение нормальной реакции:

$$N = mg \cos \theta - m \frac{v^2}{R},$$

Где m – масса гранулы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; v – скорость движения гранулы по поверхности пластины, м/с; R – радиус кривизны скатной пластины, м; θ – угол наклона касательной к поверхности в рассматриваемой точке.

Из условия $N > 0$ получаем:

$$R > \frac{v^2}{g \cos \theta},$$

Полученное условие определяет нижнюю границу допустимых значений радиуса кривизны скатной пластины, при которых сохраняется контакт гранулы с рабочей поверхностью в процессе её движения. Следовательно, радиус кривизны не может быть произвольно уменьшен, поскольку это приводит к увеличению центробежной составляющей и повышает вероятность нарушения устойчивого движения гранул. В результате происходит нарушение управляемости движения частиц и ухудшается равномерность распределения удобрений.

Для уточнения влияния радиуса кривизны на характер движения гранул использован метод дискретных элементов в программном комплексе Rocky DEM. Данный метод позволяет моделировать взаимодействие большого количества отдельных частиц и учитывать процессы столкновений между гранулами и рабочими поверхностями [8].

В качестве исследуемого материала приняты гранулы азотосодержащего материала со средними физико-механическими характеристиками, соответствующими реальным условиям эксплуатации

туковсевающих аппаратов. Параметры почвенной среды соответствовали серым лесным среднесуглинистым почвам с плотностью 1200 кг/м³. Контактное взаимодействие частиц описывалось моделью Герца–Миндлина с учётом адгезионного взаимодействия JKR [8, 10].

Численный эксперимент выполнялся по двухфакторной схеме. В качестве варьируемых факторов были приняты:

- радиус кривизны скатной пластины $R = 10; 15; 20; 25; 30$ мм;

- норма внесения минеральных удобрений $Q = 100; 160; 220$ шт.

Критерием оценки эффективности распределения служил коэффициент равномерности распределения гранул K .

Для каждого сочетания исследуемых факторов выполнялся один расчётный прогон модели. Поскольку моделирование осуществлялось при фиксированных входных параметрах и детерминированных условиях расчёта, полученные результаты использовались для сравнительной оценки влияния радиуса кривизны скатной пластины на коэффициент равномерности распределения гранул. Статистическая обработка повторностей в рамках данного исследования не проводилась.

На основании результатов моделирования выполнена статистическая обработка данных и получены регрессионные зависимости, характеризующие влияние радиуса кривизны скатной пластины на коэффициент равномерности распределения гранул минеральных удобрений.

Результаты и обсуждение. Для оценки влияния радиуса кривизны скатной пластины на характер распределения минеральных удобрений проведено численное моделирование процесса движения гранул в программном комплексе Rocky DEM. В ходе исследований анализировались траектории движения частиц, ширина зоны их размещения и коэффициент равномерности распределения.

Для количественной оценки равномерности распределения гранул минеральных удобрений использовался коэффициент равномерности распределения K , рассчитываемый по процентному содержанию гранул в отдельных лотках измерительного устройства. Использование данного показателя позволяет перейти от дискретного распределения частиц по лоткам к обобщённой характеристике процесса распределения, пригодной для статистической обработки и регрессионного анализа.

Коэффициент равномерности распределения определяли по выражению:

$$K = 1 - \frac{\sum |p_i - p_{cp}|}{2 \sum p_i},$$

где p_i – доля гранул, попавших в i -й лоток; p_{cp} – среднее значение (20 % для 5 лотков).

Значение коэффициента равномерности изменяется в пределах от 0 до 1. При $K = 1$ распределение удобрений является полностью равномерным. Снижение значения

коэффициента свидетельствует об увеличении неравномерности распределения гранул по ширине борозды. Данный показатель позволяет объективно оценить влияние конструктивных параметров рабочего органа на качество формирования зоны размещения минеральных удобрений.

Для расчёта коэффициента равномерности абсолютное количество гранул, зарегистрированных в каждом лотке, предварительно переводилось в процентную долю от общего числа гранул, попавших в измерительное устройство. Таким образом, коэффициент K характеризует степень отклонения фактического распределения гранул от теоретически равномерного распределения, при котором на каждый

из пяти лотков приходится по 20% частиц.

В таблице 1 представлены средние значения количества гранул, зарегистрированных в каждом лотке по результатам трёх повторностей численного моделирования. Коэффициент равномерности распределения рассчитывали не по абсолютному количеству гранул, приведённому в таблице, а после предварительного перевода этих значений в относительные величины (% от общего числа гранул, поступивших в измерительное устройство). Поэтому сумма значений по лоткам в таблице соответствует количеству гранул, использованных при моделировании, а при расчёте коэффициента K сумма относительных значений составляла 100%.

Таблица 1 – Среднее количество гранул, зарегистрированных в лотках при различных значениях радиуса кривизны скатной пластины

Table 1 – Average number of granules recorded in the trays at different values of the curvature radius of the chute plate

R	Q , шт	Лоток 1	Лоток 2	Лоток 3	Лоток 4	Лоток 5	K
10	160	22	27	62	28	21	0,60
15	160	25	31	48	32	25	0,78
20	160	26	30	47	30	26	0,92
25	160	38	24	16	24	38	0,69
30	160	42	18	12	18	42	0,56

Следует отметить, что симметричность распределения гранул относительно центральной оси борозды не является критерием равномерности. Коэффициент K характеризует степень отклонения распределения гранул от равномерного распределения, при котором на каждый из пяти лотков приходится одинаковая доля частиц (20%). Поэтому при радиусе кривизны $R = 30$ мм, несмотря на симметричность распределения, наблюдается концентрация гранул в крайних лотках и недостаточное их количество в центральной части, что приводит к снижению коэффициента равномерности до $K = 0,56$.

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что изменение радиуса кривизны скатной пластины оказывает существенное влияние на процесс перераспределения гранул минеральных удобрений по ширине борозды. При малых значениях радиуса кривизны наблюдается интенсивное изменение направления движения гранул, что сопровождается увеличением количества их взаимных столкновений. В результате формируются локальные зоны повышенной концентрации удобрений, а распределение частиц по ширине борозды становится менее равномерным.

При радиусе кривизны 10 мм коэффициент равномерности распределения составляет 0,60. Это свидетельствует о наличии значительных отклонений от равномерного распределения гранул по ширине обрабатываемой полосы. Подобный характер движения частиц обусловлен высокой кривизной рабочей поверхности,

вследствие чего отдельные гранулы получают повышенное поперечное ускорение и изменяют первоначальную траекторию движения.

Увеличение радиуса кривизны до 15 мм приводит к улучшению условий перемещения гранул по поверхности скатной пластины. Коэффициент равномерности возрастает до 0,78, что указывает на снижение концентрации частиц в центральной части борозды и более эффективное использование площади формируемой зоны размещения удобрений. Однако распределение гранул по-прежнему нельзя считать полностью равномерным вследствие сохранения отдельных участков локального накопления удобрений.

Наиболее благоприятные условия распределения достигаются при радиусе кривизны 20 мм. В данном случае коэффициент равномерности принимает максимальное значение 0,92. Это свидетельствует о формировании устойчивого потока гранул и наиболее полном использовании рабочей ширины борозды. При данном значении радиуса создаются условия для плавного изменения направления движения частиц без резких перегрузок и отрыва гранул от поверхности скатной пластины.

Анализ полученных данных показывает, что зависимость коэффициента равномерности от радиуса кривизны носит ярко выраженный экстремальный характер. При увеличении радиуса от 10 до 20 мм наблюдается последовательное повышение коэффициента равномерности с 0,60 до 0,92. Дальнейшее увеличение радиуса сопровождается снижением

данного показателя до 0,56 при значении радиуса 30 мм.

Для оценки характера распределения гранул минеральных удобрений по ширине борозды был выполнен анализ результатов

численного моделирования. В качестве иллюстрации на рисунке 2 представлена картина распределения гранул при рациональном значении радиуса кривизны скатной пластины.

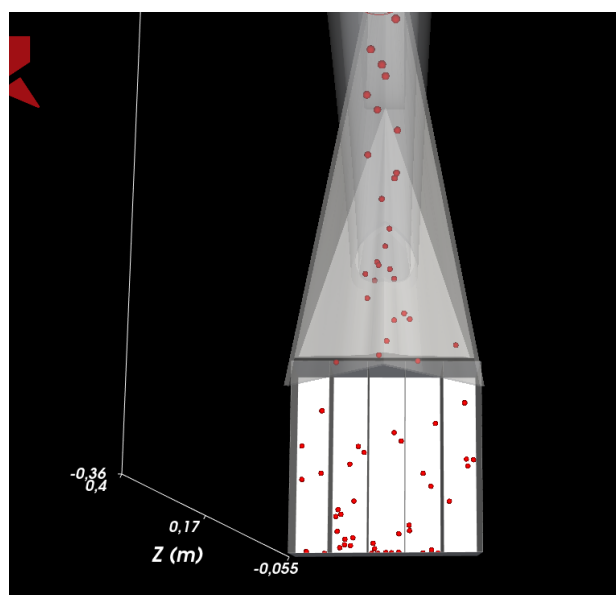


Рис. 2 – Распределение гранул минеральных удобрений по ширине борозды
Fig. 2 – Distribution of mineral fertilizer granules across the furrow width

Полученные результаты согласуются с теоретическими положениями, согласно которым уменьшение радиуса кривизны приводит к возрастанию центробежной составляющей движения гранул и увеличению вероятности нарушения их устойчивого контакта с поверхностью скатной пластины. Полученное ранее условие устойчивого движения гранул определяет область допустимых значений радиуса кривизны и показывает, что чрезмерное уменьшение данного параметра может негативно сказаться на характере распределения удобрений.

Результаты численного моделирования подтвердили наличие рационального диапазона изменения радиуса кривизны скатной пластины. Установлено, что максимальное значение коэффициента равномерности распределения гранул ($K = 0,92$) достигается при радиусе кривизны $R = 20$ мм. При меньших значениях радиуса наблюдается концентрация гранул в центральной части борозды, тогда как при увеличении радиуса свыше 20 мм происходит перераспределение частиц к периферийным зонам. Таким образом, значение $R = 20$ мм следует рассматривать как результат численной оптимизации процесса распределения гранул, выполненной методом дискретных элементов.

При дальнейшем увеличении радиуса кривизны до 25–30 мм поверхность скатной пластины становится близкой к прямолинейной. Поперечное перераспределение гранул уменьшается, вследствие чего большая часть удобрений перемещается по близким траекториям. Это приводит к сужению

зоны распределения и снижению коэффициента равномерности.

Для количественной оценки влияния исследуемого параметра выполнен регрессионный анализ результатов моделирования. Для построения регрессионной модели выполнено кодирование исследуемых факторов по следующим зависимостям:

x_1 – кодированное значение радиуса кривизны скатной пластины;

x_2 – кодированное значение нормы внесения удобрений.

$$x_1 = \frac{R - 20}{10}, \quad x_2 = \frac{Q - 160}{60},$$

где R – радиус кривизны скатной пластины, мм;

Q – количество гранул удобрений, подаваемых в расчётную область модели, шт;

20 мм и 160 шт являются центральными уровнями факторов;

10 мм и 60 шт – интервалы варьирования факторов.

Уравнение регрессии, описывающее зависимость коэффициента равномерности распределения гранул от радиуса кривизны скатной пластины и нормы внесения минеральных удобрений:

$$K = 0,427 + 0,02x_1 + 1,7e^{-3}x_2 - 4,3e^{-4}x_1^2 - 1,8e^{-6}x_2^2 + 6e^{-6}x_1x_2,$$

где x_1 – кодированное значение радиуса кривизны скатной пластины; x_2 – кодированное значение нормы внесения удобрений.

Проверка адекватности модели выполнена по F-критерию Фишера. Расчётное значение критерия составило $F = 62,1$, что превышает табличное значение при уровне значимости $p = 0,05$. Коэффициент детерминации модели составил $R^2 = 0,888$. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности регрессионной модели и возможности её использования для анализа влияния исследуемых факторов на коэффициент равномерности распределения гранул минеральных удобрений.

Анализ статистической значимости коэффициентов регрессии показал, что линейные члены x^1 и x^2 , а также квадратичный член x^{12} являются статистически значимыми ($p < 0,05$). При этом коэффициенты при членах x^2_2 и x^1x^2 оказались статистически незначимыми ($p > 0,05$), что свидетельствует о слабом

влиянии квадратичного эффекта количества гранул и взаимодействия факторов на коэффициент равномерности распределения.

Наибольшее влияние на исследуемый показатель оказывает радиус кривизны скатной пластины. Наличие значимого квадратичного члена подтверждает нелинейный характер зависимости и существование рационального значения исследуемого параметра.

Графическая интерпретация полученной регрессионной зависимости в виде поверхности отклика представлена на рисунке 3. Анализ поверхности позволяет наглядно оценить совместное влияние радиуса кривизны скатной пластины и нормы внесения минеральных удобрений на коэффициент равномерности распределения гранул.

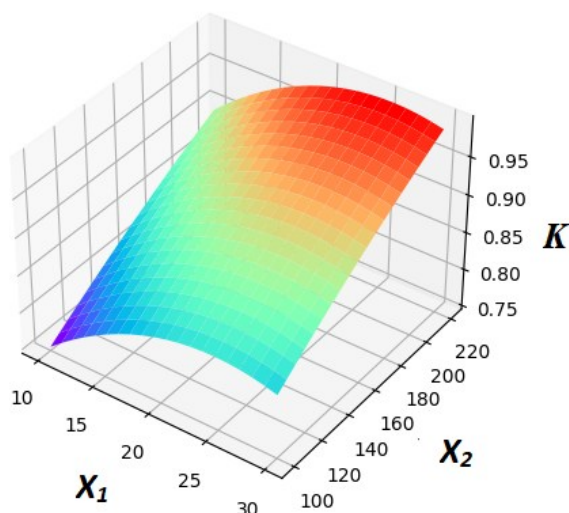


Рис. 3 – Поверхность отклика коэффициента равномерности распределения гранул минеральных удобрений в зависимости от радиуса кривизны скатной пластины и нормы внесения
Fig. 3 – Response surface of the uniformity coefficient of mineral fertilizer granule distribution depending on the curvature radius of the chute plate and the application rate

Полученная зависимость подтверждает наличие экстремума функции и существование рационального значения радиуса кривизны. Наличие квадратичного члена в уравнении регрессии свидетельствует о нелинейном характере исследуемого процесса и подтверждает, что как уменьшение, так и увеличение радиуса относительно оптимального значения приводит к ухудшению качества распределения удобрений.

Результаты численного моделирования показывают, что радиус кривизны скатной пластины является одним из определяющих конструктивных параметров рабочего органа. Именно данный параметр формирует траекторию движения гранул и оказывает непосредственное влияние на ширину полосы размещения удобрений и равномерность их распределения в почве.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности использования установленного значения радиуса

кривизны при проектировании рабочих органов для локального внесения гранулированных минеральных удобрений. Применение рационального радиуса позволяет формировать полосовую зону размещения удобрений шириной до 10 см, что способствует более полному охвату корнеобитаемого пространства растений и повышению доступности элементов питания для сельскохозяйственных культур с мочковатой корневой системой.

Выводы. По результатам теоретических исследований и численного моделирования процесса распределения гранулированных минеральных удобрений установлено, что радиус кривизны скатной пластины оказывает существенное влияние на характер движения гранул и равномерность их размещения в борозде.

На основе анализа движения гранул по криволинейной поверхности установлено, что уменьшение радиуса кривизны приводит к увеличению интенсивности столкновений

частиц и локализации удобрений в отдельных участках борозды, тогда как чрезмерное увеличение радиуса снижает эффективность поперечного перераспределения гранул.

Численным моделированием в программном комплексе Rocky DEM установлено, что зависимость коэффициента равномерности распределения удобрений от радиуса кривизны скатной пластины носит экстремальный характер. Максимальное значение коэффициента равномерности распределения $K = 0,92$ получено при радиусе кривизны $R = 20$ мм.

Установлено, что применение скатной пластины с радиусом кривизны 20 мм обеспечивает формирование устойчивой полевой зоны размещения минеральных удобрений шириной до 10 см и наиболее равномерное распределение гранул по ширине борозды.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании рабочих органов для подкорневого внесения гранулированных минеральных удобрений и совершенствовании технологий локального размещения удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Nitrogen use efficiency – a key to enhance crop productivity under a changing climate / P. Govindasamy, S.K. Muthusamy, M. Bagavathiannan, et al. // *Front. Plant Sci.* 2023. 14:1121073. doi: 10.3389/fpls.2023.1121073.
2. Current agronomic evidence on nano-urea in the nitrogen transition of cropping systems. A mini-review / Guido Fellet, Laura Pilotto, Paolo Ceecon, et al. // *European Journal of Agronomy.* 2026. Vol. 165. doi: 10.1016/j.eja.2025.127476.
3. Башкин В. Н. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения. Сообщение 1. Агрогеохимические подходы // *Агрохимия.* 2022. № 7. С. 82-96. doi: 10.31857/S0002188122070031.
4. The spatial distribution of soil nitrogen determines responses of Sorghum bicolor to banded phosphorus fertilizer / Hunter M. A., Bell M. J., van der Bom F. J. T., et al. // *Crop and Pasture Science.* 2024. Vol. 75. № 12. doi: 10.1071/CP24256.
5. Кузьменко Н. Н. Повышение эффективности комплексного удобрения под лен-долгунец // *Агрохимия.* 2020. № 8. С. 37-42. doi: 10.31857/S000218812006006X.
6. Optimizing nitrogen dynamics and agronomic efficiency through one-time root-zone targeted fertilization in maize cropping systems of Northeast China: a multifaceted assessment / Irfan M., Wang Y., Yokamo S. et al. // *Journal of Soils and Sediments.* 2026. Vol. 26, article 170. doi: 10.1007/s11368-026-04363-0.
7. Патент на полезную модель № 239031 U1 РФ, МПК A01C 5/08, A01C 7/20, A01B 15/00. Рабочий орган для разноуровневого внесения удобрений / А. А. Хазиев, Р. Ф. Сабиров, А. Р. Валиев и др.; заявитель ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». – № 2025102671; заявл. 07.02.2025; опубл. 21.11.2025. Бюл. № 33.
8. Мухаметдинов А. М., Мударисов С. Г., Хасанов Э. Р. Экспериментальная калибровка параметров контактной модели цифрового двойника почвенной среды методом дискретных элементов // *Вестник аграрной науки Дона.* 2025. Т. 18. № 1(69). С. 4-18. doi: 10.55618/20756704_2025_18_1_4-18.
9. Повышение эффективности проектирования сельскохозяйственной техники с помощью цифровых двойников / Ю. Ф. Лачуга, С. Г. Мударисов, И. М. Фархутдинов и др. // *Вестник Российской академии наук.* 2025. № 6. С. 50-58. doi: 10.7868/S3034520025060068.
10. Мударисов С. Г., Фархутдинов И. М., Гареев И. Ф. Моделирование взаимодействия анкерного сошника с почвой и семенами методом дискретных элементов: анализ тягового сопротивления и агротехнических параметров // *Российский электронный научный журнал.* 2025. № 1(55). С. 287-295. doi: 10.31563/2308-9644-2025-55-1-287-295.

References

1. Govindasamy P, Muthusamy SK, Bagavathiannan M. Nitrogen use efficiency – a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Front. Plant Sci.* 2023; 14. 1121073. doi: 10.3389/fpls.2023.1121073.
2. Fellet Guido, Pilotto Laura, Ceecon Paolo. Current agronomic evidence on nano-urea in the nitrogen transition of cropping systems. A mini-review. *European Journal of Agronomy.* 2026; Vol.165. doi: 10.1016/j.eja.2025.127476.
3. Bashkin VN. [Increasing of nitrogen use efficiency: problems and solutions. Message 1. Agrogeochemical approaches]. *Agrokhimiya.* 2022; 7. 82-96 p. doi: 10.31857/S0002188122070031.
4. Hunter MA, Bell MJ, van der Bom FJT. The spatial distribution of soil nitrogen determines responses of Sorghum bicolor to banded phosphorus fertilizer. *Crop and Pasture Science.* 2024; Vol.75. 12. doi: 10.1071/CP24256.
5. Kuzmenko NN. [Increasing the efficiency of complex fertilizer for fiber flax]. *Agrokhimiya.* 2020; 8. 37-42 p. doi: 10.31857/S000218812006006X.
6. Irfan M, Wang Y, Yokamo S. Optimizing nitrogen dynamics and agronomic efficiency through one-time root-zone targeted fertilization in maize cropping systems of Northeast China: a multifaceted assessment. *Journal of Soils and Sediments.* 2026; Vol.26. article 170. doi: 10.1007/s11368-026-04363-0.
7. Khaziev AA, Sabirov RF, Valiev AR. [Working unit for multi-level fertilizer application]. Patent № 239031 U1 RF, MPK A01C 5/08, A01C 7/20, A01B 15/00. Applicant: Kazan State Agrarian University. № 2025102671; applied 07.02.2025; published 21.11.2025. Bulletin № 33.
8. Mukhametdinov AM, Mudarisov SG, Khasanov ER. [Experimental calibration of contact model parameters for a digital twin of soil environment using discrete element method]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona.* 2025; Vol.18. 1(69). 4-18 p. doi: 10.55618/20756704_2025_18_1_4-18.
9. Lachuga YuF, Mudarisov SG, Farkhutdinov IM. [Increasing the efficiency of agricultural machinery design using digital twins]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk.* 2025; 6. 50-58 p. doi: 10.7868/S3034520025060068.
10. Mudarisov SG, Farkhutdinov IM, Gareev IF. [Modeling the interaction of an anchor opener with soil and seeds using discrete element method: analysis of draft resistance and agrotechnical parameters]. *Rossiyskiy elektronnyy nauchnyy zhurnal.* 2025; 1(55). 287-295 p. doi: 10.31563/2308-9644-2025-55-1-287-295.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Валиев Айрат Расимович – доктор технических наук, чл.-корр. АН РТ, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: ayratvaliev@mail.ru, ORCID 0000-0003-3175-6487

Хазиев Айбулат Алмазович – аспирант кафедры эксплуатации и ремонта машин Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: khaziev.aubylat@gmail.com, ORCID 0009-0008-2559-522X

Сабиров Раис Фаритович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: agromehanika116@gmail.com, ORCID 0000-0002-7270-2883

Гайнутдинов Булат Ильдусович – аспирант кафедры эксплуатации и ремонта машин Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: bulat.gaynutdinov31@gmail.com, ORCID 0009-0008-7420-5857

Вклад авторов:

А.Р. Валиев – разработка общей концепции исследования, постановка цели и задач, теоретический анализ движения гранул, формулировка выводов, научное редактирование текста;

А.А. Хазиев – разработка конструктивной схемы рабочего органа, проведение численного моделирования в программном комплексе Rocky DEM, обработка первичных данных моделирования;

Р.Ф. Сабиров – участие в планировании вычислительного эксперимента, статистическая обработка результатов, построение регрессионных моделей и поверхностей отклика;

Б.И. Гайнутдинов – сбор и анализ литературных источников, оформление таблиц и графических материалов, подготовка рукописи к публикации.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 17.03.2026; одобрена после рецензирования 22.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Valiev Ayrat Rasimovich – Doctor of Technical Sciences, corresponding member of Tatarstan Academy of Sciences, Professor of Machine Operation and Repair Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: ayratvaliev@mail.ru, ORCID 0000-0003-3175-6487

Khaziev Aybulat Almazovich – post-graduate student of Machine Operation and Repair Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: khaziev.aubylat@gmail.com, ORCID 0009-0008-2559-522X

Sabirov Rais Faritovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Machine Operation and Repair Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: agromehanika116@gmail.com, ORCID 0000-0002-7270-2883

Gaynutdinov Bulat Ildusovich – post-graduate student of Machine Operation and Repair Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: bulat.gaynutdinov31@gmail.com, ORCID 0009-0008-7420-5857

Contribution of the authors:

A.R. Valiev – Research concept development, Problem statement, Theoretical analysis of granule motion, Formulation of conclusions, Scientific editing;

A.A. Khaziev – Design of the working unit, Numerical simulation in Rocky DEM, Primary data processing;

R.F. Sabirov – Planning of computational experiments, Statistical analysis, Regression modelling and response surface construction;

B.I. Gaynutdinov – literature review, Preparation of tables and figures, Manuscript formatting.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 17.03.2026; revised 22.06.2026; accepted 25.06.2026.



**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЗАЗОРОВ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНВЕРТОПЛАНА ТИПА «БАРС» ДЛЯ ЗАДАЧ АГРАРНОГО
МОНИТОРИНГА**

© 2026 Дмитриев А. В. ✉, Зинуров В. Э., Соловьев А. В., Прец М. А., Зангиров А. Ф.

*Казанский государственный энергетический университет
(г. Казань, Российская Федерация)
✉ ieremiada@gmail.com*

Реферат. Технологии точного земледелия требуют регулярного высокочастотного мониторинга сельхозугодий с получением сопоставимых карт состояния посевов. Гибридные беспилотные аппараты вертикального взлета и посадки (конвертопланы) являются перспективным инструментом для решения этих задач, однако их эксплуатация в инфраструктуре дропортов предъявляет особые требования к конструкции, в частности к технологическим зазорам в системе раскрытия балок силовой установки и люков. Цель работы — численное моделирование влияния конструктивных зазоров на аэродинамические характеристики конвертоплана «БАРС», оценка их влияния на эксплуатационные показатели аграрного мониторинга и выработка инженерных рекомендаций. Исследование выполнено с использованием 3D-модели и пакета ANSYS Fluent. Рассмотрены три варианта зазоров: 0, 10 и 30 мм. Установлено, что щелевые утечки в зоне «люк – обшивка» приводят к образованию вихревых структур и зон отрыва потока, вызывая снижение аэродинамического качества К. Максимальное К уменьшается с 13,1 (0 мм) до 9,8 (10 мм) и 6,6 (30 мм), рост сопротивления достигает 10 – 40%. В пересчете на эксплуатационные показатели это соответствует сокращению длительности вылета на 9–13% (при зазоре 10 мм) и на 29% (при зазоре 30 мм). Обследуемая площадь за один вылет снижается на 11 – 18 га и 35 – 40 га соответственно. Удельная стоимость мониторинга возрастает: при зазоре 10 мм — до 71 – 75 руб./га (эконом-сегмент) и 440–575 руб./га (высокая детализация); при зазоре 30 мм — до 92–107 руб./га и 564–705 руб./га соответственно. Минимизация технологических зазоров и применение уплотняющих решений в узлах люков являются критически важными мерами, обеспечивающими производительность, регулярность облетов и экономическую эффективность мониторинга.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, конвертоплан, дропорт, аэродинамическое качество, агромониторинг, точное земледелие, VTOL-платформы.

Для цитирования: Влияние конструктивных зазоров на аэродинамические характеристики конвертоплана типа «БАРС» для задач аграрного мониторинга / А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров, А.В. Соловьев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 79-87. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-79-87

**INFLUENCE OF STRUCTURAL GAPS ON THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF
“BARS” TYPE TILTROTOR FOR AGRICULTURAL MONITORING**

© 2026 Dmitriev A. V. ✉, Zinurov V. E. , Solovlev A. V., Pretz M. A., Zangirov A. F.

*Kazan State Power Engineering University
(Kazan, Russian Federation)
✉ ieremiada@gmail.com*

Abstract. Precision farming technologies require regular, highly detailed monitoring of agricultural lands, producing comparable crop condition maps. Hybrid vertical takeoff and landing unmanned aerial vehicles (tiltrotors) are a promising tool for solving these problems, however, their use in drone port infrastructure places special demands on their design, particularly on clearances in the powerplant beam and hatch opening systems. The aim of the study is to numerically simulate the effect of design gaps on the aerodynamic characteristics of Bars-type tiltrotor, assess their impact on the operational performance of agricultural monitoring and develop engineering recommendations. The study was conducted using a 3D model and ANSYS Fluent package. Three gap options were considered: 0, 10 and 30 mm. It was found that crevice leaks in the hatch-to-skin zone lead to the formation of vortex structures and flow separation zones, causing a decrease in the aerodynamic quality K. The maximum K decreases from 13.1 (0 mm) to 9.8 (10 mm) and 6.6 (30 mm), with drag increasing by 10-40%. In terms of operational performance, this corresponds to a reduction in takeoff duration by 9-13% (with a gap of 10 mm) and by 29% (with a gap of 30 mm). The area surveyed per flight is reduced by 11-18 hectares and 35-40 hectares, respectively. The specific cost of monitoring increases: with a 10 mm clearance, it reaches 71-75 rubles/ha (economy segment) and 440-575 rubles/ha (high detail); with a 30 mm clearance, it reaches 92-107 rubles/ha and 564-705 rubles/ha, respectively. Minimizing technological gaps and using sealing solutions in hatch assemblies are critical measures to ensure productivity, flight regularity and

cost-effectiveness of monitoring.

Key words: unmanned aerial vehicles, tiltrotor, droneport, aerodynamic quality, agricultural monitoring, precision farming, VTOL platforms.

For citation: Dmitriev AV, Zinurov VE, Solovev AV, et al. [Influence of structural gaps on the aerodynamic characteristics of "BARS" type tiltrotor for agricultural monitoring]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol. 21. 2(82). 79-87 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-79-87

Введение. В условиях стремительной цифровизации агропромышленного комплекса и нарастающих климатических вызовов возрастают требования к оперативности и точности мониторинга сельскохозяйственных угодий [1]. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) заняли ключевое место в технологиях точного земледелия благодаря высокой пространственно-временной детализации данных, гибкости применения и возможности интеграции с аналитическими платформами. Аэросъемка позволяет в реальном времени получать детализированные данные о состоянии посевов, влажности почвы, наличии патогенов и стрессовых зон, что способствует своевременному принятию управленческих решений [2]. Результативность мониторинга особенно критична на участках со сложными гидрологическими режимами (например, пойменные луга), для которых обоснованы специальные инженерно-технологические подходы к поверхностному улучшению [3].

Во многих странах мира доля сельскохозяйственных операций, выполняемых с использованием дронов, неуклонно растет: от оценки биомассы и определения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) до точечной обработки и внесения удобрений. БПЛА значительно снижают трудозатраты и расход ресурсов: экономия воды, средств защиты растений и удобрений достигает десятков процентов [4, 5].

Современная тенденция заключается в интеграции БПЛА с системами искусственного интеллекта и инфраструктурой Интернета вещей (IoT-инфраструктурой). Применение мультиспектральной, гиперспектральной и тепловой съемки в сочетании с последующей обработкой данными модулями машинного обучения позволяет перейти от фиксации изображений к потоковой аналитике, автоматическим сигналам тревоги и формированию предписаний для технологических операций. Это обеспечивает значительное сокращение временного интервала между наблюдением и практическим действием, что особенно важно при работе на мозаичных полях и в условиях погодной неопределенности [6].

Согласно отраслевому отчету DJI Agriculture, к середине 2024 года по всему миру в сельском хозяйстве эксплуатировалось свыше 300 тыс. агродронов, обработавших в совокупности более 500 млн. гектаров сельхозугодий. Широкое внедрение этих технологий позволило добиться значительной экономии ресурсов: по оценкам, суммарно было сэкономлено около 210 млн. тонн воды и 47 тыс. тонн пестицидов, выбросы парниковых газов сократились на 25,7 млн тонн. Эти цифры наглядно

показывают экологические и производственные преимущества беспилотной авиации в сельском хозяйстве.

Несмотря на значительные преимущества, широко применяемые в настоящее время мультикоптерные и самолетные БПЛА, обладают рядом ограничений, снижающих их эффективность при эксплуатации на больших территориях. Квадрокоптеры и другие много-роторные системы обеспечивают высокую маневренность и точность полета на малых высотах, однако ограничены по продолжительности и дальности полета, которая, как правило, не превышает нескольких десятков минут и нескольких километров радиуса из-за ограниченной емкости аккумуляторных батарей. В свою очередь, аппараты самолетной аэродинамической схемы более энергоэффективны и способны охватывать значительные площади, но требуют наличия взлетно-посадочной полосы или применения специализированных катапульт, что затрудняет их использование в полевых условиях.

Перспективным направлением развития являются гибридные БПЛА вертикального взлета и посадки (VTOL), в том числе конвертопланы с поворотными винтами [7]. Конвертоплан сочетает свойства вертолета и самолета. Он осуществляет вертикальный взлет и посадку, как много-роторный аппарат, но в крейсерском режиме переходит в самолетную конфигурацию с горизонтальным расположением несущих винтов. Такая конструкция обеспечивает высокую скорость и дальность полета при сравнительно низком энергопотреблении. Это позволяет отказаться от необходимости наличия взлетно-посадочной полосы и одновременно повысить эффективность полетов на большие дистанции.

VTOL-платформы рассматриваются как наиболее инновационный класс беспилотных авиационных систем, которому уделяется особое внимание благодаря уникальным возможностям конвертопланов и других гибридных схем (поворотное крыло, комбинированные решения) в различных сферах применения - от сельского хозяйства и картографирования до грузовых перевозок. Использование гибридных БПЛА может существенно расширить спектр задач, решаемых беспилотными системами, предоставляя инженерам и специалистам агропромышленного комплекса новые возможности для выбора оптимальных технологий мониторинга и обработки сельскохозяйственных угодий [8].

Для эффективного использования беспилотных систем в агромониторинге требуется развитая наземная инфраструктура, обеспечивающая автоматизацию и непрерывность

работы. Одним из перспективных решений является создание сетей дронопортов - автономных станций посадки и обслуживания БПЛА [9]. Такие комплексы оснащаются системами автоматической подзарядки или замены аккумуляторов, средствами навигации и связи, что позволяет исключить простои между вылетами и обеспечить быстрый возврат к выполнению задач.

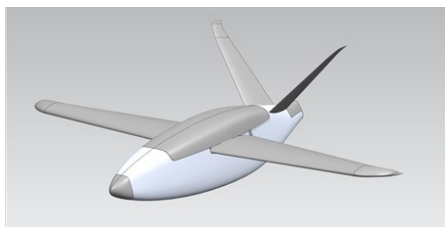
В российских условиях значение подобных решений усиливается макроэкономическими факторами: стабильность зернового производства и эффективное использование земельных ресурсов остаются приоритетными задачами агропромышленного комплекса [10, 11]. При этом цифровая трансформация и совершенствование отраслевого регулирования выступают важными условиями, ускоряющими внедрение беспилотных технологий в практику аграрного менеджмента [12].

БПЛА, предполагаемые к эксплуатации в сети дронопортов, должны обладать следующими ключевыми требованиями: надежность, предсказуемость поведения в переходных режимах (взлет, посадка, раскрытие и уборка узлов конструкции), минимальная удельная энергозатрата и др. Для конвертопланов особую значимость приобретают аэродинамические потери, обусловленные технологическими зазорами в механизмах раскрытия (люки, створки, балочные системы). Наличие таких зазоров инициирует образование вихревых структур, повышает аэродинамическое сопротивление и снижает устойчивость полета на

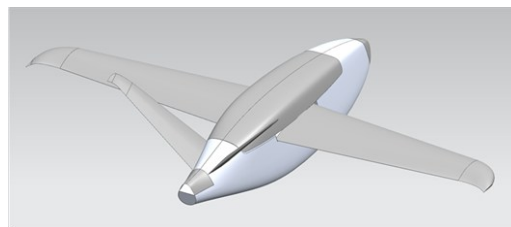
малых скоростях, которые характерны для операций в инфраструктуре дронопортов. В этой связи актуальной является инженерная оптимизация конструкций конвертопланов, направленная на минимизацию и нормирование допустимых зазоров, а также на оценку их влияния на аэродинамическое качество и энергетическую эффективность в режимах, критичных для задач агромониторинга [13].

Целью работы является численное моделирование влияния конструктивных зазоров в системе раскрытия балок и люков конвертоплана на его аэродинамические характеристики, а также оценка последствий данного влияния для эксплуатационных показателей задач аграрного мониторинга (производительность, стоимость обработки площади) и разработка инженерных рекомендаций по минимизации потерь.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования являлся БПЛА конвертопланного типа «БАРС» длиной 2070 мм и размахом крыла 3330 мм, оснащенный убираемыми внутрь фюзеляжа балками силовой установки и V-образным хвостовым оперением (рис. 1, а и б). Предметом исследования являлось определение влияния технологических зазоров в системе раскрытия, формируемых между подвижным люком и обшивкой фюзеляжа, на аэродинамические характеристики и устойчивость полета в режимах, характерных для эксплуатации в сети дронопортов, включая низко- и среднескоростные полеты, а также переходные фазы взлета и посадки.



а / а



б / б

Рис. 1 – Внешний вид БПЛА типа «БАРС»: (а) вид спереди; (б) вид сзади
Fig. 1 – External view of the BARS-type UAV: (a) front view; (b) rear view

На рисунке 2 представлена спроектированная система лучей в сложенном состоянии внутри фюзеляжа. Для удобства понимания конструкции подвижного люка на изображении не показан. Данный вариант иллюстрирует взаимное расположение силовых элементов и механизмов в сложенном положении, что позволяет более наглядно продемонстрировать потенциальные зоны образования зазоров, влияющих на аэродинамическое качество аппарата.

Для численных экспериментов была построена твердотельная 3D-модель аппарата с раскрываемыми балками. Рассматривались три конфигурации проема люка: без зазора - 0 мм и с зазорами от 10 до 30 мм. Во всех случаях внешние обводы фюзеляжа, крыла и оперения оставались неизменными; варьировалась только величина просвета

вдоль кромок подвижного люка, что позволило изолировать влияние утечек и срывных структур, формирующихся в области щелей.

В условиях эксплуатации в агропромышленном комплексе зазоры в системе раскрытия формируются и изменяются не только как результат технологических допусков, но и вследствие циклических операций «взлет-посадка» в районе дронопорта, вибрационных нагрузок и загрязнения (пыль, растительные остатки и др.), характерных для работы над полями. Поэтому диапазон 0-30 мм рассматривается как технически обоснованная область возможных состояний узла, определяющих интенсивность утечек и особенности структуры обтекания в зоне люка при повторяемых полетных миссиях.

Аэродинамические расчеты выполнялись в программном комплексе ANSYS Fluent,

реализующем метод конечных объемов (FVM). В качестве модели турбулентности использовалась Transition SST (вариант Ментера), позволяющая воспроизводить ламинарно-переходные и срывные явления в окрестности щелей и кромок, а также в предсрывных

режимах. Также использовалось уравнение энергии. Расчеты выполнялись в стационарной постановке RANS с двойной точностью. Критериями сходимости служили снижение невязок ниже 10^{-5} и стабилизация интегральных коэффициентов аэродинамических сил.

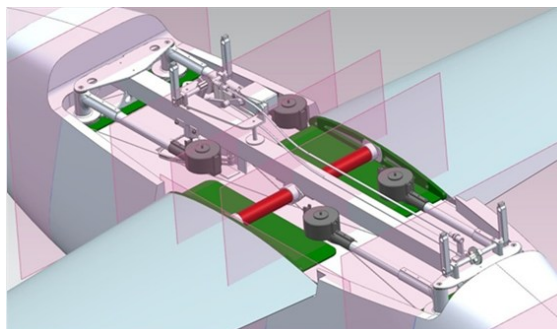


Рис. 2 – Система лучей (балок силовой установки) в сложенном состоянии внутри фюзеляжа (для наглядности сдвижной люк не показан)

Fig. 2 – System of beams (powerplant beams) in the folded state inside the fuselage (for clarity, the sliding hatch is not shown)

Для внешнего обтекания применялась полигонально-гексагональная сетка типа poly-hexcore, сочетающая гексаэдральное ядро с полиэдральными элементами в зонах сложной геометрии (проем люка, сопряжения поверхностей). В приповерхностных областях формировались призматические подслои для корректного разрешения пограничного слоя. Общее число элементов составило около 4,336 млн при максимальном размере ячейки 20 мм. Проверка независимости от разбиения показала инвариантность коэффициентов подъемной силы и сопротивления при дополнительном уплотнении сетки.

Моделирование проводилось в широком диапазоне углов атаки, охватывающем крейсерные и предсрывные значения, релевантные полетам над сельскохозяйственными угодьями и операциям в районе дронопортов. Скорость набегающего потока задавалась в диапазоне 90-105 км/ч, соответствующем эксплуатационным условиям. Радиус расчетной области составлял не менее десяти хорд крыла. На выходной границе поддерживалось фиксированное статическое давление.

Основными метриками служили коэффициенты подъемной силы C_y и сопротивления C_x , аэродинамическое качество $K = C_y/C_x$. Дополнительно фиксировался диапазон углов

атаки, обеспечивающих устойчивый полет, и запас по срыву.

Для агроинженерной интерпретации полученных коэффициентов дополнительно оценивалось влияние изменения аэродинамического качества на энергетическую эффективность миссии мониторинга в сценарии «поле-дропоорт». В этом случае результаты по C_x , C_y и K рассматривались не только как характеристики планера, но и как фактор производительности агромониторинга при фиксированных параметрах съёмки, заданных регламентом полётного задания. Съёмка, как правило, выполняется с высот порядка 80-120 м (пространственное разрешение составляет 2-3 см/пикс) с обеспечением продольного и поперечного перекрытия изображений не ниже 70 %.

Результаты и обсуждение. В результате серии численных расчетов получена детализированная картина внешнего обтекания БПЛА конвертопланного типа «БАРС» в области сдвижного люка и зоны размещения убираемых балок силовой установки. Визуализация распределения скорости по линиям тока позволила выявить закономерности формирования возмущенного следа и локальных вихревых структур над фюзеляжем и крылом (рис. 3).

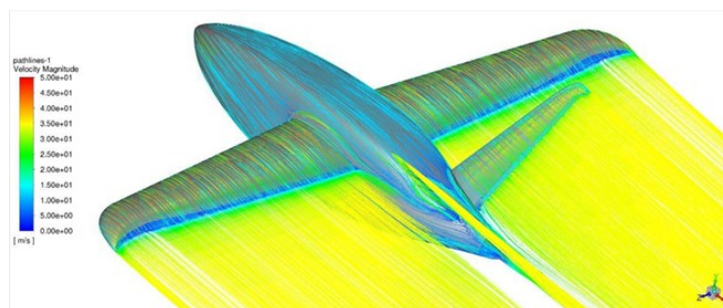


Рис. 3 – Профиль скоростей (линии тока) исследуемого БПЛА

Fig. 3 – Velocity profile (streamlines) of the UAV under study

Для базовой конфигурации без зазора поток на верхней поверхности крыла и фюзеляжа в диапазоне малых и средних углов атаки остается преимущественно пристенным. Вихревые вихри, формирующиеся у законцовок крыла, имеют характерную интенсивность и не вызывают преждевременного срыва потока на корневой части крыла. При введении технологического зазора между кромками люка и обшивкой от 10 до 30 мм в зоне прорези формируются локальные утечки, сопровождающиеся генерацией квазистационарных вихревых образований. Эти вихри взаимодействуют с пограничным слоем над фюзеляжем, увеличивают его толщину и инициируют переходную турбулентность. В результате усиливается сопротивление и появляются зоны частичного отрыва потока в области сопряжения «люк-обшивка». Деформация изолиний скорости особенно заметна в районе хвоста БПЛА. При увеличении зазора наблюдается «размазывание» следа в продольном направлении и рост возмущений набегающего потока на *V*-образное оперение, что ухудшает условия обтекания оперения и может снижать запас по устойчивости управления на малых скоростях.

Количественные результаты согласуются с выявленной картиной обтекания. На рисунке 4 представлена зависимость аэродинамического качества K от угла атаки α для трех вариантов конфигурации: без зазора, с зазором 10 мм и с зазором 30 мм. Во всех случаях наблюдается характерная зависимость: при малых углах атаки качество сначала возрастает вследствие опережающего роста подъемной силы по сравнению с сопротивлением, достигая максимальных значений в диапазоне α от 3 до 5°. В этом диапазоне подъемная

сила увеличивается почти линейно, тогда как сопротивление остается близким к минимальному уровню, что обеспечивает наиболее выгодное соотношение C_y/C_x . Данные углы атаки соответствуют оптимальным крейсерским режимам, при которых затраты энергии на преодоление сопротивления минимальны при заданной подъемной силе. Далее, при дальнейшем увеличении угла атаки, аэродинамическое качество начинает снижаться, что связано с ростом индуктивного сопротивления и развитием срывных явлений. Для задач агромониторинга указанный диапазон α от 3 до 5° следует рассматривать как предпочтительный с точки зрения получения воспроизводимых данных дистанционного зондирования при минимальных энергетических затратах.

Максимальное качество конфигурации составляет порядка 13,1 при зазоре 0 мм. При зазоре 10 мм максимальное значение снижается до 9,8, а при зазоре 30 мм до 6,6. Падение качества носит системный характер по всему диапазону углов атаки: кривые смещаются вниз и становятся более пологими, что указывает на общее снижение эффективности как в крейсерских, так и в предсрывных режимах.

С агроинженерной точки зрения снижение K уменьшает энергетическую эффективность маршрутных пролётов над угодьями при фиксированных параметрах съёмки. В картографических миссиях с регламентными перекрытиями площадь обследования за вылет определяется доступной продолжительностью полёта при выдерживании скорости и высоты, поэтому ухудшение K приводит к сокращению площади за один вылет и увеличению числа вылетов для покрытия заданного массива полей, особенно при повторных облётах в агрономически значимые временные окна.

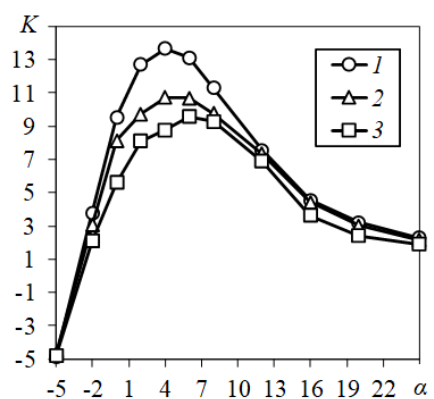


Рис. 4 – Аэродинамическое качество K в зависимости от угла атаки α при различных значениях зазора между люком и корпусом, мм: 1 - 0; 2 - 10; 3 - 30

Fig. 4 – Aerodynamic efficiency K versus angle of attack α at different values of the gap between the hatch and the fuselage, mm: 1 - 0; 2 - 10; 3 - 30

Вблизи нулевых углов атаки различия между вариантами наиболее показательны (рис. 5, а). Так, при $\alpha \approx 0^\circ$ расчетное значение C_y для базовой конфигурации составляет около 0,916, тогда как для вариантов с зазором 10 и 30 мм оно снижается до 0,325 и 0,287 соответственно. Таким образом, даже

умеренный зазор по кромке люка приводит к кратному снижению несущих свойств. С ростом угла атаки кривые $C_y(\alpha)$ сохраняют линейность, однако требуемые значения α для устойчивого горизонтального полета существенно возрастают: при отсутствии зазора устойчивая работа в диапазоне

эксплуатационных скоростей 90-105 км/ч достигается при $\alpha \approx 6-6,5^\circ$, для зазора 10 мм при $\alpha \approx 8-9^\circ$, для зазора 30 мм при $\alpha \approx 12,5-13^\circ$. Этот сдвиг сопровождается непропорциональным ростом сопротивления и дополнительным падением аэродинамического качества.

Увеличение зазора приводит к общему росту сопротивления, особенно при больших углах атаки, тогда как минимальные значения C_x наблюдаются в области α от 11 до 13° (рис. 5, б).

При фиксированной скорости горизонтального полета относительное увеличение требуемой мощности оказывается прямо

пропорциональным росту коэффициента лобового сопротивления C_x . Мощность силовой установки определяется выражением:

$$P = F_x W, \quad (1)$$

где F_x - сила аэродинамического сопротивления, Н; W - скорость полета БПЛА, м/с.

Сила аэродинамического сопротивления F_x рассчитывается по выражению:

$$F_x = C_x \frac{\rho W^2}{2} S, \quad (2)$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м³; S - опорная площадь крыла, м².

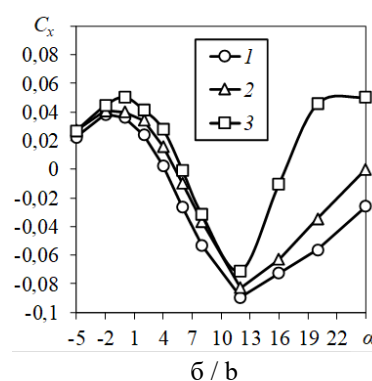
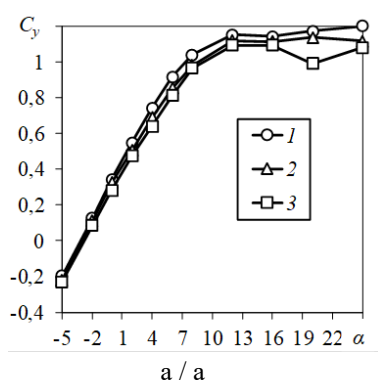


Рис. 5 – Зависимость коэффициента подъемной силы C_y (а) и коэффициента сопротивления C_x (б) от угла атаки α при различных значениях зазора между люком и корпусом, мм: 1 - 0; 2 - 10; 3 - 30
Fig. 5 – Dependence of the lift coefficient C_y (a) and the drag coefficient C_x (b) on the angle of attack α at different values of the gap between the hatch and the fuselage, mm: 1 - 0; 2 - 10; 3 - 30

Согласно выражениям (1) и (2) при увеличении технологического зазора до 10 мм сопротивление возрастает на 10-15% по сравнению с базовой конфигурацией, а при зазоре 30 мм примерно на 40%. Указанное возрастание сопротивления эквивалентно пропорциональному увеличению мощности, необходимой для работы силовой установки в крейсерском режиме. Для беспилотных платформ, функционирующих в составе сети дронопортов по циклическому графику, это приводит к сокращению продолжительности полетного интервала между сервисными циклами либо к уменьшению радиуса действия при фиксированном энергетическом бюджете. В масштабах флота, включающего несколько аппаратов и десятки вылетов в сутки, накопительный эффект роста C_x трансформируется в значительные потери производительности агромониторинга, измеряемые в сокращении площади обследуемых сельскохозяйственных угодий в расчете на сутки.

Количественно данный эффект может быть оценен через энергетический баланс полетной миссии. При фиксированном энергетическом бюджете бортового источника питания продолжительность полета в первом приближении обратно пропорциональна потребной мощности силовой установки $1/P$. В таком случае увеличение P на 10-15% при зазоре 10 мм соответствует уменьшению длительности вылета примерно на 9-13%, а при росте

P на 40% (зазор 30 мм) приводит к снижению длительности вылета примерно на 29%. При неизменных параметрах съёмки и маршрутизации это эквивалентно пропорциональному сокращению площади обследования за один вылет и снижению суточной производительности комплекса мониторинга.

В прикладном и экономическом аспекте снижение суточной производительности прямо отражается на удельной стоимости агромониторинга в расчёте на 1 га при неизменных постоянных затратах (инфраструктура дронопорта, персонал, подготовка, обработка данных и др.). Стоимость услуг аэрофотосъёмки и ортофотопланов для площадных объектов варьируется от 6500 руб./км², что соответствует 65 руб./га до 15 000 руб./км², что соответствует 50 руб./га. При более высокой детализации стоимость составляет порядка 400-500 руб./га. Таким образом, при снижении производительности на 9-13% (зазор 10 мм) удельная стоимость мониторинга увеличивается примерно на 10-15%. Например, при исходном диапазоне 65-150 руб./га расчётные значения составят порядка 71-75 руб./га и 165-173 руб./га соответственно. При снижении производительности на 29% (зазор 30 мм) рост удельной стоимости достигает примерно 41%. Таким образом, увеличение зазоров приводит не только к ухудшению аэродинамических показателей, но и к количественно выражаемому росту затрат на мониторинг

сельскохозяйственных угодий в пересчёте на единицу площади. Оценочные результаты были получены на основании данных, представленных в работе [14].

Выводы. 1. Выполненное CFD-исследование подтвердило, что технологические зазоры в зоне сдвижного люка конвертоплана являются значимым источником аэродинамических потерь. Щелевые утечки формируют квазистационарные вихревые структуры, утолщают пограничный слой и провоцируют локальные отрывы потока, что системно ухудшает несущие и энергетические характеристики аппарата.

2. Аэродинамическое качество K чувствительно к величине зазора во всём диапазоне углов атаки: его максимум уменьшается с 13,1 (герметичная конфигурация) до 9,8 (зазор 10 мм) и до 6,6 (зазор 30 мм). Для сохранения требуемой подъёмной силы аппарат с зазором вынужден работать на больших углах атаки, что сопровождается ростом сопротивления и сокращением запаса по срыву.

3. Увеличение зазоров вызывает рост коэффициента сопротивления и, как следствие, потребной мощности на крейсерских режимах: при зазоре 10 мм – на 10-15%, при 30 мм – до 40% относительно базовой конфигурации.

4. Для сохранения производительности комплекса мониторинга рекомендуется нормировать допустимые зазоры в узлах раскрытия на уровне не более 10 мм, а также предусматривать применение уплотнительных контуров и систем самоочистки от пыли и растительных остатков. Экономический ущерб от деградации конструкции (рост стоимости мониторинга до 41%) превышает затраты на внедрение данных мер герметизации.

5. При планировании исследований на БПЛА с эксплуатационным износом узлов следует закладывать снижение площади облёта за один вылет на 10-30% относительно паспортных данных. В технико-экономическое обоснование закупок БПЛА для задач точного земледелия необходимо включать критерий герметичности силовых отсеков как фактор, напрямую влияющий на удельную стоимость обработки гектара.

Сведения о финансировании. Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году АН РТ гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики РТ соглашение № 14/2024-ФИП от 24.12.2024.

Литература

- Guebsi R., Mami S., Chokmani K. Drones in precision agriculture: a comprehensive review of applications, technologies, and challenges // *Drones*. 2024. Vol. 8. No. 11. Article 686. doi: 10.3390/drones8110686.
- Agrawal J., Arafat I. Transforming farming: a review of AI-powered UAV technologies in precision agriculture // *Drones*. 2024. Vol. 8. No. 11. Article 664. doi: 10.3390/drones8110664.
- Техника и технология поверхностного улучшения пойменных лугов Республики Татарстан / Ф. Н. Сафиоллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 17. № 4 (68). С. 50-55. doi: 10.12737/2073-0462-2023-50-55.
- A systematic review on the application of UAV-based thermal remote sensing for assessing and monitoring crop water status in crop farming systems / H. S. Ndlovu, J. Odindi, M. Sibanda, et al. // *International Journal of Remote Sensing*. 2024. Vol. 45. No. 15. P. 4923-4960. doi: 10.1080/01431161.2024.2368933
- Беляева А. С., Никитина А. А. О проблемах и перспективах цифровой трансформации отечественного АПК // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37, № 1. С. 34-40. doi: 10.53859/02352451_2023_37_1_34.
- Machine learning methods for precision agriculture with UAV imagery: A review / T. B. Shahi, C.-Y. Xu, A. Neupane, et al. // *Electronic Research Archive*. 2022. Vol. 30. No. 12. P. 4277-4317. doi: 10.3934/era.2022218.
- Design and validation of a new tilting rotor VTOL drone: structural optimization, flight dynamics, and PID control / H. Gong, W. He, S. Hou, et al. // *Sensors*. 2025. Vol. 25. No. 11. Article 3537. doi: 10.3390/s25113537.
- A review on vertical take-off and landing (VTOL) tilt-rotor and tilt-wing unmanned aerial vehicles (UAVs) / A. Misra, S. Jayachandran, S. Kenche, et al. // *Journal of Engineering*. 2022. Article 1803638. doi: 10.1155/2022/1803638
- Grlj C. G., Krznar N., Pranjić M. A decade of UAV docking stations: a brief overview of mobile and fixed landing platforms // *Drones*. 2022. Vol. 6. No. 1. Article 17. doi: 10.3390/drones6010017.
- Современное состояние зернового производства в Российской Федерации / Д. И. Файзрахманов, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 16. № 2 (62). С. 138-142. doi: 10.12737/2073-0462-2021-138-142.
- Криулина Е. Н., Катков К. А., Оганян Л. Р. Методические подходы к прогнозированию урожайности зерновых культур в Ставропольском крае // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37, № 5. С. 85-90. doi: 10.53859/02352451_2023_37_5_85.
- Государственное регулирование аграрного сектора в условиях санкций и развития цифровой экономики / Э. Ф. Амирова, И. Н. Сафиуллин, Л. Г. Ибрагимов и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. № 3 (54). С. 133-137. doi: 10.12737/article_5db987940f8763.55129461.
- Оптико-электронные высотомеры-скоростемеры на основе полупроводниковых лазеров для БПЛА / В. Г. Вильнер, А. И. Ларюшин, А. С. Рябокуль // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2015. № 5-6. С. 127-133.
- Экономическая эффективность применения беспилотных летательных аппаратов как элемента цифровизации растениеводства / Ю. И. Бершицкий, А. Р. Сайфетдинов, А. А. Максименко, Д. А. Елфимов // *Вестник Академии знаний*. 2024. № 2(61). С. 66-69.

References

1. Guebsi R, Mami S, Chokmani K. Drones in precision agriculture: a comprehensive review of applications, technologies and challenges. *Drones*. 2024; Vol.8. No.11. Article 686. doi: 10.3390/drones8110686.
2. Agrawal J, Arafat I. Transforming farming: a review of AI-powered UAV technologies in precision agriculture. *Drones*. 2024; Vol.8. No.11. Article 664. doi: 10.3390/drones8110664.
3. Safiollin FN, Valiev AR, Khismatullin MM. [Technique and technology for surface improvement of flood-plain meadows of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.17. 4 (68). 50-55 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-50-55.
4. Ndlovu HS, Odindi J, Sibanda M. A systematic review on the application of UAV-based thermal remote sensing for assessing and monitoring crop water status in crop farming systems. *International Journal of Remote Sensing*. 2024; Vol.45. No.15. 4923-4960 p. doi: 10.1080/01431161.2024.2368933
5. Belyaeva AS, Nikitina AA. [On the problems and prospects of digital transformation of domestic agro-industrial complex]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 1. 34-40 p. doi: 10.53859/02352451_2023_37_1_34.
6. Shahi TB, Xu CY, Neupane A. Machine learning methods for precision agriculture with UAV imagery: a review. *Electronic Research Archive*. 2022; Vol.30. No.12. 4277-4317 p. doi: 10.3934/era.2022218.
7. Gong H, He W, Hou S. Design and validation of a new tilting rotor VTOL drone: structural optimization, flight dynamics, and PID control. *Sensors*. 2025; Vol.25. No.11. Article 3537. doi: 10.3390/s25113537.
8. Misra A, Jayachandran S, Kenche S. A review on vertical take-off and landing (VTOL) tilt-rotor and tilt-wing unmanned aerial vehicles (UAVs). *Journal of Engineering*. 2022; Article 1803638. doi: 10.1155/2022/1803638
9. Grlj CG, Krznar N, Pranjić M. A decade of UAV docking stations: a brief overview of mobile and fixed landing platforms. *Drones*. 2022; Vol.6. No.1. Article 17. doi: 10.3390/drones6010017.
10. Fayzrakhmanov DI, Valiev AR, Ziganshin BG. [Current state of grain production in the Russian Federation]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 2 (62). 138-142 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-138-142.
11. Kriulina EN, Katkov KA, Oganyan LR. [Methodological approaches to forecasting grain yields in Stavropol Krai]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 5. 85-90 p. doi: 10.53859/02352451_2023_37_5_85.
12. Amirova EF, Safiullin IN, Ibragimov LG. [State regulation of the agricultural sector in the context of sanctions and digital economy development]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; Vol.14. 3 (54). 133-137 p. doi: 10.12737/article_5db987940f8763.55129461.
13. Vilner VG, Laryushin AI, Ryabokul AS. [Optical-electronic altitude-speed meters based on semiconductor lasers for UAVs]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2015; 5-6. 127-133 p.
14. Bershtskiy YuI, Sayfetdinov AR, Maksimenko AA, Elfimov DA. [Economic efficiency of using unmanned aerial vehicles as an element of digitalization of crop production]. *Vestnik Akademii znaniy*. 2024; 2(61). 66-69 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Дмитриев Андрей Владимирович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Казанского государственного энергетического университета (420066, Российская Федерация, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: ieremiada@gmail.com, ORCID 0000-0001-8979-4457

Зинуров Вадим Эдуардович - кандидат технических наук, и.о. зав. кафедрой инженерной графики Казанского государственного энергетического университета (420066, Российская Федерация, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: vadd_93@mail.ru, ORCID 0000-0002-1380-4433

Соловьев Александр Вячеславович - руководитель МКБ «Энергия взлета», аспирант, действующий пилот БПЛА, инженер-конструктор БПЛА Казанского государственного энергетического университета (420066, Российская Федерация, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: rsmodels.ru@yandex.ru

Прец Мария Арнольдовна - старший преподаватель кафедры инженерной графики Казанского государственного энергетического университета (420066, Российская Федерация, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: precmari@gmail.com, ORCID 0009-0009-4434-3906

Зиангиров Айдар Фанлевич - ассистент кафедры инженерной графики Казанского государственного энергетического университета (420066, Российская Федерация, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: zinaydar@mail.ru, ORCID 0009-0001-4025-828X

Вклад авторов:

А.В. Дмитриев - концептуализация исследования, разработка методологии численного моделирования, валидация полученных результатов, критический анализ и редактирование рукописи;

В.Э. Зинуров - формирование общей структуры статьи, постановка исследовательской задачи, анализ и интерпретация результатов численного моделирования, подготовка исходного текста рукописи, доработка выводов и инженерных рекомендаций;

А.В. Соловьев - разработка и уточнение конструктивной схемы БПЛА типа «БАРС», предоставление исходных технических данных по конвертоплану, экспертная оценка конструктивных зазоров и эксплуатационных режимов БПЛА, участие в интерпретации результатов с позиции практического применения;

М.А. Прец - подготовка и обработка графических материалов, визуализация результатов, оформление расчетных данных, участие в подготовке разделов «Условия, материалы и методы» и «Результаты и обсуждение»;

А.Ф. Зиангиров - обработка расчетных данных, систематизация литературных источников, техническое оформление рукописи, участие в подготовке библиографического списка и проверке соответствия текста требованиям журнала.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 18.09.2025; одобрена после рецензирования 24.03.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Dmitriev Vladimirovich Andrey – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technological Processes and Production Automation Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russian Federation), e-mail: ieremiada@gmail.com, ORCID 0000-0001-8979-4457

Zinurov Vadim Eduardovich – Ph.D. of Technical Sciences, acting head of of Engineering Graphics Department Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russian Federation), e-mail: vadd_93@mail.ru, ORCID 0000-0002-1380-4433

Solovev Aleksandr Vyacheslavovich – Head of “Energiya vzleta” design bureau, post-graduate student, active UAV pilot, UAV design engineer Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russian Federation), e-mail: rsmodels.ru@yandex.ru

Prets Mariya Arnoldovna – senior lecturer of Engineering Graphics Department Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russian Federation), e-mail: precmari@gmail.com, ORCID 0009-0009-4434-3906

Ziangirov Aidar Failevich – Assistant Professor of Engineering Graphics Department Kazan State Power Engineering University (51 Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russian Federation), e-mail: zinaydar@mail.ru, ORCID 0009-0001-4025-828X

Contribution of the authors:

A.V. Dmitriev - Conceptualization of the study, Development of numerical modeling methodology, Validation of the obtained results, Critical analysis and editing of the manuscript;

V.E. Zinurov - Development of the overall structure of the article, Formulation of the research problem, Analysis and interpretation of the numerical modeling results, Preparation of the original manuscript, Revision of the conclusions and engineering recommendations;

A.V. Soloviev - Development and refinement of the BARS-type UAV design, Provision of the initial technical data for the convertiplane, Expert assessment of the design clearances and operating modes of the UAV, Participation in the interpretation of the results from the perspective of practical application;

M.A. Pretz - Preparation and processing of graphic materials, Visualization of results, presentation of calculated data, Participation in the preparation of “Conditions, Materials and Methods” and “Results and Discussion” sections;

A.F. Zangirov - Processing of calculated data, Systematization of literary sources, Technical preparation of the manuscript, Participation in the preparation of the bibliography and verification of the text’s compliance with the journal’s requirements.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.
Submitted 18.09.2025; revised 24.03.2026; accepted 25.06.2026.



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЛИЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВСТАВОК В ПРОТРАВЛИВАТЕЛЕ БАРАБАННОГО ТИПА НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ

© 2026 Хасанов Э. Р.¹✉, Козловцев А. П.², Галимов А. Ш.¹, Якупов А. М.¹¹Башкирский государственный аграрный университет
(г. Уфа, Российская Федерация)²Оренбургский государственный аграрный университет
(г. Оренбург, Российская Федерация)

✉ hasan_ed@mail.ru

Реферат. Протравливание семян в сельском хозяйстве направлено на повышение сохранности посевного материала, улучшение его посевных качеств и создание благоприятных условий для получения дружных всходов. В статье исследовано влияние различных вставок на движение семян в барабанном протравливателе методом дискретных элементов (DEM). Рассмотрены три варианта рабочей поверхности: гладкая стальная, с цилиндрическими вставками и спиральной резиновой вставкой. Моделирование и лабораторные испытания показали, что спиральная вставка обеспечивает наилучшее перемешивание семян, увеличивает время их пребывания в барабане и улучшает равномерность протравливания. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения такой конструкции для повышения качества предпосевной обработки семян. Кроме того, использование DEM-моделирования позволяет заранее оценить влияние конструктивных изменений на кинематику семенного слоя без проведения большого числа натурных испытаний. Это делает предложенный подход удобным инструментом для проектирования и совершенствования барабанных протравливателей.

Ключевые слова: семена, моделирование, вставки, коэффициент сцепления, протравливатель семян барабанного типа, обработка семян, метод дискретных элементов (DEM), защитно-стимулирующие препараты.

Для цитирования: Моделирование процесса влияния рабочей поверхности вставок в протравливателе барабанного типа на качество обработки / Э.Р. Хасанов, А.П. Козловцев, А.Ш. Галимов А.М. Якупов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 88-96. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-88-96

MODELING THE IMPACT PROCESS OF WORKING SURFACE OF INSERTS IN A DRUM-TYPE TREATER ON TREATMENT QUALITY

© 2026 Khasanov E. R.^a✉, Kozlovtssev A. P.^b, Galimov A. Sh.^a, Yakupov A. M.^a^aBashkir State Agrarian University
(Ufa, Russian Federation)^bOrenburg State Agrarian University
(Orenburg, Russian Federation)

✉ hasan_ed@mail.ru

Abstract. Seed treatment in agriculture is aimed at increasing the safety of seed, improving its sowing qualities and creating favorable conditions for uniform seedling emergence. This article examines the impact of various inserts on seed movement in a drum-type treater using the discrete element method. Three working surface options are considered: smooth steel, with cylindrical inserts and a spiral rubber insert. Modeling and laboratory testing showed that the spiral insert provides better seed mixing, increases seed residence time in the drum and improves treatment uniformity. The obtained results confirm the feasibility of using this design to improve the quality of pre-sowing seed treatment. Furthermore, the use of discrete element method modeling allows for an early assessment of the impact of design changes on seedbed kinematics without extensive field testing. This makes the proposed approach a convenient tool for designing and improving drum seed treaters.

Key words: seeds, modeling, inserts, adhesion coefficient, drum-type seed treatment, seed treatment, discrete element modeling, seed protection and stimulating agents.

For citation: Khasanov ER, Kozlovtssev AP, Galimov Ash, Yakupov AM. [Modeling the impact process of working surface of inserts in a drum-type treater on treatment quality]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 88-96 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-88-96

Введение. Протравливание семян является ключевым этапом предпосевной обработки, обеспечивающим защиту посевного материала от грибковых и бактериальных инфекций [1, 2]. Эффективность этого

процесса определяется равномерностью распределения протравливающего препарата по поверхности семян, что во многом зависит от динамики их перемещения в рабочей зоне протравливателя [3, 4, 5].

Метод дискретных элементов (DEM) нашел широкое применение для моделирования поведения сыпучих сред в сельскохозяйственных машинах благодаря возможности учета индивидуального движения каждой частицы с учетом их физико-механических свойств и параметров взаимодействия поверхностей [6].

Барабанные протравливатели семян получили широкое распространение в сельскохозяйственном производстве благодаря высокой производительности и удовлетворительной равномерности нанесения препаратов. Качество конечной обработки семян определяется эффективностью их перемешивания с рабочим раствором внутри вращающегося барабана. Кинематика движения сыпучего слоя в таком аппарате является сложным процессом, зависящим от множества факторов:

геометрических параметров барабана, частоты его вращения, физико-механических свойств семян и, что особенно важно, от характера взаимодействия частиц с внутренней рабочей поверхностью [7, 8].

Повышение эффективности и качества работы барабанных протравителей семян напрямую связано с оптимизацией процесса их перемешивания, который определяется кинематикой движения сыпучего слоя. Ключевым параметром, влияющим на кинематику, является коэффициент сцепления между семенами и внутренней поверхностью барабана. Он определяет угол подъема семян перед сходом, что, в свою очередь, влияет на степень заполнения полезного объема барабана и качество обработки. На рисунке 1 приведены принципиальные схемы движения семян в барабане.

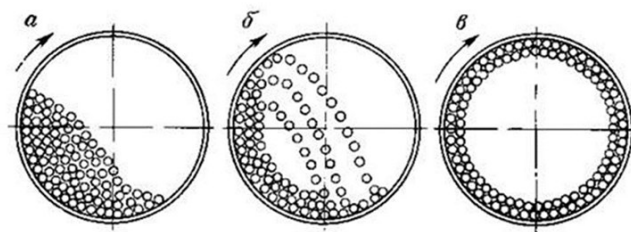


Рис. 1 – Режимы движения семян в барабане:
а – каскадный режим; б – водопадный режим; в – критический режим
Fig. 1 – Modes of seed motion in the drum:
a – cascade mode; b – waterfall mode; c – critical mode

Сочетание каскадного и водопадного режимов движения семян на переходных режимах без разрыва контакта семян между собой при поднятии на определенный угол способствует повышению интенсивности перемешивания и процента покрытия семян препаратом.

Существующие конструкции мало учитывают потенциал модификации поверхности для целенаправленного управления движением слоя и максимизации технологических показателей.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является изучение движения семян в протравливателе барабанного типа со вставками из различных материалов и форм путем моделирования методом дискретных элементов.

Задачи:

- создать 3D-модель барабана протравливателя в системе CAD;
- рассмотреть процесс создания

моделирования процесса движения семян в барабане с различными вставками;

- получить расчетные данные о движении семян в барабане на основе моделирования.

Условия, материалы и методы. Для создания 3D-модели вставок из различных материалов и барабана (рис. 2) использовали программу Autodesk Inventor. Важной частью первого этапа является создание 3D-тела, в котором происходит движение сыпучих материалов. В нашем случае создаем тело, которое в точности повторяет внутренний контур барабана протравливателя, который задействован при моделировании движения семян.

Моделирование динамики движения семян в барабане протравливателя со вставками из различных материалов и форм производилось в программе Rocky DEM для моделирования динамики сыпучих сред со сложной геометрией частиц методом дискретных элементов (DEM) [9, 10, 11].

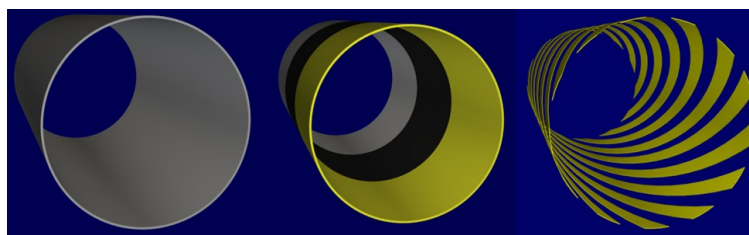


Рис. 2 – 3D-модели вставок, смоделированные в программе Autodesk Inventor
Fig. 2 – 3D models of the inserts, simulated in Autodesk Inventor

Для анализа влияния свойств поверхности на динамику полного слоя семян проведено компьютерное моделирование методом дискретных элементов в программном комплексе ANSYS Rocky 2023 R2. Созданные геометрии 3D-моделей вставок импортировали в среду Rocky

DEM [12, 13].

Для рандомизации главным условием импорта является соблюдения натуральных масштабов геометрии. После импортирования геометрии задаются параметры материалов (рис. 3). Далее идет настройка параметров взаимодействия (рис. 4).

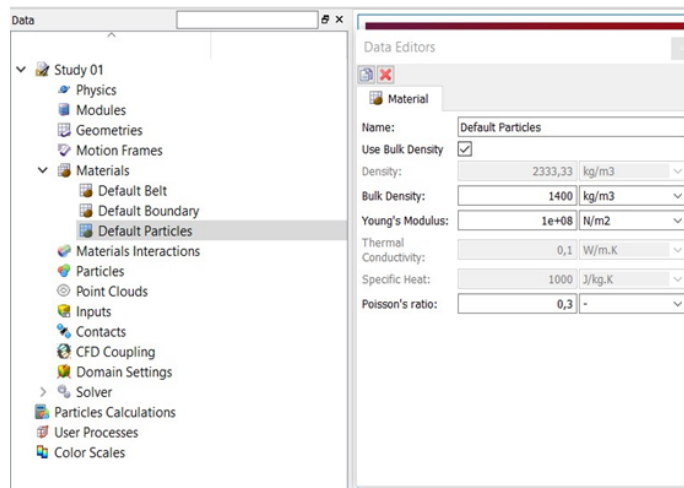


Рис. 3 – Параметры материалов

Fig. 3 – Material parameters

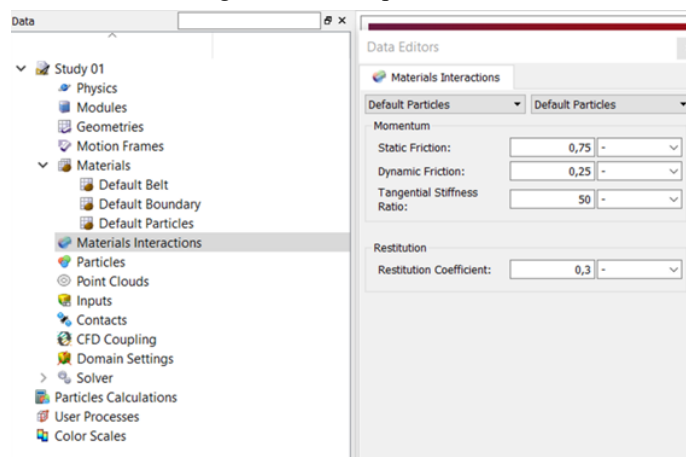


Рис. 4 – Параметры взаимодействия материалов

Fig. 4 – Parameters of material interaction

Установлены три варианта конструкции рабочих поверхностей вставок барабана, участвовавшие в моделировании (рис. 5):

– базовая модель (M1), гладкая стальная поверхность (контрольный вариант действующих конструкций протравливателей);

– модель 2 (M2), барабан с цилиндрическими вставками из оцинкованной стали, гладкой резины и гладкого полиуретана;

– модель 3 (M3), барабан с резиновыми вставками, расположенными вдоль образующей по спирали с шагом 0,05 м.

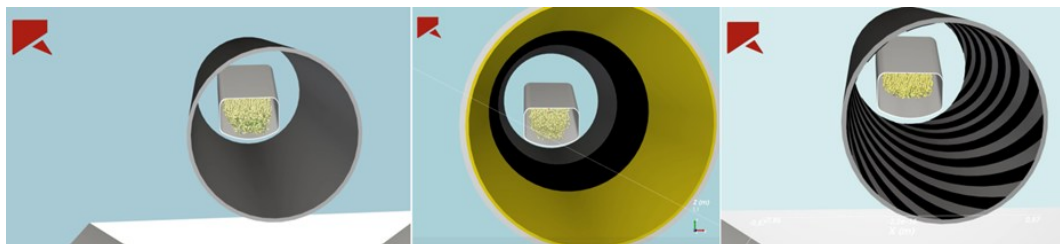


Рис. 5 – Импортированные модели барабана

a – без вставки M1; б – со вставкой M2; в – со вставкой M3

Fig. 5 – Imported drum models:

a – without insert M1; b – with insert M2; c – with insert M3

В модели М3 направление спирали противоположно вращению барабана, что предназначено для создания осевой составляющей силы, замедляющей продольное движение семян и увеличивающей их путь.

Далее осуществляется настройка модели семян пшеницы. На рисунке 6 представлена фотография семян пшеницы и цифровая геометрическая модель семени. Установленные параметры модели представлены в таблице.

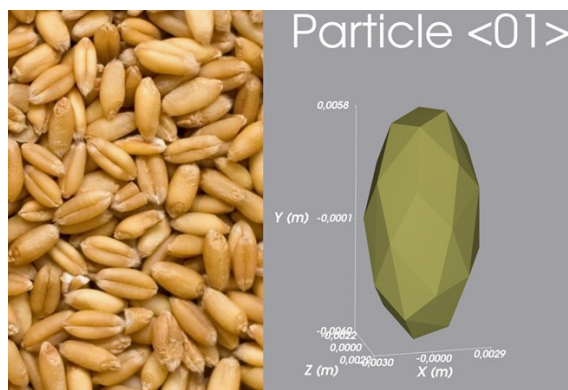


Рис. 6 – Реальный размер семян пшеницы и цифровая геометрическая модель
Fig. 6 – Real size of wheat seeds and the digital geometric model

Таблица – Параметры модели
Table – Model parameters

Показатель	Частицы семян пшеницы	Материал сталь	Материал резина	Материал полиуретан
Модуль Юнга	$3 \cdot 10^8$ Па	$2 \cdot 10^{11}$ Па	$1 \cdot 10^9$ Па	$1 \cdot 10^8$ Па
Плотность	1300 кг/м ³	7800 кг/м ³	1050 кг/м ³	1150 кг/м ³
Коэффициент Пуассона	0,25	0,3	0,5	0,5
Коэффициент статического трения частиц	0,6	0,25	0,45	0,35
Коэффициент динамического трения частиц	0,1	0,2	0,32	0,25

Частота вращения барабана составляла 40 об/мин, что соответствует оптимальному каскадному режиму перемешивания.

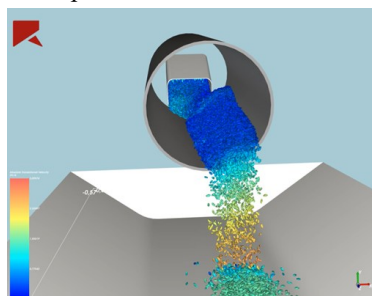
Результаты и обсуждение. Проведенное моделирование позволило визуально определить характер движения семян в барабане со вставками из различных материалов и форм (рис. 7-9) с выводом цветовой гаммы слоев движения семян внутри барабана.

От скорости движения, вращения, а также продолжительности пребывания семян в барабане в зоне обработки зависит степень равномерного распределения препарата по поверхности семенного материала.

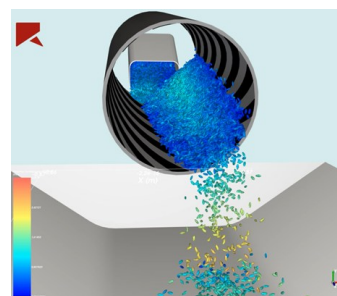
По итогам проведенного компьютерного моделирования методом дискретных

элементов в программном комплексе ANSYS Rocky 2023 R2 при анализе влияния свойств поверхности на динамику всего слоя семян в барабане лучший результат по сравнению с контрольным вариантом без вставок М1 показала модель барабана со вставкой М3.

Модель барабана со вставкой М3 за счет вставки, имеющей форму спирали, закрученной по направлению, обратному движению барабана позволила снизить продольную скорость перемещения семян от момента входа до их выхода из барабана, увеличить угол подъема семян по стенкам барабана, повысив заполнение полезного объема барабана семенами при использовании вставок из резины.



а / а



б / б

Рис. 7 – Визуализация среднего значения абсолютной скорости перемещения семян в барабане:
а – вставка М1; б – вставка М3

Fig. 7 – Visualization of the average absolute velocity of seed movement in the drum:
а – insert М1; б – insert М3

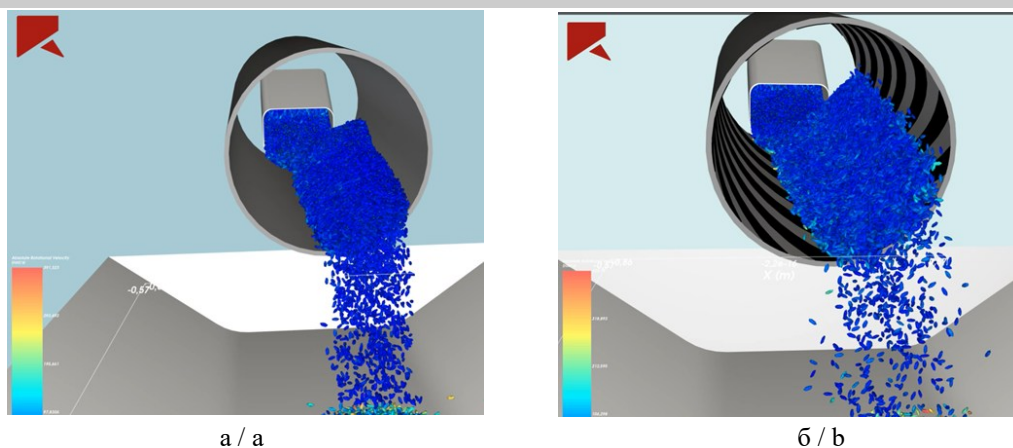


Рис. 8 – Визуализация среднего значения абсолютной скорости вращения семян в барабане
а – вставка М1; б – вставка М3
Fig. 8 – Visualization of the average absolute rotational velocity of seeds in the drum:
a – insert M1; b – insert M3

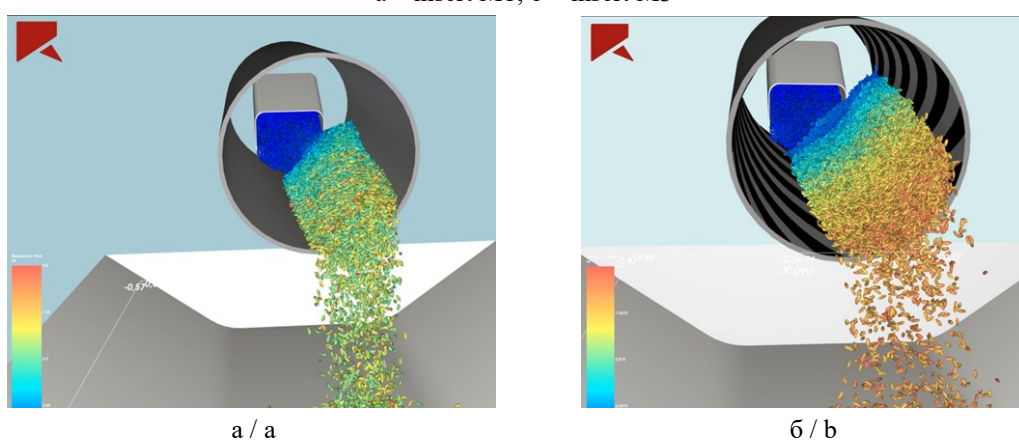


Рис. 9 – Визуализация среднего значения времени пребывания семян в барабане
а – вставка М1; б – вставка М3
Fig. 9 – Visualization of the average residence time of seeds in the drum:
a – insert M1; b – insert M3

Лучший результат по визуализации данных показало моделирование со вставкой М3 с резиновыми вставками, расположенными вдоль образующей по спирали с шагом 0,05 м с направлением спирали противоположном вращению барабана.

На основе моделирования процесса

движения семян в барабане получили графики:

- среднего значения абсолютной скорости перемещения семян в барабане, м/с (рис. 10).
- среднего значения абсолютной скорости вращения семян в барабане, рад/с (рис. 11).
- среднего значения времени пребывания семян в барабане, секунд (рис. 12).

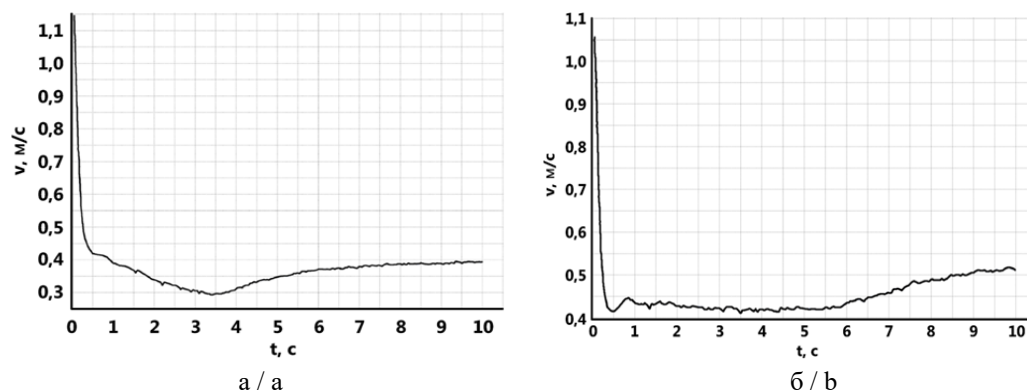
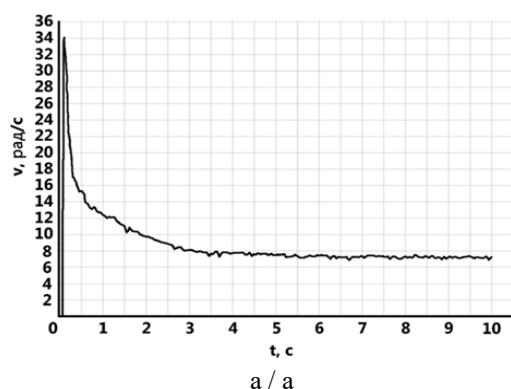


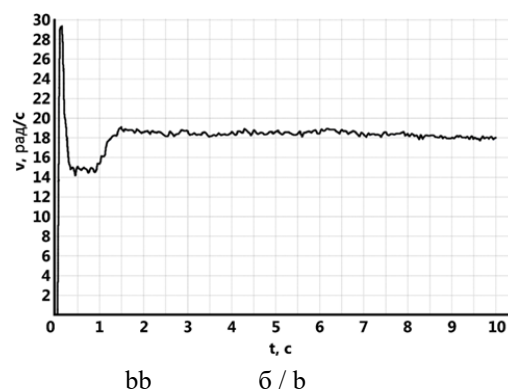
Рис. 10 – График среднего значения абсолютной скорости перемещения семян в барабане
а – вставка М1; б – вставка М3
Fig. 10 – Graph of the average absolute velocity of seed movement in the drum:
a – insert M1; b – insert M3

Данные абсолютной скорости вращения семян в барабане представлены на рисунке 11.



а / а

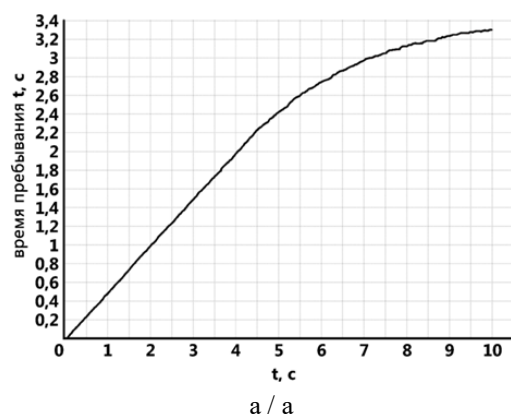
Среднее время пребывания семенного материала в барабане представлено на рисунке 12.



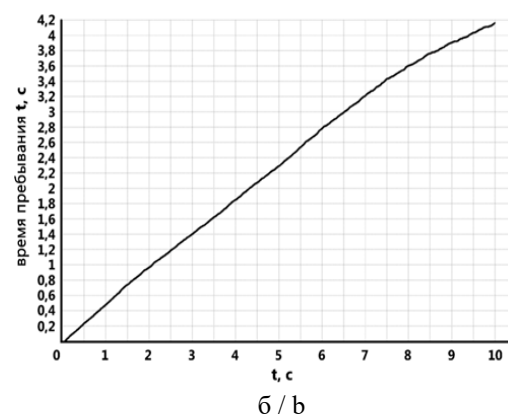
bb б / б

Рис. 11 – График среднего значения абсолютной скорости вращения семян в барабане
а – вставка M1; б – вставка M3

Fig. 11 – Graph of the average absolute rotational velocity of seeds in the drum:
а – insert M1; б – insert M3



а / а



б / б

Рис. 12 – График среднего значения времени пребывания семян в барабане
а – вставка M1; б – вставка M3

Fig. 12 – Graph of the average residence time of seeds in the drum:
а – insert M1; б – insert M3

На основе данных моделирования разработан опытный образец конструкции протравливателя семян со вставками из полиуретана, закрепленных на внутренней поверхности барабана. Вставки из полосок шириной 50 мм установлены в барабан. С использованием электродвигателя при угловой скорости барабана 40 об/мин, угле наклона $\beta = 12^\circ$ проведены лабораторные исследования для оценки качества обработки семян (рис. 13).

Лабораторные исследования проводились с семенами пшеницы сорта «Буран», в каждой партии пропусклось 67 кг семян в течение 60 секунд. Производительность установки составила 4 т/ч. Вращение барабана производилось, как по часовой, так и против часовой стрелки.

На рисунке 14 представлены результаты определения качества протравливания семян на энергию прорастания и всхожесть.



Рис. 13 – Изготовленные вставки и лабораторные эксперименты
Fig. 13 – Manufactured inserts and laboratory experiments



а / а

б / б

Рис. 14 – Пророщенные семена пшеницы после проведения лабораторных экспериментов

а – вставка М1; б – вставка М3

Fig. 14 – Germinated wheat seeds after laboratory experiments:

а – insert M1; б – insert M3

Энергия прорастания после обработки в стандартном барабане со вставкой М1 составила 76%, всхожесть 87%. Энергия

прорастания в модернизированном барабане со вставкой М3 составила 89%, всхожесть 94% (рис. 15).

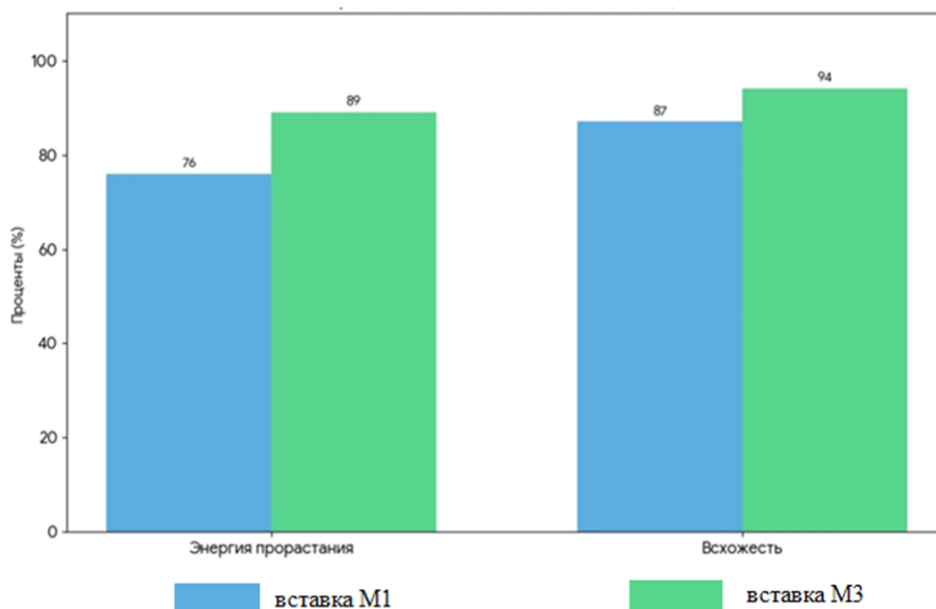


Рис. 15 – Результаты проведённых исследований на энергию прорастания и всхожесть семян

а – вставка М1; б – вставка М3

Fig. 15 – Results of the studies on seed germination energy and germination rate:

а – insert M1; б – insert M3

Таким образом лабораторные исследования на энергию прорастания семян пшеницы и всхожесть показали преимущество предлагаемой вставки барабана протравливателя, что подтвердило результаты моделирования.

Выводы. Рассмотренный процесс моделирования процесса движения семян в барабане с различными вставками показал, что лучшие результаты работы, влияющие на качество обработки, показал вариант со вставкой М3.

По сравнению с вариантом М1, применяемым на практике, произошло увеличение абсолютной скорости перемещения семян в барабане с 0,39 м/с до 0,51 м и абсолютной скорости перемещения семян с 7 рад/с до 18 рад/с. Время пребывания семян в барабане увеличилось с 3,3 до 4,2 и составило рост на 0,9 секунды.

Результаты лабораторных опытов с семенами пшеницы на энергию прорастания в случае применения вставки варианта М3 выросли на 13%, на всхожесть выросли на 7% по сравнению со стандартным вариантом М1.

Предложенная конструкция повышает качество обработки семян за счет оптимизации кинематики сыпучего слоя. Увеличение перемешивания слоев с появлением сочетания водопадного и каскадного режимов в предложенном варианте вставки свидетельствует о целесообразности применения данной конструкции в области предпосевной обработки семян.

Сведения о финансировании. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-76-10070, (<https://rscf.ru/project/23-76-10070/>)

Литература

1. Муратов А.А., Епифанцев В.В., Колесникова Т.П. Влияние протравливания семян на поражение корневыми гнилями и урожайность ярового тритикале // Пермский аграрный вестник. 2023. № 4(44). С. 69-73. doi: 10.47737/2307-2873_2023_44_69.
2. Торопова Е. Ю., Фещенко Е. С. Влияние агроэкологических факторов на фитосанитарное состояние и качество семян яровой пшеницы в условиях лесостепи Новосибирского Приобья // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39, № 1. С. 17-24. doi: 10.53859/02352451_2025_39_1_17.
3. Сабиров Р. Ф. Определение параметров случайного взаимодействия твердых частиц и капель суспензии в камере обработки семян биопрепаратами // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1(57). С. 25-32. doi: 10.18286/1816-4501-2022-1-25-32.
4. Сабиров Р.Ф., Валиев А.Р., Мухамадьяров Ф.Ф. Обоснование конструктивно-технологических параметров устройства для обработки семян биопрепаратами // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 3(63). С. 84-89. doi: 10.12737/2073-0462-2021-84-89.
5. Нуруллин Э. Г. Основные направления совершенствования машин для предпосевной обработки семян // Техника и оборудование для села. 2018. № 3. С. 13-15.
6. Wiacek J., Parafiniuk P. DEM study of microstructural effects in friction of wheat on corrugated steel surface // Tribology International. 2023. Vol. 183. Art. № 108435. doi: 10.1016/j.triboint.2023.108435.
7. Файзуллин Р.А, Нуруллин Э.Г., Залялов А.А. Экспериментальное исследование травмирования семян зерновых культур в протравочной машине // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2023. № 2(18). С. 4-19.
8. Хасанов Э.Р. Анализ процесса инкрустации семян в барабанном протравливателе-инкрустаторе // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2013. № 1(25). С. 87-89.
9. Saurabh S., de Lima G.H., Potapov A. Predictive Optimization of SAG Mill Wear Using Rocky. 2017. URL: <https://rocky-dem.ru/media/predictive-optimization-of-sag-mill.pdf>.
10. Determination of Material and Interaction Properties of Granular Fertilizer Particles Using DEM Simulation and Bench Testing / Lei X., Wu W., Deng X., et al. // Agriculture 2023, 13, 1704. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091704>.
11. Rocky, Release 2023 R2, Help System, DEM Technical Manual.
12. Мударисов С.Г., Мухаметдинов А.М., Фархутдинов И.М. Обзор параметров и моделей контактов для моделирования семян и гранулированных удобрений методами дискретных элементов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 197. С. 58-85. doi: 10.21515/1990-4665-197-008.
13. Coetzee, Review: calibration of the discrete element method // Powder Technol. 310 (2017) 104-142 c.

References

1. Muratov AA, Epifantsev VV, Kolesnikova TP. [Effect of seed treatment on root rot infection and productivity of spring triticale]. Permskiy agrarnyy vestnik. 2023; 4 (44). 69-73 p. doi: 10.47737/2307-2873_2023_44_69.
2. Toropova EYu, Feshchenko ES. [Effect of agroecological factors on phytosanitary condition and quality of spring wheat seeds in the forest-steppe conditions of Novosibirsk Ob region]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2025; Vol.39. 1. 17-24 p. doi: 10.53859/02352451_2025_39_1_17.
3. Sabirov RF. [Determination the parameters of random interaction of solid particles and suspension droplets in a chamber for treating seeds with biopreparations]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2022; 1(57). 25-32 p. doi: 10.18286/1816-4501-2022-1-25-32.
4. Sabirov RF, Valiev AR, Mukhamadyarov FF. [Justification of design and technological parameters of a device for treating seeds with biopreparations]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3(63). 84-89 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-84-89.
5. Nurullin EG. [Main directions of improving machines for pre-sowing seed treatment]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2018; 3. 13-15 p.
6. Wiacek J, Parafiniuk P. DEM study of microstructural effects in friction of wheat on corrugated steel surface. Tribology International. 2023; Vol.183. Art.108435. doi: 10.1016/j.triboint.2023.108435.
7. Fayzullin RA, Nurullin EG, Zalyalov AA. [An experimental study of grain seed damage in a seed dressing machine]. Nauchno-tehnicheskij vestnik: Tekhnicheskie sistemy v APK. 2023; 2(18). 4-19 p.
8. Khasanov ER. [Analysis of seed incrustation process in a drum seed dresser-incrustation machine]. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013; 1(25). 87-89 p.
9. Saurabh S, de Lima GH, Potapov A. Predictive optimization of SAG mill wear using rocky. 2017. Available from: <https://rocky-dem.ru/media/predictive-optimization-of-sag-mill.pdf>.

10. Lei X, Wu W, Deng X. Determination of material and interaction properties of granular fertilizer particles using DEM simulation and bench testing. Agriculture 2023; 13. 1704. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091704>.

11. Rocky, Release 2023 R2, Help System, DEM Technical Manual.

12. Mudarisov SG, Mukhametdinov AM, Farkhutdinov IM. [Review of parameters and contact models for modeling seeds and granular fertilizers using discrete element methods]. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; 197. 58-85 p. doi: 10.21515/1990-4665-197-008.

13. Coetzee C. Review: calibration of the discrete element method. Powder Technol. 310 (2017). 104-142 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Хасанов Эдуард Рифович - доктор технических наук, профессор, декан факультета механики и цифрового инжиниринга Башкирского государственного аграрного университета (450001, Российская Федерация, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34), e-mail: hasan_ed@mail.ru, ORCID 0000-0003-3394-6022

Козловцев Андрей Петрович - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации технологических процессов в АПК Оренбургского государственного аграрного университета (460014, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18), e-mail: ap_kozlovcev@mail.ru, ORCID 0000-0002-5622-9598

Галимов Алмаз Шамилович – младший научный сотрудник кафедры мехатронных систем и машин аграрного производства Башкирского государственного аграрного университета (450001, Российская Федерация, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34), e-mail: almaz.shm@mail.ru

Якупов Андрей Маратович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии материалов и реновации машин Башкирского государственного аграрного университета (450001, Российская Федерация, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34), e-mail: ya-andrei75@mail.ru

Вклад авторов:

Э.Р. Хасанов – научное руководство, развитие методологии, написание исходного текста;

А.П. Козловцев – итоговые выводы, концепция исследования;

А.Ш. Галимов – проведение экспериментов, составление схем и чертежей;

А.М. Якупов – развитие методологии, составление статьи.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 14.04.2026; одобрена после рецензирования 01.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Khasanov Eduard Rifovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Mechanics and Digital Engineering Faculty Bashkir State Agrarian University (450001, Russian Federation, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34), e-mail: hasan_ed@mail.ru, ORCID 0000-0003-3394-6022

Kozlovtssev Andrey Petrovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Mechanization of Technological Processes in the Agricultural Sector Orenburg State Agrarian University (460014, Russian Federation, Orenburg, Chelyuskintsev St., 18), e-mail: ap_kozlovcev@mail.ru, ORCID 0000-0002-5622-9598

Galimov Almaz Shamilevich - junior researcher of Department of Mechatronic Systems and Machines for Agricultural Production Bashkir State Agrarian University (450001, Russian Federation, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34), e-mail: almaz.shm@mail.ru

Yakupov Andrey Maratovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Materials Technology and Machine Renovation Bashkir State Agrarian University (450001, Russian Federation, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34), email: ya-andrei75@mail.ru

Contribution of the authors:

E.R. Khasanov– Scientific supervision, Methodology development, Writing an original text;

A.P. Kozlovtssev– Final conclusions, Research concept;

A.Sh. Galimov– Experiments, Diagrams and drawings;

A.M. Yakupov– Methodology development, Article drafting.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 14.04.2026; revised 01.06.2026; accepted 25.06.2026.



ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МАШИН

© 2026 Шистеев А. В. ✉

*Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
(п. Молодежный, Российская Федерация)
✉ drive-er@yandex.ru*

Реферат. Вынужденный простой машин в агропромышленном комплексе из-за неоптимальных стратегий ремонта, возникает в ситуации, когда остановки техники происходят из-за неэффективных подходов к техническому обслуживанию и восстановлению работоспособности технических средств. Снижение технической готовности машин приводит к уменьшению их производительности и, соответственно, увеличению издержек и потере финансовых средств, производителями сельскохозяйственной продукции. Целью исследования, является разработка концептуальной модели технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин в АПК на основе информационных технологий. В работе использован метод логического моделирования с выделением трёх основных технических состояний (G1 – ремонт не нужен, G2 – условный ремонт, G3 – обязателен ремонт) и системы логических принципов 1.1–3.6, а также метод регрессионного анализа. Результаты исследования содержат двухуровневую многокомпонентную модель и алгоритм направления техники в ремонт. Модель производственно-технической эксплуатации машин (МТТ) отображает ключевые моменты управления техническим сервисом машин, взаимосвязи между ними, с учетом предиктивной аналитики отказов тракторов и автомобилей для ускорения восстановления работоспособности. Алгоритм способствует организации ремонтных воздействий, повышает четкость в работе всех звеньев, участвующих в процессе организации восстановления работоспособности и обслуживания машин, имеющих в своем оснащении информационно-электронные модули и блоки. Разработки вносят вклад в развитие цифровых логических инструментов для принятия обоснованных решений в области управления машинно-тракторным парком предприятиями АПК. Применение модели при техническом сервисе сельскохозяйственных предприятий Иркутской области показывает, что коэффициент технической готовности парка увеличивается на 30% за счёт приоритизации ремонта или замены запасных частей по остаточному ресурсу и снижения времени простоя, по сравнению с текущей стратегией эксплуатации машин на предприятиях АПК.

Ключевые слова: технический сервис, работоспособность, надежность, ремонт, обслуживание, концептуальная модель.

Для цитирования: Шистеев А.В. Формализация модели интеллектуализации системы технического обслуживания и ремонта машин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 97-106. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-97-106

FORMALIZATION OF INTELLIGENCE MODEL FOR MACHINERY MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM

© 2026 Shisteev A. V. ✉

*Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevskiy
(Molodezhny, Russian Federation)
✉ drive-er@yandex.ru*

Abstract. Forced downtime of machines in the agricultural sector due to suboptimal repair strategies occurs in a situation where equipment stops occur due to ineffective approaches to maintenance and restoration of technical equipment. Reduced technical availability of machines leads to a decrease in their productivity and, accordingly, an increase in costs and financial losses for agricultural producers. The aim of this study is to develop a conceptual model for the maintenance and repair of transport and technological machines in the agro-industrial complex based on information technology. The work used a logical modeling method with the identification of three main technical conditions (G1 - no repair required, G2 - conditional repair, G3 - repair required) and a system of logical principles 1.1-3.6, as well as the method of regression analysis. The research results contain a two-level multi-component model and an algorithm for sending equipment for repair. The model of industrial and technical operation of machines (МТТ) reflects key aspects of machine maintenance management and relationships between them, taking into account predictive analytics of tractors and cars failures to accelerate the restoration of technical equipment. The algorithm promotes the organization of repair actions, increases the clarity in the work of all links involved in the process of organizing the restoration of operability and maintenance of machines equipped with information-electronic modules and units. These developments contribute to

the development of digital logical tools for making informed decisions in the management of machinery and tractor fleets in agricultural enterprises. Application of the model in the technical service of agricultural enterprises in Irkutsk region shows that the technical readiness ratio of the fleet increases by 30% due to prioritization of repairs or replacement of spare parts according to the residual resource and reduction of downtime, compared with the current strategy for operating machines at agricultural enterprises.

Key words: technical service, performance, reliability, repair, maintenance, conceptual model.

For citation: Shisteev AV. [Formalization of intelligence model for machinery maintenance and repair system]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 97-106 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-97-106

Введение. В статье показатели надежности рассмотрены, как вероятностные величины, в связи с чем, изучение эксплуатационных циклов тракторов и машин в нормальных условиях должно тесно связываться с положениями, относящимися к теории вероятностей, математической статистике – рассматривается прикладной характер этих теорий, применительно к вопросам оценки показателей эксплуатационной технической надежности машин в процессе сельскохозяйственного производства.

На сегодняшний день транспортно-технологические машины, соответствующие требованиям производственного уровня, имеют очень высокий уровень конструктивной сложности [1]. Заводы-изготовители машин оснащают свои изделия большим количеством агрегатов, узлов и элементов – для обеспечения комфортного управления, сокращения времени проведения технических обслуживаний и ремонтов, повышения точности диагностики и работы навигационного оборудования, а также качества и скорости самого сельскохозяйственного процесса на всех стадиях сельскохозяйственного производства [2]. В связи с чем, аспекты повышения надежности технических средств современного уровня производительности, являются приоритетными вопросами, поскольку работоспособность и безотказность в эксплуатации является главным фактором, влияющим на целевые показатели любого предприятия, имеющего необходимость использования машинно-тракторных парков. Уровень надежности таких технических систем сложной структуры – в теории и на практике [3], должен обеспечиваться в течение всего эксплуатационного периода, а не только при проектировании и изготовлении заводом-изготовителем.

Для решения указанных проблем эксплуатации машин необходимо доскональное изучение эксплуатационного периода транспортно-технологических машин вплоть до момента утилизации транспортных средств. Одним из главных факторов, который может влиять на качество функционирования при выполнении производственных задач, должна выступать сама технология эксплуатации, в качестве этапа жизненного цикла, наступающего после изготовления трактора, автомобиля или комбайна на заводе [4]. В структуре технического сервиса, производственная эксплуатация оказывает прямое

влияние на полноту исполнения функций работоспособности машин, весомость результатов отказов технических систем, используемых в тяжелых эксплуатационных климатических зонах, рельефных и многих других [5].

Цель исследования – разработка концептуальной модели технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин, на основе информационных технологий.

К задачам исследования относятся определение главных стратегических направлений восстановления работоспособности машин на предприятиях агропромышленного комплекса, разработка общего алгоритма восстановления работоспособности транспортно-технологических машин на основе интеллектуальной поддержки сервиса, разработка логической концептуальной модели организации ремонтов и сервисного обслуживания с учетом всех возможных технических состояний транспортного средства.

Внедрение технологий превентивного устранения отказов позволяет значительно повысить эффективность обслуживания машин и оборудования. Системы, использующие машинное обучение для анализа данных, снижают простои оборудования на 25-30%, однако при этом, прогнозная аналитика для технического обслуживания требует использования датчиков и платформ штатного оборудования машин, по примеру зарубежных брендов, например, таких как Siemens MindSphere или GE Predix.

Условия, материалы и методы. Наблюдения за работой ремонтных служб технического сервиса на предприятиях ООО «ЮникАгро», ООО «Техноресурс», ООО «Луговое» агропромышленного комплекса Иркутской области подтверждают факты того, что процедуры ремонта и обслуживания зачастую отстают от агротехнических условий по времени устранения поломок и неисправностей. В нормальных условиях работы сельскохозяйственных предприятий разной формы организации, система осуществления ремонтных процедур по отношению к транспортно-технологическим машинам в основном проводится как «восстановление по факту поломки» и «плановое техническое обслуживание и уход» [6]. Реализация плана «восстановления по факту поломки» не обеспечивает предотвращения отказов тракторов и машин, что заставляет целевые параметры эффективности сельскохозяйственного предприятия снижаться [7]. При этом,

планирование системы обслуживания конечно же является необходимым элементом стратегии сервиса, однако, вызывает повышение затрат трудоемкости, поскольку возможна некоторая избыточность работ из-за множества действий и сложности алгоритмов в каждом из номерных, сезонных, ежедневных и других видах технического ухода. В этой ситуации параметры работоспособности транспортного средства могут находиться на стадии предельных ресурсных отклонений, но ввиду планирования восстановительных работ ремонт проводится только в определенные значения наработки машины или трактора [8].

В данной научной работе приведена методология восстановления транспортно-технологических машин с использованием

сервисной стратегии «восстановления по техническому состоянию» (B_{TC}). Определение «остаточного ресурса» (P_O) трактора, автомобиля или комбайна должно проводиться с использованием больших баз данных о текущем техническом состоянии каждой транспортно-технологической машины (M_{TT}). Процесс получения данных о техническом состоянии машины, становится возможным за счет использования данных приборной диагностики, электронно-цифровых датчиков трактора, другого дополнительно устанавливаемого на машину оборудования [9].

Алгоритм процесса организации ремонтных воздействий на основе информационно-электронных технологий должен реализовываться по схеме, представленной на рисунке 1.

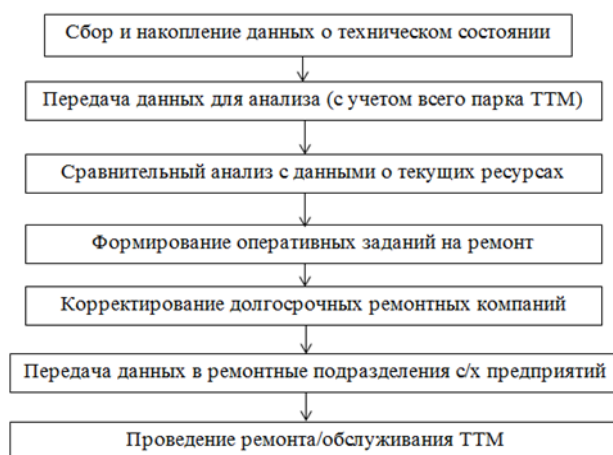


Рис. 1 – Алгоритм восстановления работоспособности ТТМ на основе интеллектуальной поддержки сервиса

Fig. 1 – Algorithm for restoring the operability of transport and technological machines (TTM) based on intelligent service support

Разработка алгоритмов для систем предиктивной аналитики, на сегодняшний день, является краеугольным камнем обеспечения непрерывности производственных процессов. Анализ статистической информации, получаемой от электронных блоков управления машины, трактора или комбайна – это не просто модный тренд, а решение, позволяющее перейти от подхода «восстановление по факту поломки» к проактивному (предотвращение поломки). Центральное место в этих системах занимают алгоритмы, которые, по сути, являются основой программ, способных анализировать колоссальные объемы данных, поступающих от датчиков, установленных на машинах. Алгоритмы должны быть способны улавливать тончайшие отклонения от нормального режима работы, предвосхищая возможные проблемы задолго до того, как они проявятся в виде реального сбоя. От точности маршрута этих алгоритмов напрямую зависит, насколько своевременно будет принято решение о необходимости обслуживания или замены компонента, что, в свою очередь, влияет на общие эксплуатационные расходы и время простоя.

Анализ данных о работе тракторов Buhler Versatile 2375 в количестве 10 единиц техники на сельскохозяйственных предприятиях ООО «ЮникАгро», ООО «Техноресурс», ООО «Луговое» - показал, что предотвращение отказов на основе предиктивной аналитики, позволяет снизить простои техники и машин на 30%. В качестве исходных материалов взяли данные годовых отчетов за 10 лет. Были выделены три фактора, смысл исчисления сводился к определению степени влияния факторов каждой группы на коэффициент готовности техники. Зависимость результирующего показателя от выбранных факторов аппроксимировалась линейно. В качестве результирующего показателя было взято усредненное значение коэффициента технической готовности тракторов K_{TG} за год эксплуатации, поскольку его расчет учитывает время простоя машин.

Основные признаки факторов:

x_1 – затраты на ремонт и ТО одного физического трактора за год, рублей;

x_2 – затраты на запасные части за один год на один эт. га, рублей;

x_3 – использование стратегии

предиктивного восстановления работоспособности тракторов, %.

Средствами Microsoft Excel был проведён

корреляционный анализ для определения степени влияния каждого признака на результивный показатель (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица корреляции факторов
Table 1 – Correlation matrix of factors

	К _{ТГ}	x_1	x_2	x_3
К _{ТГ}	1			
x_1	0,06701	1		
x_2	-0,3539	0,3677	1	
x_3	0,02919	0,3028	0,6579	1

Анализ матрицы корреляции позволяет сделать вывод, что установлена умеренная связь между результивным показателем К_{ТГ} и признаками факторов x_1 (затраты на запасные части), x_3 (использование стратегии предиктивного восстановления). Фактор x_2 не имеет существенного влияния на коэффициент технической готовности тракторов.

Множественный коэффициент корреляции равен 0,9766, что говорит о плотной связи между результивным показателем и факторными признаками, влияющими на него. Коэффициент детерминации – 0,9467, факторные признаки выбраны правильно.

Поскольку результивный показатель и

факторные признаки имеют разные единицы измерения, для сопоставления отобранных факторов по их влиянию на коэффициент готовности вычислили коэффициенты эластичности (табл. 2). При расчёта коэффициента эластичности применяли формулу:

$$\mathcal{E} = a_i \frac{\bar{x}_i}{K_{ТГ}} \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ – коэффициент эластичности;
 a_i – коэффициент регрессии;
 x_i – количество машин с большей степенью вероятности требующих ремонта;
К_{ТГ} – усредненное значение коэффициента технической готовности.

Таблица 2 – Результаты регрессионного анализа
Table 2 – Results of regression analysis

	Коэффициент регрессии, a_i	Существенность коэффициента регрессии	Среднее значение факторов	Коэффициент эластичности, $\mathcal{E}_i$
Коэффициент технической готовности тракторов (К _{ТГ})	-	-	0,692	-
x_1 – затраты на ремонт и ТО одного физического трактора за год, рублей	0,334344	1,45	2,05	0,773
x_2 – затраты на ТО на один эт. га, рублей	0,54274	0,35	5,03	8,323
x_3 – использование стратегии предиктивного восстановления работоспособности тракторов, %	0,000638	1,1	15425	3,061

Повышение коэффициента технической готовности на основе использования программных алгоритмов и высокой точности прогнозирования, определяется по коэффициенту эластичности, который показывает – на сколько процентов в среднем изменится значение результивного показателя К_{ТГ} при изменении факторного признака на 1%.

Далее показана краткая интер-претация полученных данных. Согласно проведённому корреляционному анализу наиболее существенное влияние оказывает величина затрат на ТО в расчёте на один эталонный гектар в год,

коэффициент эластичности равен 0,773, то есть с увеличением значения данного показателя на 10% коэффициент технической готовности тракторов возрастёт на 7,73%. Тогда и использование стратегии предиктивного восстановления работоспособности тракторов, со средним значением 15425 рублей, по коэффициенту эластичности – даст прирост не менее 30% к увеличению коэффициента технической готовности.

В тех реалиях, когда практически каждый современный трактор или автомобиль оснащен системами электронного контроля

эксплуатационных показателей, ремонтные службы сталкиваются с необходимостью обработки большого объема данных электронно-цифровых модулей транспортно-технологических машин. Также, в технической цифровой поддержке сервиса машин нуждаются как большинство частных организаций, так и крупные отраслевые предприятия сельскохозяйственного профиля, по причине того, что до 41% машинно-тракторных парков предприятий могут составлять импортные машины, имеющие более широкое оснащение электронными узлами по сравнению с отечественными [10]. Замкнутость логистики поставок запасных частей для зарубежных машин, отсутствие контактов с контрагентами-поставщиками импортных оригинальных деталей и элементов, отсутствие четкого сервисного подхода – делают практически невозможными обработку и накопление больших объемов данных о ремонтах и восстановлениях машин, по элементарным причинам разномарочности машин или отсутствия какой-либо сопровождающей ремонтной документации в целом.

Результаты и обсуждение. Стратегия технического сервиса, включающая ремонт и обслуживание машин по действительному, фактическому техническому состоянию трактора или автомобиля становится широко распространенной не только при производстве сельскохозяйственной продукции, но и в других областях народного хозяйства, таких как: гражданское авиастроение, военно-космическая промышленность, где к уровню надежности предъявляются более высокие требования, чем к наземному транспорту.

«Восстановление по техническому состоянию» (ВТС) парка транспортно-технологических машин (МТП_{ТТ}) основывается на использовании данных наблюдений за машинами при их нормальной эксплуатации в хозяйствах. Цифровые журналы наблюдений позволяют получать множество значений предельной наработки агрегатов и элементов тракторов и машин (Σ_{Σ}). Следующим этапом, модель восстановления ВТС подлежит преобразованию в вид двухуровневой модели, содержащей множество компонентов, при обработке модели использованы эвристические правила осуществления ремонтных процессов для глобального и локального уровней. Локальный уровень ремонта – направление, при котором восстанавливают только один конкретный трактор или автомобиль, глобальный – ремонт и обслуживание транспортно-технологических машин «на потоке», в ремонтных мастерских сельскохозяйственного предприятия.

Для полного понимания процесса сервисного ремонта и подходов нужно принять следующие условия функционирования модели:

- На предприятиях Сибирского региона имеется транспортно-технологических машин –

M (единиц) и N (ремонтных подразделений), в соотношении ($N < M$);

- Для достижения целевых показателей сельскохозяйственному предприятию необходимо задействовать, как минимум одну единицу техники, количество машин увеличивается, тогда ($1 \leq M$);

- Каждая единица МТП_{ТТ} состоит из Σ_{Σ} агрегатов и элементов, которые могут быть заменены в результате отказов;

- Предел «остаточного ресурса» (P_0) является известной величиной или получен в результате наблюдений за нормальной работой транспортно-технологических машин;

- Все ремонтные подразделения имеют одинаковый уровень теоретической и практической подготовки, квалификацию или разряд;

- Однотипные или полностью одинаковые элементы транспортно-технологических машин имеют равное время замены в случае отказа (t_3);

- Отличающиеся по принципу устройства и применения элементы машин получают разное время замены (t_3), соответственно и разную трудоемкость выполняемых работ.

Далее необходимо применение следующих условий и допущений:

- При полноценной замене отказавшего элемента трактора или автомобиля на новый, параметр «остаточного ресурса» (P_0) становится максимальным;

- «Остаточный ресурс» элементов и агрегатов машин (P_0), а в некоторых случаях и ресурс самих машин может снижаться лишь в процессе эксплуатации – в случае вынужденного простоя значение (P_0) остается постоянным;

- Элементы и агрегаты транспортно-технологических машин для ремонта всегда в наличии на складе предприятия или поставщика запасных частей;

- Статистические данные, полученные в результате наблюдений содержат достоверную информацию о наработке элементов трактора до полного отказа.

Техническое состояние каждого элемента, агрегата или узла машины оценивается по данным о предельном ресурсе деталей. В работе использованы два показателя предельных значений: «ремонт необходим» - T_{PH} , «ремонт условный» - T_{PY} . Следовательно, указанные предельные значения ресурса разделят техническое состояние машины или трактора на три части:

1) Остаточный ресурс $< T_{PH}$ – состояние «Обязателен ремонт» G_3 ;

2) Остаточный ресурс $> T_{PY}$ – состояние «Ремонт не нужен» G_1 ;

3) $T_{PH} < \text{Остаточный ресурс} \leq T_{PY}$ – состояние условного ремонта G_2 , при котором общий список ремонтных операций, а также последовательность их выполнения зависит от состояния других единиц транспортно-технологических машин (рис. 2).

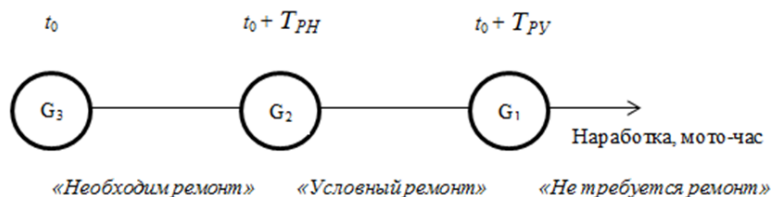


Рис. 2 – Деление оси жизненного цикла машины по предельным значениям остаточного ресурса (P_0)

Fig. 2 – Division of the machine life cycle axis according to the limit values of the residual resource (RR)

Путем проведения эксперимента определяются значения $T_{РН}$ и $T_{ру}$, при получении информации используются данные электронно-цифровых датчиков транспортно-технологических машин. Кроме этого, значение показателя ремонт необходим, может устанавливаться по информации из нормативно-технической документации заводов-изготовителей тракторов и машин, касающихся обслуживания и ремонта при эксплуатации.

При использовании данной стратегии сервисного обслуживания, главным результатом решения проблем оперативного восстановления работоспособности технических средств, является повышение технической готовности парков транспортно-технологических машин. Процесс максимизации данной целевой функции готовности будет являться важным подспорьем при выполнении целевых показателей сельскохозяйственными предприятиями. Необходимо брать в учет, что и время ремонтных воздействий получит значительное сокращение.

На глобальном уровне, сервисная стратегия сельскохозяйственных организаций является набором ремонтно-восстановительных работ по каждой единице машин, входящих в состав парков машин. Также необходимо понимание возможностей сервисных служб для выполнения ремонта со стороны финансовых и временных

параметров. Необходимо учитывать загрузку сервиса, в отдельную графу учета ставится информация цифровой передачи данных от трактора.

В рамках исследования принято решение о разделении всех контрагентов, участвующих в эксплуатационном процессе «ремонт и восстановление по техническому состоянию» на два типа: единица машинно-тракторного парка $M_{ТТ}$ и единица ремонтного отделения C_p . Процесс управления, общей координации и автоматизации всей ремонтной стратегией, с учетом применения цифровых технологий, любой организации обозначен – ЦКУ.

Генератором потока заявок к восстановлению выступает каждая транспортно-технологическая машина $M_{ТТ}$, поскольку содержит в себе определенные свойства и характеристики со стороны теории надежности. C_p – является логической моделью ремонтного звена, именно от качества сервиса зависит уникальность процесса ремонта или обслуживания.

В работе разработана двухуровневая структура модели с множеством составляющих (компонентов), которая показывает всю логическую цепочку планирования технических обслуживаний и ремонтов на локальном уровне и на глобальном уровне организации процесса восстановления работоспособности (рис. 3).

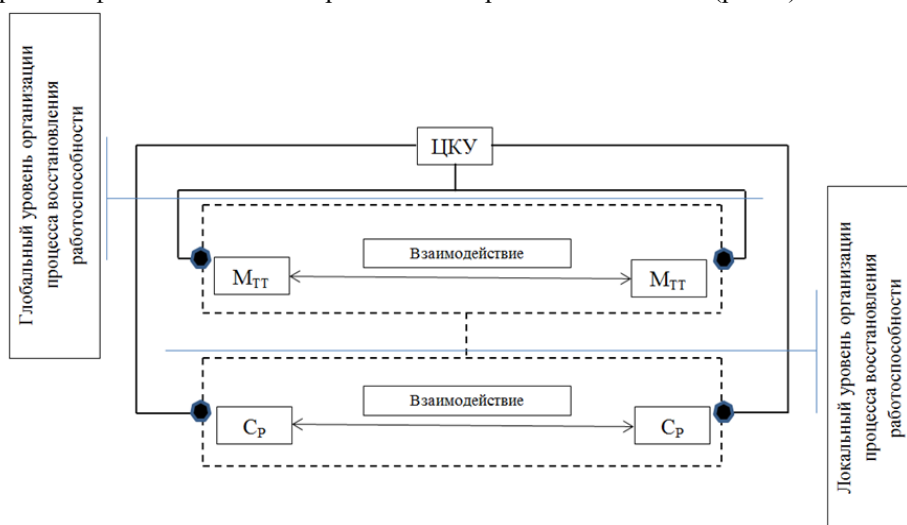


Рис. 3 – Структура двухуровневой многокомпонентной модели технического обслуживания и ремонта

Fig. 3 – Structure of the two-level multicomponent maintenance and repair model

Таким образом, глобальное управление ремонтами транспортно-технологических машин, по получению информации от каждой единицы машин (M_{TT}) должен осуществлять центр координации и управления (ЦКУ). Коммуникационный центр получает отчеты и данные от объектов наблюдений, осуществляет контроль и формирует глобальную стратегию ремонта, с учетом рационализации и ресурсосбережения. На локальном уровне ЦКУ – управляет взаимодействием ремонтных служб и объектов наблюдений в отдельных конкретных случаях ремонта или обслуживания.

Логические принципы независимого взаимодействия компонентов модели, сформулированы на принятом условии о том, что в случае, если сервисная ремонтная единица находится в разгруженном от рабочих процессов состоянии, то ее возможности по ремонту направляются на получение локальных ремонтных заданий.

Далее показаны основные принципы, используемые при определении конкретизированных решений о назначении ремонта тракторов, не зависящих от работы центра координации и управления:

1. Транспортно-технологическая единица имеет состояние «необходим ремонт» (состояние G_3).

Логический принцип 1.1: для каждой машины сельхозорганизации, имеющей статус G_3 , планируется самое низкое (минимальное) среднее время простоя в ожидании ремонта.

Логический принцип 1.2: в тех случаях, когда работники сервисной службы не имеют текущих заданий, на ремонт направляется транспортно-технологическая машина, среднее время восстановления которой минимально.

Логический принцип 1.3: подразумевается задача оперативного ремонта – восстановление, как можно большего количества машин усилиями минимального количества ремонтных единиц. Ремонтные единицы, которые остаются не занятыми, могут быстро отреагировать на внезапные отказы машин.

2. Транспортно-технологическая единица имеет состояние «условный ремонт» (состояние G_2).

Логический принцип 2.1: в тех случаях, когда работники сервисной службы не имеют текущих заданий, на ремонт направляется транспортно-технологическая машина, среднее время восстановления которой минимально.

Для дальнейшего развития логической модели, приводятся основные принципы, применяемые при выборе варианта ремонта транспортно-технологических машин на основе стратегии ремонта, совместного взаимодействия работы центров управления решениями, в том числе на основе накопления и обработки электронно-цифровой информации о техническом состоянии машин.

Для формирования глобальной стратегии восстановления работоспособности транспортно-технологических машин ЦКУ взаимодействует с каждой единицей техники, требования на ремонт отправляются на обработку сервисным ремонтным единицам. Логический процесс совместной работы ЦКУ и подразделений предприятий, осуществляющих ремонт, рассмотрен далее.

Параметр M_N обозначает необходимое количество тракторов, автомобилей и комбайнов для выполнения сельскохозяйственных работ на момент времени, когда проводится анализ. Логические блоки каждой машины (M_{TT}) предоставляют информацию о текущем состоянии трактора в центр управления, координации (ЦКУ). Полученная информация проходит обработку специалистами, отмечается текущее состояние каждой машины со стороны их технической готовности.

Таким образом, количество транспортно-технологических машин, имеющих техническое состояние «необходим ремонт» (G_3) будет равно M_3 . Тогда, количество транспортно-технологических машин, имеющих состояние «условный ремонт» G_2 будет равно M_2 , а машин, которые находятся в работоспособном состоянии M_1 (состояние G_1).

$$M_A = M_1 + M_2 + M_4, \quad (2)$$

где M_A – суммарное число технически исправных транспортно-технологических машин, готовых к выполнению агротехнических операций;

M_1 – машины, которые находятся в технически исправном, работоспособном состоянии;

M_2 – количество машин с большей степенью вероятности требующих ремонта;

M_4 – отведенное окно ремонта.

Центр управления определяет количество тракторов и машин, которые можно отремонтировать в специально отведенное окно ремонта M_4 и в соответствии с логическими условиями 1.1, 1.2 и 1.3 определяет максимально возможное количество транспортно-технологических машин M_{4max} .

Проведенный в работе анализ позволяет вывести правила принятия решений при направлении на ремонт и обслуживание:

1. В случае, когда $M_A < M_N$, достижение необходимых экономических показателей предприятия невозможно с технической стороны. «Логический принцип 1.1».

2. Количество транспортно-технологических машин (M_{TT}), находящихся в состоянии G_1 , удовлетворяет условию $M_1 \geq M_N$, тогда запланированное сельскохозяйственным предприятием число машин будет задействовано в сельскохозяйственных процессах. Тракторы, машины или комбайны, которые, возможно, потребуют ремонта G_3 – должны быть отремонтированы согласно принципу 1.1. После выполнения такого

требования на ремонт или обслуживание свободная ремонтная единица начинает выполнять ремонты машин, находящихся в техническом состоянии G_2 согласно логическому принципу 2.1. Полученное правило обозначено – «Логический принцип 3.2»

3. В случае, когда $M_1 < M_N \leq M_1 + M_2$, единицы транспортно-технологических машин, которые испытывают состояние G_3 , должны ремонтироваться согласно логическому принципу 1.2. «Логический принцип 3.3».

4. Когда $M_1 + M_2 < M_N \leq M_1 + M_2 + M_4$, единицы транспортно-технологических машин, которые испытывают состояние G_3 , должны ремонтироваться согласно функциям оптимизации P_0 . «Логический принцип 3.4».

5. В процессе эксплуатации необходимого

для полноценного функционирования предприятия количества тракторов, автомобилей, комбайнов и других самоходных технических средств, при обслуживании и ремонте – машины с наименьшим остаточным ресурсом (P_0) в первую очередь направляются на сервис. «Логический принцип 3.5».

6. Если на сельскохозяйственном предприятии имеются в наличии машины, которые не используются в текущих производственных процессах, но имеют неисправности и отказавшие элементы, агрегаты (техническое состояние G_2 и G_3) – их ремонт осуществляется по принципам 2.1 и 1.1 соответственно. Данное правило – «Логический принцип 3.6».

Общий алгоритм принятия решений при направлении на ремонт показан на рисунке 4.

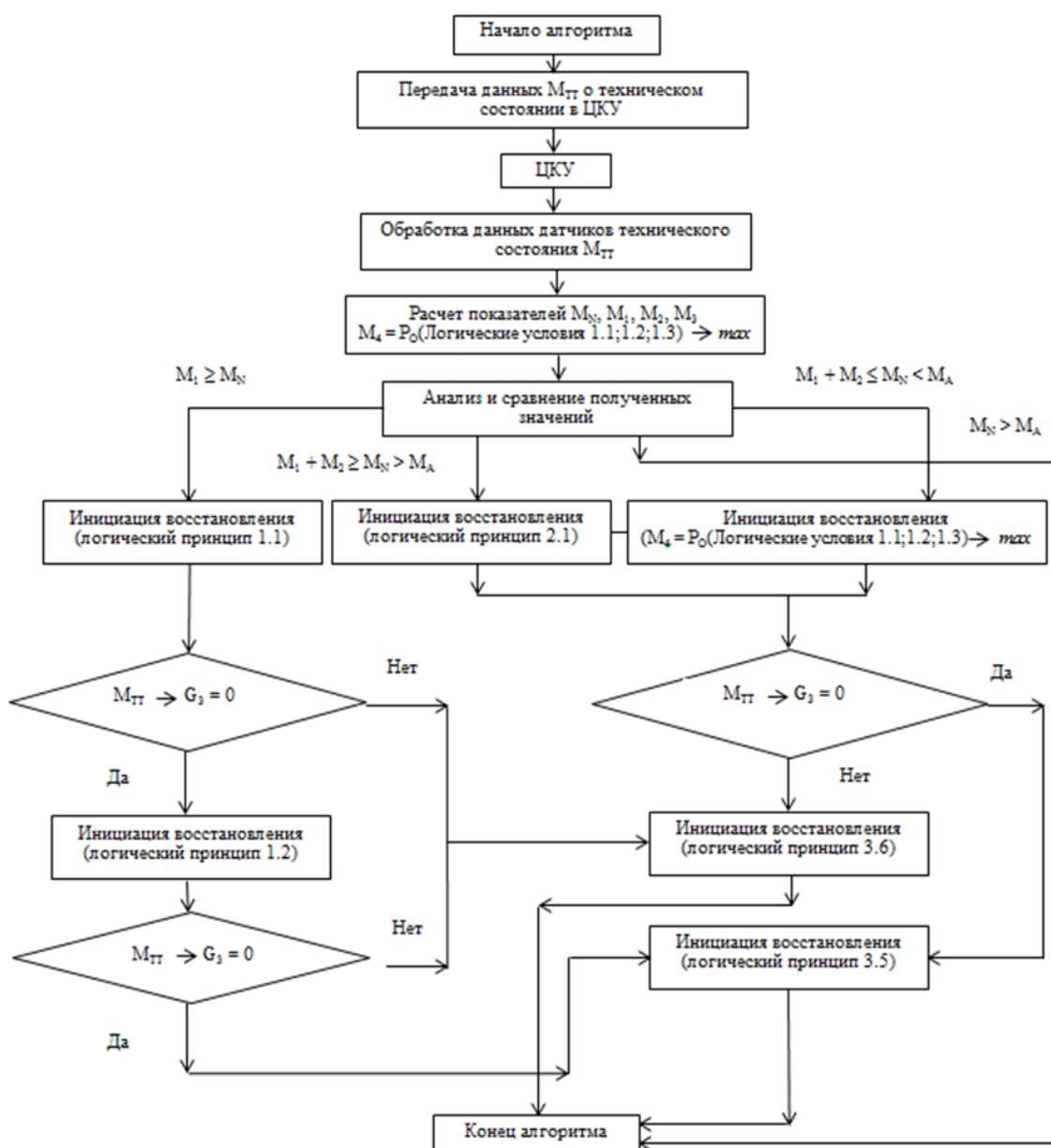


Рис. 4 – Алгоритм направления техники на ремонт при восстановлении работоспособности

Fig. 4 – Algorithm for assigning equipment for repair when restoring operability

Взаимодействие участников производственного сельскохозяйственного процесса в агентных моделях может быть реализовано различными способами. Связи между агентами (единицы ремонтного отделения, центр координации и управления, транспортно-технологические машины) должны быть достаточно постоянными, чтобы агенты

имели возможность запоминания тех блоков алгоритма, которые состоят с ним в какой-то связи. Смысл таких связей, в данном частном случае модели обслуживания и ремонта на основе информационных технологий следующий: машина, поломка, информационная поддержка, ремонт, ввод в эксплуатацию (рис. 5).

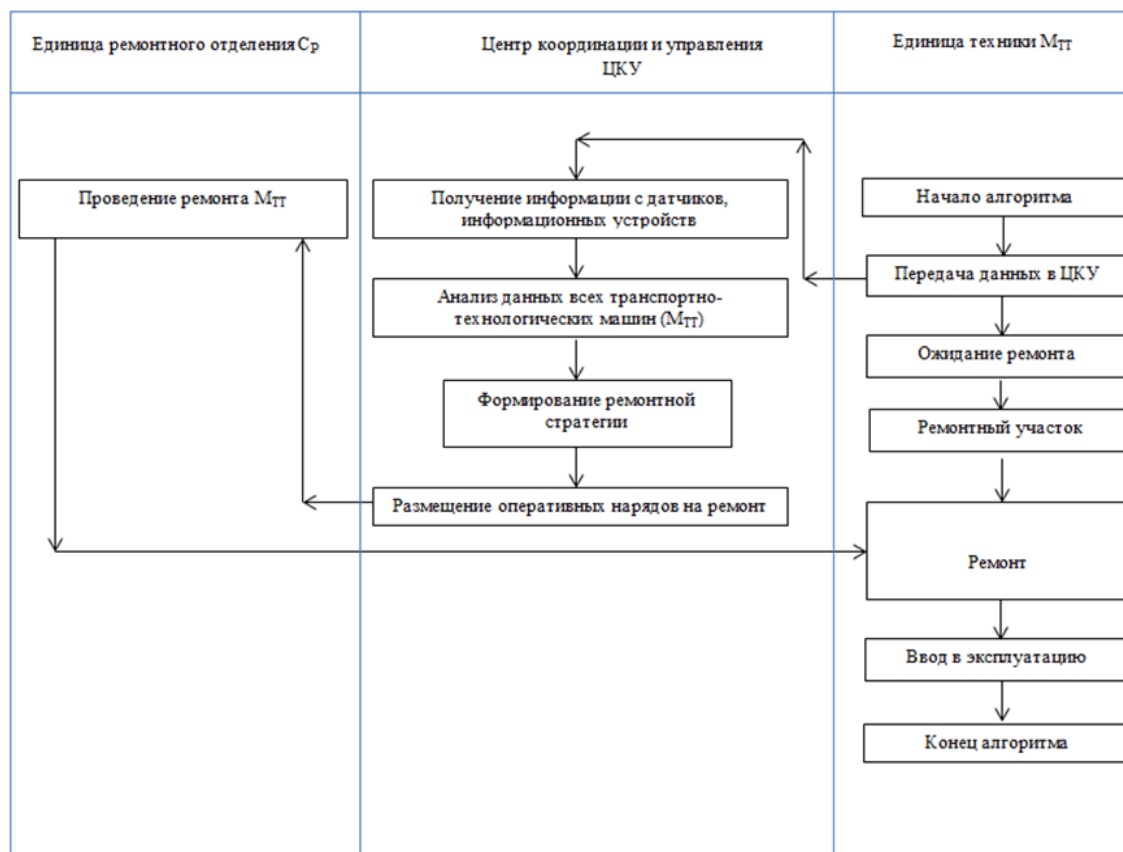


Рис. 5 - Взаимодействие между агентами логической концептуальной модели технического обслуживания и ремонта

Fig. 5 – Interaction between agents of the logical conceptual model of maintenance and repair

В целом, технологии математического и логического моделирования решения задач распределяются на два направления: широко распространенное математическое моделирование и методы информационного логического моделирования, которые и нашли отражение в данной научной работе при организации сложноорганизованных систем агропромышленного производства.

Выводы. Разработанная двухуровневая логическая модель с классификацией технических состояний G1, G2, G3 и системных принципов 1.1–3.6 позволяет формализовать процесс принятия решений при ремонте по фактическому состоянию. Оценочно применение такой модели снижает время простоя

машин 30% (на основе сравнения с традиционными стратегиями).

Приоритизация ремонтов по остаточному ресурсу (P_0) и выделение «окна ремонта» M_4 повышают коэффициент технической готовности машинно-тракторного парка; логические принципы 1.1–3.6 могут быть реализованы в виде программного модуля для центра координации и управления (ЦКУ).

Предложенная концептуальная модель обеспечивает абстрактное представление системы технического сервиса, пригодное для последующей имитационной реализации и адаптации к различным масштабам предприятий АПК без изменения базовых логических ядер.

Литература

1. Автоматизированный выбор агротехнологии тракторного парка сельхозпредприятия: программный комплекс / В.В. Альт, С.П. Исакова, О.В. Ёлкин и др. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 4 (317). С. 65–74. doi: 10.26898/0370-8799-2025-4-7.
2. Buraev M., Tronts A., Shisteev A. et al. Strategy of service and maintainability of machines. Robotics, Machinery and engineering technology for precision agriculture. Proceedings of XIV International scientific conference “Interagromash 2021”. Springer Nature Switzerland AG, 2022. 21–27. doi: 10.1007/978-981-16-3844-2_3.

3. Рассомагин А.С. Оптимизация стратегии технического обслуживания и ремонтов с применением интеллектуальных методов // Инновации и инвестиции. № 7. 2019. С. 130-136.
4. Елтышев Д.К. К вопросу о разработке интеллектуальной экспертно-диагностической системы для оценки состояния электротехнического оборудования // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 3 (35). С. 57-63. doi: 10.18324/2077-5415-2017-3-57-63.
5. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / А.Р. Валиев, Р.М. Низамов, Р.И. Сафин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1 (65). С. 97-107. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
6. Черноиванов В.И. История развития ремонтной базы сельскохозяйственной техники в России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18. № 1. С. 4-12. doi: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12.
7. Криков А.М., Иванников А.Б., Сидоренко М.Н. Система усовершенствованных методов прогнозирования технического состояния автомобилей // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 7 (320). С. 94-103. doi: 10.26898/0370-8799-2025-7-11.
8. Оперативный контроль мощностных показателей дизельных двигателей с топливной системой типа Common rail / Ф.Р. Сафин, Р.М. Баширов, А.В. Неговора и др. // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33. № 2. С. 192-206. doi: 10.15507/2658-4123.033.202302.192-206.
9. Krivtsov S.N., Nemchinova N.V., Tyutrin A.A. et al. Improving the environmental safety of transport equipment using biodiesel produced from waste vegetable. Applied Sciences (Switzerland). 2026. Т. 16. № 7. doi: 10.3390/app16073487.
10. Обеспечение эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники с учетом региональных особенностей / И.И. Габитов, А.В. Неговора, М.Н. Фархшатов и др. // Технический сервис машин. 2024. Т. 62. № 1. С. 36-43. doi: 10.22314/2618-8287-2024-62-1-36-43.

References

1. Alt VV, Isakova SP, Elkin OV. [Automated selection of agricultural technology for tractor fleet of an agricultural enterprise: a software package]. Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2025; Vol.55. 4 (317). 65-74 p. doi: 10.26898/0370-8799-2025-4-7.
2. Buraev M, Tronts A, Shisteev A. Strategy of service and maintainability of machines. Robotics, machinery and engineering technology for precision agriculture. Proceedings of XIV International scientific conference "Interagromash 2021". Springer Nature Switzerland AG. 2022; 21-27 p. doi: 10.1007/978-981-16-3844-2_3.
3. Rassomagin AS. [Optimization of the strategy of technical maintenance and repairs using intelligent methods]. Innovatsii i investitsii. 7. 2019; 130-136 p.
4. Eltyshv DK. [On the issue of developing an intelligent expert-diagnostic system for assessing the condition of electrical equipment]. Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2017;3(35).57-63p. doi:10.18324/2077-5415-2017-3-57-63.
5. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI. [Priorities for agro-industrial complex development and tasks of agricultural science and education]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1 (65). 97-107 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
6. Chernov Ivanov VI. [Development history of repair base of agricultural machinery in Russia]. Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2024; Vol.18. 1. 4-12 p. doi: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12.
7. Krikov AM, Ivannikov AB, Sidorenko MN. [System of improved methods for forecasting the technical condition of vehicles]. Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2025; Vol.55. 7 (320). 94-103 p. doi: 10.26898/0370-8799-2025-7-11.
8. Safin FR, Bashirov RM, Negovora AV. [Operational monitoring of power indicators of diesel engines with a common rail fuel system]. Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2023; Vol.33. 2. 192-206 p. doi: 10.15507/2658-4123.033.202302.192-206.
9. Krivtsov SN, Nemchinova NV, Tyutrin AA. Improving the environmental safety of transport equipment using biodiesel produced from waste vegetable. Applied Sciences (Switzerland). 2026; Vol.16. 7. doi: 10.3390/app16073487.
10. Gabitov II, Negovora AV, Farkhshatov MN. [Ensuring the operational reliability of agricultural machinery, taking into account regional characteristics]. Tekhnicheskii servis mashin. 2024; Vol.62. 1. 36-43 p. doi: 10.22314/2618-8287-2024-62-1-36-43.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторе:

Шистеев Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и общинженерных дисциплин Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Российская Федерация, Иркутская область, Иркутский район, посёлок Молодёжный, 1/1), e-mail: drive-er@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8117-1263

Автор ознакомился и одобрил окончательный вариант рукописи.

Поступила 07.10.2025; одобрена после рецензирования 26.05.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Author:

Shisteev Aleksey Valerevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Services and General Engineering Disciplines Department Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevskiy (1/1, Molodezhny settlement, Irkutsky District, Irkutsk Oblast, 664038, Russian Federation), e-mail: drive-er@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8117-1263

The author have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 07.10.2025; revised 26.05.2026; accepted 25.06.2026.



**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БАЗЫ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

© 2026 Газетдинов Ш. М.¹✉, Якимова О. Ю.², Коваленко Е. Г.², Зиганшин Б. Г.¹

¹*Казанский государственный аграрный университет
(г. Казань, Российская Федерация)*

²*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева
(г. Саранск, Российская Федерация)
✉ gazetdinov.shamil@yandex.ru*

Реферат. Исследование методологических аспектов формирования и развития экономической базы сельских территорий показало, что особую роль в этом процессе играют интегрированные аграрные формирования, которые являются центральными пунктами в системе территориального разделения труда и процесса воспроизводства рабочей силы. Анализ развития концепции экономической базы в условиях формирования сельских территориальных систем выявил, что эта концепция в ее традиционном виде не соответствует современным представлениям об источниках и конечных целях развития территориальных социально-экономических систем и требует существенных дополнений. Это связано с исчерпанием ресурсов экстенсивного роста экономики и переходом к интенсивной модели. Выявлена тенденция формирования тесной и прямой зависимости между развитием интегрированных аграрных формирований и ростом непродовольственной сферы в сельских территориях. При этом научная новизна заключается в выявлении ослабления связи между аграрной занятостью и динамикой сельского населения в регионах с крупными аграрными формированиями. Указанную динамику необходимо учитывать при проведении перспективных расчетов численности сельского населения при разработке стратегии развития субъектов крупного, среднего и малого предпринимательства. При этом недопустимо рассматривать сельское пространство как источник имеющихся ресурсов, не учитывая такие аспекты, как влияние на уровень жизни населения, благоустройство населенных пунктов, доступность рабочих мест, социальных центров и рекреационных зон. Существенным аспектом развития теории экономической базы должен быть учет взаимосвязей отдельных сельских территорий и их реального функционирования в рамках межтерриториальных кооперационных структур. Таким образом, концепция развития и территориальной организации экономической базы сельских территорий должна учитывать две взаимосвязанные стороны. С одной стороны, она должна развиваться как самостоятельный территориально-производственный комплекс, представляющий собой экономически целостную и территориально обособленную часть народнохозяйственного комплекса. С другой стороны, она должна функционировать как функциональная подсистема, обеспечивающая устойчивое развитие сельских территорий.

Ключевые слова: сельская территория, опорный населенный пункт, сельская территориальная система, интегрированные аграрные формирования.

Для цитирования: Методологические аспекты формирования и развития экономической базы сельских территорий / Ш.М. Газетдинов, О.Ю. Якимова, Е.Г. Коваленко, Б.Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 107-116. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-107-116

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF ECONOMIC
BASE OF RURAL AREAS**

© 2026 Gazetdinov Sh. M.^a✉, Yakimova O. Yu.^b, Kovalenko E. G.^b, Ziganshin B. G.^a

^a*Kazan State Agrarian University
(Kazan, Russian Federation)*

^b*National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev
(Saransk, Russian Federation)
✉ gazetdinov.shamil@yandex.ru*

Abstract. Study of the methodological aspects of formation and development of economic base of rural areas has shown that integrated agrarian formations, which are central points in the system of territorial division of labor and the process of labor reproduction, play a special role in this process. An analysis of economic base concept development in the context of rural territorial systems formation revealed that this concept, in its traditional form, does not correspond to modern understandings of the sources and ultimate goals of territorial socio-economic system development and requires significant revision. This is due to the exhaustion of extensive economic growth resources and the transition to an intensive model. A trend toward a close and direct relationship between the development of integrated agrarian formations and the growth of the non-production sector in rural areas is revealed. The scientific novelty lies in the identification of a weakening relationship between agricultural employment and rural population dynamics in regions with large agricultural formations. This dynamic must be taken into account when conducting

prospective calculations of rural population size when developing development strategies for large, medium and small businesses. It is unacceptable to view rural space as a source of available resources without considering aspects such as its impact on the population's standard of living, the amenities of populated areas and the accessibility of jobs, social centers and recreational areas. A significant aspect of developing the economic base theory must be consideration of the interconnections between individual rural territories and their actual functioning within inter-territorial cooperative structures. Thus, the concept of the development and territorial organization of the economic base of rural territories must consider two interrelated aspects. On the one hand, it must develop as an independent territorial production complex, representing an economically integral and territorially distinct part of the national economic complex. On the other hand, it must function as a functional subsystem ensuring the sustainable development of rural territories.

Key words: rural area, anchor settlement, rural territorial system, integrated agrarian formations.

For citation: Gazetdinov ShM, Yakimova OYu, Kovalenko EG, Ziganshin BG. [Methodological aspects of formation and development of economic base of rural areas]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol. 21. 2(82). 107-116 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-107-116

Введение. Обеспечение комплексного развития сельских территорий представляет собой одну из наиболее актуальных задач в рамках современного этапа развития экономики страны. Решение этой задачи является ключевым фактором для повышения общей эффективности аграрного сектора и, как следствие, для более полного удовлетворения потребностей населения в продукции сельского хозяйства. Особую значимость в данном контексте приобретает совершенствование деятельности крупных интегрированных аграрных формирований, учитывая их исключительную роль в структуре аграрной экономики и жизни сельских территорий. Согласно имеющимся исследованиям, в Приволжском федеральном округе на предприятиях интегрированных формирований, которые владеют до 70% основных производственных фондов сельскохозяйственного назначения, занято более 30 % сельского населения [1]. Они функционируют в качестве центральных пунктов в сложившейся системе территориального разделения труда и процесса воспроизводства рабочей силы, аккумулируя в себе значительный научно-технический и социально-экономический потенциал сельской местности. Благодаря этому они обеспечивают

для сельских жителей наиболее широкое и разнообразное поле для выбора сферы приложения труда.

Цель исследования – анализ эволюции и расширение теоретических аспектов формирования экономической базы сельских территорий.

Условия, материалы и методы. В период с 2019 по 2024 год объем производства сельскохозяйственной продукции в Приволжском федеральном округе продемонстрировал значительный рост, увеличившись на 780,788 млрд руб., что составило 59,29% от исходного значения в 1316,907 млрд руб. Наиболее существенный прирост был зафиксирован в Саратовской области (104,676 млрд руб. или 72,1%), Республике Татарстан (92,497 млрд руб. или 37,2%) и Оренбургской области (91,952 млрд руб. или 81,4%) (рис. 1). В то же время в ряде регионов, таких как Республика Марий Эл, Чувашская Республика и Удмуртская Республика, темпы роста были существенно ниже. Несмотря на общую положительную динамику, отрасль продолжает сталкиваться с системными проблемами, включая износ основных фондов, дефицит инвестиций и нехватку квалифицированных кадров.



Рис. 1. - Производство продукции сельского хозяйства в регионах Приволжского федерального округа в 2019 и 2024 годы, млрд руб

Fig. 1. – Agricultural production in the regions of the Volga Federal District in 2019 and 2024, billion rubles

Источник: составлено авторами с использованием данных Росстата
Source: compiled by the authors using Rosstat data

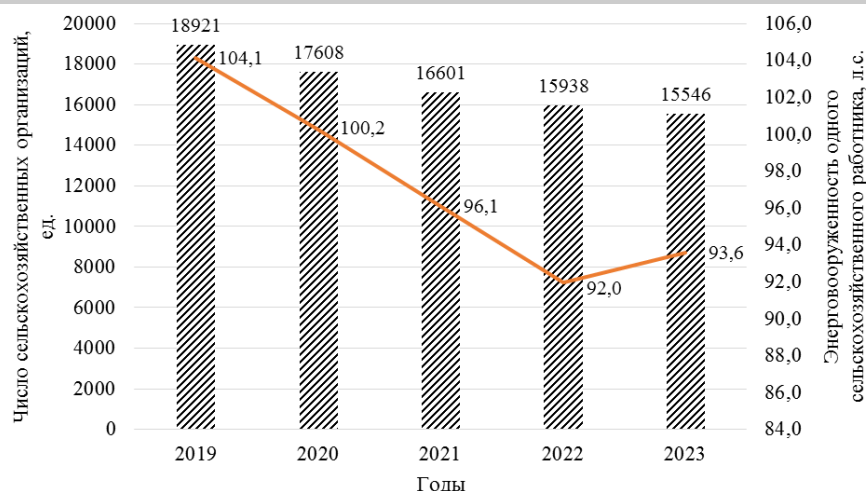


Рис. 2. - Динамика числа сельскохозяйственных организаций и энерговооруженности работников в Приволжском федеральном округе

Fig. 2. – Dynamics of the number of agricultural organizations and the power-to-labor ratio of workers in the Volga Federal District

Источник: составлено авторами с использованием данных Росстата
Source: compiled by the authors using Rosstat data

Повышение уровня технической оснащенности и механизации создает фундамент для внедрения прогрессивных форм организации производства и его укрупнения, способствующих его интенсификации и улучшению условий труда (рис. 2). В этом контексте ключевым направлением выступает формирование крупных интегрированных сельскохозяйственных предприятий, организация труда в которых является частью перехода на новые методы хозяйствования, ориентированные на повышение эффективности общественного производства. В Приволжском федеральном округе за исследуемый период количество сельскохозяйственных организаций сократилось более чем на 3400 единиц, при этом наиболее

значительное уменьшение (до 500 единиц) наблюдалось в Нижегородской и Оренбургской областях. Важной особенностью крупных интегрированных формирований является возможность наращивания объемов производства при относительно меньших затратах труда и сокращении численности занятых. Исследования подтверждают, что в регионах ПФО за период с 2019 по 2024 год рост энерговооруженности одного работника сопровождался увеличением объемов сельскохозяйственной продукции при одновременном снижении численности занятых в отрасли. В целом по округу среднегодовая численность работников сельского хозяйства уменьшилась на 131 тысячу человек, что составило 12,9% (рис. 3).

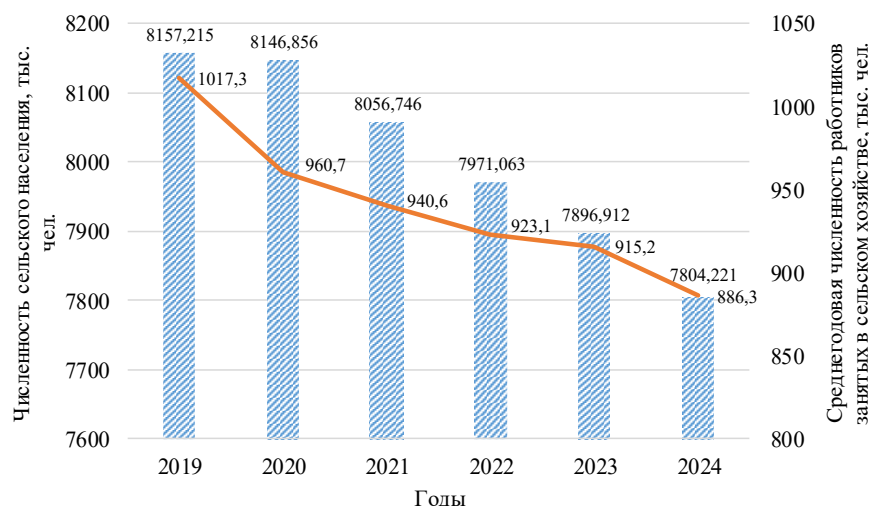


Рис. 3. - Динамика численности сельского населения и среднегодовой численности работников, занятых в сельском хозяйстве в Приволжском федеральном округе в период с 2019 года по 2024 год, чел

Fig. 3. – Dynamics of the rural population and the average annual number of workers employed in agriculture in the Volga Federal District from 2019 to 2024, people

Источник: составлено авторами с использованием данных Росстата
Source: compiled by the authors using Rosstat data

В связи с этим интенсификацию производства следует рассматривать как способ хозяйствования, при котором рост выпуска продукции достигается при относительном сокращении используемых материальных, трудовых и иных ресурсов. Это становится возможным благодаря совершенствованию материально-технической базы, внедрению достижений научно-технического прогресса и оптимизации организации труда и производства. Материальной основой данного процесса являются современные средства производства и технологии, обеспечивающие переход на автоматизированные технологии и повышающие долю механизированных операций.

Сокращение численности работников в сельском хозяйстве непосредственно влияет на демографическую ситуацию в сельских территориях. Анализ данных подтверждает устойчивую тенденцию к снижению сельского населения в Российской Федерации: с 37 млн человек в 2019 году до 36 млн человек 2024 году, сокращение составило 2,7%. Аналогичная динамика наблюдается в Приволжском федеральном округе, где за исследуемый период численность сельского населения уменьшилась за указанный период на 4,33% (рис. 3). Анализ выявил ослабление связи занятости и численности населения в регионах с интегрированными формированиями. Наиболее значительное снижение по состоянию на 1 января 2025 года зафиксировано в Саратовской (52 502 чел.), Оренбургской (47 137 чел.) и Нижегородской (46 087 чел.) областях. При этом рост численности сельского населения отмечен лишь в

двух регионах ПФО: Республике Татарстан и Самарской области. В контексте анализа снижения численности сельского населения одним из важных направлений исследования является выявление побудительных причин, заставляющих население перемещаться из сельской местности в города. Среди них отставание сельскохозяйственного производства по уровню технической оснащенности по сравнению с другими отраслями, особенно промышленностью, и его зависимостью от уровня затрат живого труда. Кроме этого в последние годы в отрасли формируется и растет неудовлетворенный спрос на рабочую силу, несмотря на значительную долю занятого трудоспособного населения (около 20%). Сочетание высокой занятости и растущего спроса на кадры на фоне ускоряющегося технологического перевооружения указывает на то, что в сельском хозяйстве до сих пор преобладали экстенсивные формы производства. Таким образом, хотя дефицит рабочей силы в регионах, таких как Саратовская и Оренбургская области, имеет объективные причины, и его смягчение требует мер по закреплению населения на селе.

Следовательно, решение большинства сельскохозяйственных работников о смене сельского образа жизни на городской формируется не в школьные годы, а в процессе их непосредственной трудовой деятельности, главным образом в аграрном секторе. Практический опыт, позволяющий оценить условия, содержание, организацию и оплату труда в сельском хозяйстве, приводит к переоценке ранее сложившихся социальных ценностей.

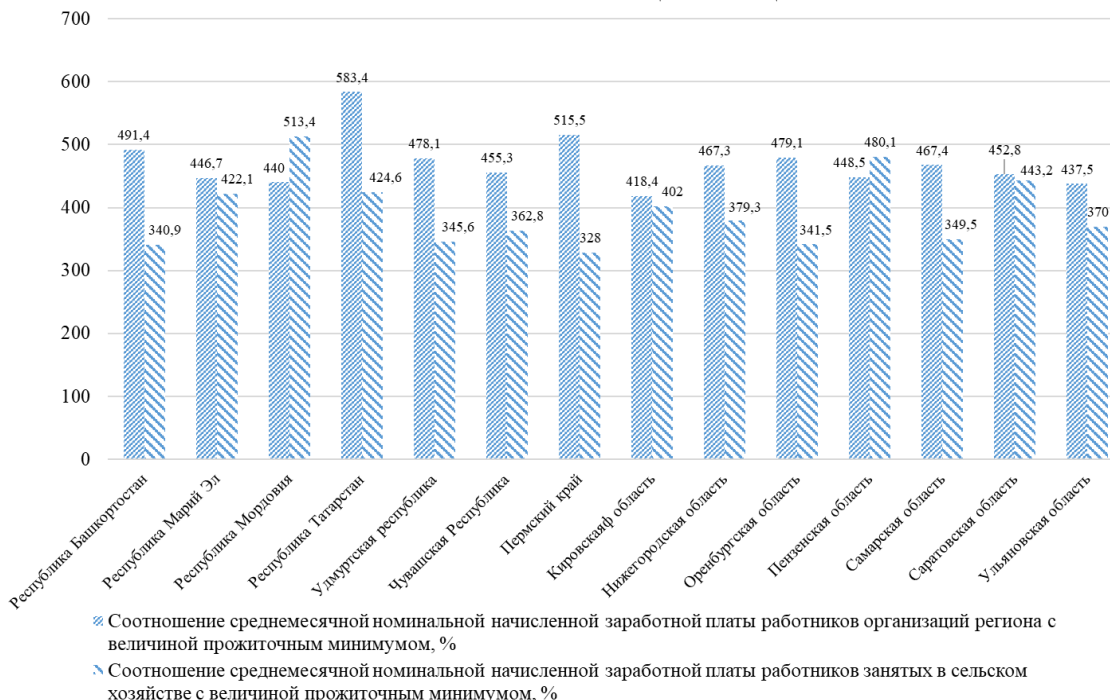


Рис.4. - Показатели соотношения среднесесячной номинальной начисленной заработной платы работников организаций и сельскохозяйственных работников с величиной прожиточного минимума в Приволжском федеральном округе в 2024 году, %

Fig. 4. – Indicators of the ratio of the average monthly nominal accrued wages of organization employees and agricultural workers to the subsistence minimum in the Volga Federal District in 2024, %

Источник: составлено авторами с использованием данных Росстата

Source: compiled by the authors using Rosstat data

Vestnik of Kazan State Agrarian University № 2(82) 2026

Престижность труда и привлекательность сельского образа жизни складываются под влиянием множества факторов, включая не только улучшение условий производства, но и соотношение спроса и предложения на рынке труда. Влияние этих факторов особенно заметно в сельской местности, где численность трудоспособного населения исторически обусловлена демографической ситуацией. Ключевую роль среди таких факторов играет интенсификация производства, совершенствование его организации, трудовой деятельности и системы материального стимулирования. Сравнение среднемесячной номинальной начисленной заработной платы работников организаций и сельскохозяйственных работников с величиной прожиточного минимума в Приволжском федеральном округе в 2024 году наглядно показывает отставание оплаты труда в сельском хозяйстве (рис. 4).

Одним из направлений выравнивания уровня оплаты труда в современный период является совершенствование форм организации производства и оплаты труда на основе принципов рыночной экономики. В Приволжском федеральном округе существует ряд успешных интегрированных аграрных формирований, таких как Агрофирма «Август», ООО «Башкирская мясная компания», АО «Иволга», сельскохозяйственный производственный кооператив «Звениговский» и др., где комплексно решаются проблемы обеспечения рабочей силой и эффективного развития производства на основе развития производственной и социальной инфраструктуры сельских территорий.

При написании статьи использовались методы научной абстракции, монографический, расчетно-конструктивный и другие, применяемые в исследовании социально-экономических явлений.

Результаты и обсуждение. Как демонстрирует конкретный анализ, дальнейшее развитие сельских территорий сталкивается с серьезными препятствиями, носящими территориально-пространственный, социально-демографический и экономический характер. Эти трудности в значительной степени ограничивают потенциальный рост объемов производства и повышение его эффективности в ситуации, когда развитие протекает обособленно и автономно. Обособленное функционирование населенных пунктов, расположенных в зонах влияния крупных аграрных формирований, приводит к хроническому недоиспользованию имеющихся территориальных и трудовых ресурсов, а также объектов производственной и социальной инфраструктуры. Помимо этого, сохраняется и медленно преодолевается существенный разрыв в условиях ведения хозяйственной деятельности и выбора сферы для предпринимательства между крупными предприятиями и прочими субъектами малого и среднего предпринимательства. В совокупности эти проблемы обуславливают снижение общей социально-экономической эффективности развития производительных сил сельских территорий [2].

Существующие противоречия в развитии

сельских территорий не могут быть принципиально разрешены в условиях относительно автономного развития крупных аграрных предприятий и зон их влияния. В связи с этим возникает насущная потребность в перестройке деятельности в сельской местности, результатом которой должно стать формирование сельской территориальной системы (СТС) с центром в форме опорного населенного пункта (ОНК). Такая система предполагает общую функционально-пространственную организацию, интегрирующую все сельские населенные пункты и межселенные территории. Инициатива по первоочередному формированию СТС полностью синхронизируется с основным направлением долгосрочной государственной политики, нацеленной на обеспечение комплексного и устойчивого развития сельских территорий в нашей стране [3].

Эволюция форм сельских территориальных систем происходит под прямым влиянием структурных сдвигов и трансформаций в территориальной организации общественного производства. При этом крупные интегрированные аграрные формирования и взаимосвязанные с ними субъекты предпринимательства из других отраслей базируются на совокупных экономических, социальных, трудовых, демографических и природных ресурсах, а также на объектах производственной и социальной инфраструктур сельских территорий. Как справедливо отмечает Хилинская И. В., «в современных условиях организационно-экономический потенциал предопределяет способность к долговременному устойчивому функционированию и обеспечению конкурентных преимуществ на внешнем и внутреннем рынках» [4]. Под воздействием этого процесса меняются не только количественные параметры сельских территорий, такие как численность населения и темпы роста сельских поселений, но и их качественные характеристики. К последним относятся характер занятости и социально-демографическая структура, доступность рабочих мест и услуг социально-бытового и культурного обслуживания, а также направленность и интенсивность связей населения с другими сельскими территориями и городом. В зависимости от развития экономической базы СТС должны претерпевать изменения и такие показатели, как обеспеченность услугами социальной инфраструктуры, функциональное зонирование территории и общая эффективность ее использования. Таким образом, это воздействие охватывает абсолютно все стороны функционально-пространственной организации сельских территориальных систем, становясь одним из фундаментальных элементов развития регионов в целом. В сложившихся условиях «глобальный» зональный подход утрачивает свое прежнее значение, и ему на смену должен прийти более детальный экономический анализ, учитывающий специфические условия и потенциал как центральных, так и периферийных частей каждой отдельной сельской территории [5, 6, 7]. Следовательно, целенаправленная организация экономической базы сельских территорий в неразрывном единстве с их общей

функционально-пространственной организацией превращается в важнейший инструмент формирования СТС как целостных территориальных форм деятельности. Эти формы развиваются преимущественно в зонах влияния крупнейших городов, выполняющих роль индустриальных центров.

В этих условиях становится очевидной необходимость разработки системной концепции, направленной на развитие и территориальную организацию единой экономической базы сельских территориальных систем в ее тесной взаимосвязи с формированием эффективной производственной и социальной инфраструктуры. Важным элементом этой работы является определение комплексных критериев и показателей для оценки принимаемых решений.

Основополагающая идея теории экономической базы [8, 9] состоит в том, что движущей силой развития региональной экономики признается внешний спрос на производимую в регионе продукцию. При этом внутренний спрос, хотя и не отрицается полностью как потенциальный источник роста доходов и занятости, не рассматривается в качестве значимого фактора развития. Данный подход имеет под собой логическое обоснование, поскольку система, ориентированная исключительно на внутренний спрос, оказывается в зависимости от него и ограничена его конечными объемами. Это утверждение остается справедливым даже с учетом возможного роста потребительского спроса, вызванного увеличением численности населения и расширением производства. Исходя из этой логики, устойчивое развитие СТС предлагается связывать с разделением хозяйственного комплекса сельских территорий на два сектора: во-первых, это «сложившиеся специализации», куда входят предприятия, сбывающие свою продукцию за пределами данной территории, и, во-вторых, обслуживающий сектор, представленный предприятиями и учреждениями инфраструктуры, удовлетворяющими местные потребности.

Отрасли «сложившихся специализаций» демонстрируют роль СТС в территориальном разделении труда и определяют ее место в производственно-хозяйственном комплексе региона. Масштабы развития этих отраслей напрямую влияют на такие ключевые параметры, как уровень занятости, трудовая активность населения и, как следствие, определяют перспективную численность жителей сельских территорий.

В дальнейшем, в несколько модифицированном виде, но без изменения основной посылки, анализ экономической базы получил развитие в рамках теории «региональной экспортной базы» [10, 11]. Согласно этой теории, развитие региона предопределяется прогрессом его экспортоориентированных отраслей, то есть спросом, возникающим за его пределами. Справедливо считают Киреева А. Н. и Сухорукова А. М., что «рост и реализация экспортного потенциала регионального АПК позволяет повысить эффективность использования природных ресурсов и преимуществ территориального

разделения труда, увеличить занятость сельского населения и решить проблему безработицы и т. д.» [12].

Практическое применение расчета перспективной численности населения сельских территорий на основе прогнозных масштабов развития отраслей «сложившихся специализаций» считаем обоснованным в проектной практике при разработке схем и проектов сельской территории [1]. Данный подход целесообразно использовать также при прогнозировании потребности в трудовых ресурсах и в настоящее время.

Оценивая основные положения теории экономической базы, следует, прежде всего, отметить практическую трудность, связанную с разделением предприятий и организаций сельских территорий на категории «сложившихся специализаций» и обслуживающей инфраструктуры, и их количественного определения [13, 14, 15].

Однако помимо проблем идентификации и измерения, концепция экономической базы в ее традиционном виде, сложившемся для определения масштабов развития регионов, по нашему мнению, не вполне соответствует современным представлениям об источниках и конечных целях развития территориальных социально-экономических систем и, как следствие, требует существенных дополнений.

Во-первых, в условиях современной экономики, для которой характерно исчерпание ресурсов экстенсивного роста и переход к интенсивной модели, увеличение объемов производства в отраслях «сложившихся специализаций» на сельских территориях будет в возрастающей степени обеспечиваться не за счет привлечения дополнительных трудовых ресурсов, а благодаря факторам научно-технического прогресса. Это утверждение справедливо для большинства территорий, за исключением обезлюдивших, где вопрос кадров остается острым.

Во-вторых, параллельно с этим повышение уровня благосостояния местного населения оказывается тесно связанным с развитием непроизводственной сферы, в особенности отраслей социально-бытового и культурного обслуживания. Технологические и производственные особенности этой сферы закономерно требуют значительного увеличения численности занятых в ней. Таким образом, в ситуации, когда общая занятость в «сложившихся специализациях» стабилизируется или даже сокращается под влиянием научно-технического прогресса, основная часть работников неизбежно будет перераспределяться в отрасли социальной инфраструктуры. Данная тенденция наиболее ярко проявляется в крупных интегрированных аграрных формированиях, которые концентрируют не только свои производственные подразделения, но и учреждения обслуживания, имеющие межселенное значение. Следствием этого является то, что по мере развития взаимосвязь между занятостью в отраслях специализации и ростом численности населения сельских территорий постепенно ослабевает. Вместо нее формируется более тесная и прямая

зависимость между развитием крупных аграрных формирований и ростом непроизводственной сферы. Указанную динамику крайне важно учитывать при проведении перспективных расчетов численности сельского населения, разработке схем территориального планирования, а также при формировании стратегий развития субъектов крупного, среднего и малого предпринимательства на местах.

В-третьих, кроме того, теория экономической базы имплицитно предполагает, что состав и масштабы развития отраслей «сложившихся специализаций» определяются на региональном или национальном уровне, а затем, через механизмы государственного стимулирования и в рамках общих планов, доводятся до конкретных предприятий для реализации. По нашему мнению, формирование такого подхода происходило под значительным влиянием сложившейся практики государственной поддержки определенных отраслей сельского хозяйства, а также процедур разработки национальных программ развития отдельных сфер деятельности, включая поддержку малого и среднего предпринимательства на селе [16, 17]. Однако эти инструменты, адекватные для отраслевой системы планирования и управления, зачастую оказываются недостаточно гибкими для того, чтобы в полной мере учесть региональные интересы и специфику пространственной организации хозяйственной деятельности.

Указанные методологические подходы обуславливают слабую взаимосвязь между решениями о территориальном размещении отраслей «сложившихся специализаций» и комплексной оценкой их социально-экономических последствий для развития сельских территорий. В сложившейся практике размещения производств доминирующее значение имеют отраслевые нормативы потребления ресурсов, тогда как социально-экологические факторы зачастую рассматриваются исключительно как дополнительная нагрузка, снижающая экономическую эффективность того или иного варианта локализации. В рамках такого подхода сельское пространство воспринимается преимущественно как источник имеющихся ресурсов, а такие значимые аспекты, как влияние на уровень жизни населения, благоустройство населенных пунктов, доступность рабочих мест, социальных центров и рекреационных зон, не становятся предметом самостоятельного экономического анализа и систематически не учитываются в процессе принятия управленческих решений. В результате достигаемые краткосрочные отраслевые эффекты в среднесрочной и долгосрочной перспективе оборачиваются совокупными потерями с точки зрения комплексного социально-экономического развития сельских территорий [18, 19, 20].

В-четвертых, существенным ограничением теории экономической базы является также недостаточный учет взаимосвязей между отдельными сельскими территориями и их реальным функционированием в рамках различных ассоциаций или межтерриториальных

кооперационных структур. Подобное игнорирование пространственной взаимосвязанности населенных пунктов существенно сужает спектр возможных решений в области развития существующих и размещения новых производств, а также оставляет нереализованным потенциал межтерриториальной кооперации, направленной на совместное и более эффективное использование ресурсов всего территориального образования.

Таким образом, концепция развития и территориальной организации экономической базы СТС должна комплексно учитывать две взаимосвязанные стороны. С одной стороны, она должна развиваться как самостоятельный территориально-производственный комплекс, представляющий собой экономически целостную и территориально обособленную в пределах СТС часть народнохозяйственного комплекса. С другой стороны, она должна выполнять роль функциональной подсистемы, обеспечивающей устойчивое развитие сельских территорий, что подразумевает взаимосвязанную совокупность центров производственной деятельности, размещаемых в сельских населенных пунктах в соответствии со сложившейся специализацией территории.

Другими словами, территориальная организация экономической базы в рамках СТС должна, с одной стороны, основываться на тенденциях развития региональной экономики и интенсификации общественного производства, а с другой – учитывать социально-экономические требования, связанные с рациональной организацией труда и жизнедеятельности в сельской местности.

Проведенный анализ производства и реализации сельскохозяйственной продукции в регионах Приволжского федерального округа демонстрирует, что в настоящее время ключевое влияние на динамику и специфику территориальной организации экономической базы оказывают глубокие структурно-отраслевые преобразования. Эти изменения проявляются в совершенствовании форм управления общественным производством, а также в интенсификации процессов концентрации, специализации, производственной интеграции и кооперации.

Во-первых, наблюдается стремительная трансформация отраслевой структуры экономической базы как на уровне сельских территорий, так и в региональном масштабе. Структурные сдвиги развиваются по двум основным направлениям. Прежде всего, изменяется соотношение между производственной и непроизводственной сферами, особенно заметное в сельских территориях с присутствием крупных интегрированных аграрных формирований. Здесь отмечается опережающий рост занятости в таких направлениях, как социально-культурное обслуживание и разнотраслевые услуги малого и среднего предпринимательства. Значительная часть этих услуг, в силу своего межтерриториального характера потребления, закономерно начинает рассматриваться

в качестве полноценного элемента экономической базы, причем их доля в условиях рыночных отношений демонстрирует устойчивую тенденцию к росту. Параллельно происходит существенное изменение отраслевого состава агропромышленного комплекса, выражающееся в приоритетном развитии перерабатывающих предприятий в сельских территориях. Эти предприятия определяют технический и технологический уровень производств в сельских территориальных системах и создают устойчивый спрос на квалифицированные кадры.

Во-вторых, углубление специализации крупных интегрированных аграрных формирований на профильных отраслях в сочетании с развитием непромышленной сферы закономерно вызывает структурные сдвиги в экономической базе внешней зоны. Некоторые близлежащие города этой зоны приобретают выраженную специализацию в переработке и реализации готовой продукции, а также в реализации профессионально-образовательных функций по подготовке кадров, где доля занятых достигает 10-20%. Следствием этой трансформации становится постепенное «вытеснение» из городов предприятий, характеризующихся менее квалифицированным трудом. В результате в городах внешней зоны доля перерабатывающей промышленности в структуре экономической базы за последние 10-15 лет увеличилась в среднем с 17% до 26,6% [14].

В-третьих, опережающий рост промышленности внешней зоны тесно связан с углублением специализации и концентрации производства, а также с совершенствованием форм его организации и управления. Развитие отраслевой и технологической специализации в крупных аграрных формированиях ведет к территориальному разделению производственных процессов, создавая объективные предпосылки для перехода от хозяйственного к территориально-групповому типу концентрации производства. Организационным выражением этого процесса становятся производственные

интегрированные формирования. На смену предприятиям комплексного типа, охватывающим все стадии производственного цикла, приходят специализированные подразделения основного производства, а также заготовительные, вспомогательные и ремонтные производства, размещаемые в городах внешней зоны. Данная трансформация создает условия для существенного сокращения численности работников в основных подразделениях при одновременном росте субъектов малого и среднего предпринимательства, которые представляют собой значительный потенциал для развития сельских территорий. В рамках крупных интегрированных аграрных предприятий получает возможность более интенсивно проводиться реконструкция и укрупнение технически слабо оснащенных предприятий внешней зоны и субъектов малого и среднего предпринимательства с последующим преобразованием их в специализированные филиалы крупных предприятий сельских территорий.

Выводы. Анализ выявленных тенденций свидетельствует о значительном усилении производственно-экономических связей между опорными населенными пунктами и окружающими их территориями, что создает объективные предпосылки для формирования экономической базы сельских территорий как целостной системы. Развитие экономической базы на основе рационального разделения труда между опорными населенными пунктами и другими сельскими поселениями, объединяющего субъекты крупного, среднего и малого предпринимательства, представляет собой эффективную форму интенсификации регионального производства. Рост энерговооруженности на 1% снижает занятость в среднем на 0,6-0,8% при одновременном увеличении объема производства, а также в регионах с крупными интегрированными аграрными формированиями обслуживающая сфера становится самостоятельным программой развития.

Литература

1. Газетдинов Ш.М. Сельские территориальные системы: экономические, социальные и технологические аспекты. Казань: Издательство «Бриг», 2023. 144 с.
2. Проблемы и перспективы социально-экономического развития сельских территорий: региональный аспект. М.: Издание Государственной Думы, 2021. 320 с.
3. Аспекты перехода к цифровой экономике в сельском хозяйстве и в сельских территориях / Ш.М. Газетдинов, М.Х. Газетдинов, О.С. Семичева, А.М. Абдулхаков // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 1(77). С. 93-99. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-93-99.
4. Хилинская И.В., Бухтиярова Т.И. Экономический потенциал устойчивого развития сельских территорий // Аграрный вестник Урала. 2017. №8(162). С. 10-21.
5. Spatial development of rural territories in Russian regions: growth areas or desolation zones? / A.A. Urasova, D.A. Balandin, A.N. Pytkin, E.B. Kovaleva, I.Y. Zagoruiko // International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. Vol. 8. №2. Pp. 4110-4122.
6. Адуков Р.Х., Адукова А.Н. Проект Государственной программы комплексного развития сельских территорий: базовые направления доработки // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. № 7. С. 22-28. doi: 10.31442/0235-2494-2019-0-7-22-28.
7. Данилова И.В., Савельева И.П., Резепин А.В. Влияние межтерриториальной связанности на развитие экономического пространства регионов // Экономика региона. 2022. Т. 18, вып. 1. С. 31-48. doi: 10.17059/ekon.reg.2022-1-3.
8. Lamine C., Magda D., Amiot M.-J. Crossing sociological, ecological, and nutritional perspectives on agrifood systems transitions: towards a transdisciplinary territorial approach // Sustainability. 2019. №11. P. 1-18. doi: 10.3390/su11051284
9. Лылов А.С. Проблемы развития сельских территорий: программно-целевое управление // Экономика сельского хозяйства России. 2019. №1. С. 59-65. doi: 10.32651/191-59.

10. Белоусова А.В. Экспорт как фактор регионального экономического роста // Вестник ДВО РАН. 2009. № 5. С. 116-124.
11. Бакуменко О.А. К вопросу о стратегировании экспортной деятельности российских регионов // Региональная экономика: теория и практика. 2019. Т. 17, № 2. С. 250-265. doi: 10.24891/re.17.2.250.
12. Киреева, Н.А., Сухорукова А.М. К вопросу о реализации приоритетного проекта Саратовской области «экспорт продукции АПК» // Вестник СГСЭУ. 2018. № 5 (74). С.62-67.
13. Michalcewicz-Kaniowska M., Zajdel M. Rural Development in European Union Policy // Economic Science for Rural Development. 2019. №50. Pp. 140-146. doi:10.22616/ESRD.2019.017.
14. Problems and mechanisms of sustainable development of rural areas (at the example of the republic of mordovia) / E.G. Kovalenko, O.Y. Yakimova, E.V. Avtaykina, O.O. Zaytseva // European Research Studies Journal. 2016. Т. 19. № 3А. С.110-122. doi: 10.35808/ersj/552.
15. Растворцева С.Н., Снитко Л.Т. Региональная специализация и агломерационные эффекты в экономике России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 3. С. 46-58. doi: 10.15838/esc.2020.3.69.4.
16. Механизмы решения демографических проблем устойчивого развития сельских территорий / Е.Г. Коваленко, О.Ю. Якимова, Б.Г. Зиганшин, Ш.М. Газетдинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 168-177. doi: 10.12737/2073-0462-2023-168-177.
17. Михайлова Л. В., Валиев А. Р. Анализ деятельности субъектов малого аграрного бизнеса в Республике Татарстан // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 2(85). С. 169-177. – doi: 10.53914/issn2071-2243_2025_2_169.
18. Полушкина Т. М. Государственное регулирование пространственного развития на внутрирегиональном уровне // Вестник Алтайской академии экономики и права. № 3. 2018. С. 67-72.
19. Набиева А.Р. Социально-экономическая значимость количественного и качественного развития сельских территорий // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. №3(59). С. 126-132. doi: 10.12737/2073-0462-2020-126-132.
20. Роль и значение сельского хозяйства в обеспечении экономической и социальной стабильности общества (на примере Республики Татарстан) / И.Г. Гайнутдинов, Ф.Н. Мухаметгалиев, М.М. Хисматуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. № 3(75). С. 93-104. doi: 10.12737/2073-0462-2024-93-104.

References

1. Gazetdinov ShM. Selskie territorialnye sistemy: ekonomicheskie, sotsialnye i tekhnologicheskie aspekty. [Rural territorial systems: economic, social and technological aspects]. Kazan: Izdatelstvo Brig. 2023; 144 p.
2. Problemy i perspektivy sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya selskikh territoriy: regionalnyy aspekt. [Problems and prospects of social and economic development of rural areas: regional aspect]. Moscow: Izdanie Gosudarstvennoy Dumy. 2021; 320 p.
3. Gazetdinov ShM, Gazetdinov MKh, Semicheva OS, Abdulkhakov AM. [Aspects of the transition to a digital economy in agriculture and rural areas]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025; Vol.20. 1(77). 93-99 p. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-93-99.
4. Khilinskaya IV, Bukhtiyarova TI. [Economic potential of sustainable development of rural areas]. Agrarnyy vestnik Urala. 2017; 8(162). 10-21 p.
5. Urasova AA, Balandin DA, Pytkin AN, Kovaleva EB, ZagoruiKO IY. Spatial development of rural territories in Russian regions: growth areas or desolation zones? International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019; Vol.8. 2. 4110-4122 p.
6. Adukov RKH, Adukova AN. [Draft of State Program for integrated development of rural areas: basic areas of improvement]. Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy. 2019; 7. 22-28 p. doi: 10.31442/0235-2494-2019-0-7-22-28.
7. Danilova IV, Saveleva IP, Rezepin AV. [Impact of interterritorial connectivity on the development of regional economic space]. Ekonomika regiona. 2022; Vol.18. issue 1. 31-48 p. doi: 10.17059/ekon.reg.2022-1-3.
8. Lamine C, Magda D, Amiot MJ. Crossing sociological, ecological and nutritional perspectives on agrifood systems transitions: towards a transdisciplinary territorial approach. Sustainability. 2019; 11. 1-18 p. doi: 10.3390/su11051284
9. Lylov AS. [Problems of rural development: program-targeted management]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2019; 1. 59-65 p. doi: 10.32651/191-59.
10. Belousova AV. [Export as a factor in regional economic growth]. Vestnik DVO RAN. 2009; 5. 116-124 p.
11. Bakumenko OA. [On the issue of strategizing the export activities of Russian regions]. Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika. 2019; Vol.17. 2. 250-265 p. doi: 10.24891/re.17.2.250.
12. Kireeva NA, Sukhorukova AM. [On the issue of implementing the priority project of Saratov region “export of agricultural products”]. Vestnik SGSEU. 2018; 5 (74). 62-67 p.
13. Michalcewicz-Kaniowska M, Zajdel M. Rural development in European Union Policy. Economic Science for Rural Development. 2019; 50. 140-146 p. doi:10.22616/ESRD.2019.017.
14. Kovalenko EG, Yakimova OY, Avtaykina EV, Zaytseva OO. Problems and mechanisms of sustainable development of rural areas (at the example of the Republic of Mordovia). European Research Studies Journal. 2016; Vol.19. 3A. 110-122 p. doi: 10.35808/ersj/552.
15. Rastvortseva SN, Snitko LT. [Regional specialization and agglomeration effects in the Russian economy]. Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz. 2020; Vol.13. 3. 46-58 p. doi: 10.15838/esc.2020.3.69.4.
16. Kovalenko EG, Yakimova OYu, Ziganshin BG, Gazetdinov ShM. [Mechanisms for solving demographic problems of sustainable development of rural areas]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 168-177 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-168-177.
17. Mikhaylova LV, Valiev AR. [Analysis of activities of small agricultural business entities in the Republic of Tatarstan]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025; Vol.18. 2(85). 169-177 p. – doi: 10.53914/issn2071-2243_2025_2_169.

18. Polushkina TM. [State regulation of spatial development at the intraregional level]. Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. 2018; 3. 67-72 p.

19. Nabieva AR. [Social and economic significance of quantitative and qualitative development of rural areas]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.15. 3(59). 126-132 p. doi: 10.12737/2073-0462-2020-126-132.

20. Gaynutdinov IG, Mukhametgaliev FN, Khismatullin MM. [The role and importance of agriculture in ensuring economic and social stability of society (on the example of the Republic of Tatarstan)]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; 3(75). 93-104 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-93-104.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Газетдинов Шамиль Миршарипович – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой цифровых технологий и прикладной информатики Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: gazetdinov.shamil@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8604-6496

Якимова Ольга Юрьевна – доктор экономических наук, профессор кафедры статистики и информационных технологий в экономике и управлении Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Полежаева, 44), e-mail: olyakimova@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5004-9978

Коваленко Елена Георгиевна – доктор экономических наук, профессор кафедры статистики и информационных технологий в экономике и управлении Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Полежаева, 44), e-mail: kovelenal3@mail.ru, ORCID 0000-0003-4688-6030

Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, профессор РАН Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: zigan66@mail.ru, ORCID 0000-0003-2129-2631

Вклад авторов:

Ш.М. Газетдинов - написание исходного текста, сбор данных, обработка и систематизация данных, создание моделей, подготовка графиков, диаграмм, визуализация данных;

О.Ю. Якимова – разработка методологии, формальный анализ данных, интерпретация результатов и формулировка выводов;

Е. Г. Коваленко – научное редактирование текста, подготовка финальной версии;

Б.Г. Зиганшин – научное руководство, обеспечение ресурсами и концептуализация исследования.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 09.12.2025; одобрена после рецензирования 05.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Gazetdinov Shamil Mirsharipovich – Ph.D. of Economics, Associate Professor, Head of Digital Technologies and Applied Informatics Department Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: gazetdinov.shamil@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8604-6496

Yakimova Olga Yurevna – Doctor of Economics, Professor of Department of Statistics and Information Technologies in Economics and Management National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev (44 Polezhaeva St., Saransk, 430005, Russian Federation), e-mail: olyakimova@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5004-9978

Kovalenko Elena Georgievna – Doctor of Economics, Professor of Department of Statistics and Information Technologies in Economics and Management National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev (44 Polezhaeva St., Saransk, 430005, Russian Federation), e-mail: kovelenal3@mail.ru, ORCID 0000-0003-4688-6030

Ziganshin Bulat Gusmanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, Professor of the Russian Academy of Sciences Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: zigan66@mail.ru, ORCID 0000-0003-2129-2631

Contribution of the authors:

Sh. M. Gazetdinov – Writing the original text, Data collection, Data processing and systematization, Model development, Preparation of graphs, Diagrams and data visualization;

O. Yu. Yakimova – Methodology development, Formal data analysis, Interpretation of results and formulation of conclusions;

E. G. Kovalenko – Scientific editing of the text, Preparation of the final version;

B. G. Ziganshin – Scientific supervision, Provision of resources, and conceptualization of the study.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 09.12.2025; revised 05.06.2026; accepted 25.06.2026.



**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИНТЕРЕСЫ КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВ:
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ**

© 2026 Дозорова Т. А.¹, Михайлова Л. В.² ✉

¹Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина
(г. Ульяновск, Российская Федерация)

²Казанский государственный аграрный университет
(г. Казань, Российская Федерация)
✉ lilmikhajlova@yandex.ru

Реферат. Раскрыты теоретические основы экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств как многомерной системы, включающей доходно-рентабельные, ресурсные, производственные, рыночно-сбытовые, институциональные и социальные компоненты. На основе институциональной, поведенческой теории и концепции устойчивого развития предложена авторская классификация шести взаимосвязанных блоков интересов, что позволяет преодолеть редукционистский подход к максимизации прибыли. Разработана верифицируемая система эмпирических индикаторов (17 показателей) и методика расчёта интегрального индекса реализации интересов КФХ с использованием минимаксной нормировки и экспертного определения весовых коэффициентов. Апробация методики проведена по данным Росстата и Минсельхоза РФ за 2020–2025 годы по 14 регионам Приволжского федерального округа. Установлено, что среднее значение интегрального индекса по ПФО составило 0,46, что соответствует среднему уровню реализации интересов; при этом региональная дифференциация значительна – от 0,308 (Кировская область) до 0,566 (Саратовская область). Выявлены системные барьеры: институциональный разрыв между формальной поддержкой и реальными потребностями фермеров, недостаточное развитие потребительской кооперации, высокая зависимость от климатических рисков. Разработанная методика может быть использована органами управления АПК субъектов РФ для мониторинга эффективности аграрной политики и принятия управленческих решений для ее корректировки, так как сохранение унифицированного подхода к распределению ресурсов ведет к консервации диспропорций и снижению общей конкурентоспособности фермерского сектора округа.

Ключевые слова: крестьянские (фермерские) хозяйства, экономические интересы, теоретические основы, эмпирические индикаторы, интегральный индекс, потребительская кооперация, государственная поддержка.

Для цитирования: Дозорова Т.А., Михайлова Л.В. Экономические интересы крестьянских (фермерских) хозяйств: концептуальные основы и эмпирические индикаторы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 117-123. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-117-123

**ECONOMIC INTERESTS OF PEASANT (FARM) HOUSEHOLDS: CONCEPTUAL BASIS
AND EMPIRICAL INDICATORS**

© 2026 Dozorova T. A.^a, Mikhaylova L. V.^b ✉

^aUlyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
(Ulyanovsk, Russian Federation)

^bKazan State Agrarian University
(Kazan, Russian Federation)
✉ lilmikhajlova@yandex.ru

Abstract. This article explores the theoretical basis of economic interests of peasant (farm) households as a multidimensional system, including profitability, resource, production, marketing, institutional and social components. Based on institutional, behavioral theory and sustainable development concept, the author proposes a classification of six interrelated sets of interests, which overcomes the reductionist approach to profit maximization. A verifiable system of empirical indicators (17 indicators) and a methodology for calculating an integral index of peasant farm interests using minimax standardization and expert determination of weighting coefficients have been developed. The methodology was tested using data from Russian statistical service and Russian Ministry of Agriculture for 2020-2025 across 14 regions of Volga Federal District. The average integrated index for Volga Federal District was 0.46, which corresponds to an average level of interest fulfillment; however, regional differentiation is significant, ranging from 0.308 (Kirov region) to 0.566 (Saratov region). Systemic barriers were identified: an institutional gap between formal support and farmers' actual needs, underdeveloped consumer cooperation and high vulnerability to climate risks. Developed methodology can be used by agricultural authorities in the constituent entities of the Russian Federation to monitor effectiveness of agricultural policy and make management decisions to adjust it, as maintaining a unified approach to resource allocation

perpetuates imbalances and reduces the overall competitiveness of the district's farming sector.

Key words: peasant (farm) households, economic interests, theoretical basis, empirical indicators, integral index, consumer cooperation, state support.

For citation: Dozorova T.A., Mikhaylova L.V. [Economic interests of peasant (farm) households: conceptual basis and empirical indicators]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol.21. 2(82). 117-123 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-117-123

Введение. Крестьянские (фермерские) хозяйства представляют собой фундаментальный элемент устойчивости развития аграрной экономики, так как обеспечивают структурную диверсификацию аграрного сектора, выступают драйвером территориального развития и социальной стабильности сельских территорий, являются носителями социальной ответственности и экологической культуры в сельской местности [1, 2, 3]. Они демонстрируют высокую ресурсоотдачу при ограниченных вложениях, так как занимая около 5% сельскохозяйственных угодий, обеспечивают порядка 15% валовой продукции сельского хозяйства России, что объясняется семейным характером труда, низкой транзакционной издержкой управления и способностью быстро адаптироваться к изменениям конъюнктуры [4, 5, 6]. Поэтому крестьянские (фермерские) хозяйства обладают значительным мультипликативным эффектом: каждый рубль, вложенный в развитие фермерства, генерирует не только экономическую отдачу, но и социальные, экологические, территориальные выгоды.

Многомерная роль крестьянских (фермерских) хозяйств требует оценки учета их экономических интересов, так как наблюдается системный разрыв между декларируемыми экономическими интересами фермеров и институционально-рыночной средой их реализации.

Цель исследования – обосновать концептуальные основы экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств и разработать систему эмпирических индикаторов для их количественной оценки.

Задачи исследования:

- раскрыть сущность, структуру и специфику экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств в условиях трансформации аграрного сектора;
- сформировать систему эмпирических индикаторов и методику расчёта интегрального индекса реализации интересов;
- выявить барьеры реализации и сформулировать рекомендации по их преодолению.

Научная новизна заключается в интеграции многофункциональной природы крестьянских (фермерских) хозяйств в систему реализации экономических интересов, разработке авторской системы индикаторов, сочетающей финансовые, ресурсные, институциональные и социально-устойчивые параметры, а также в верификации предложенной модели на агрегированных данных открытой статистики.

Условия, материал и методы. Методология исследования опирается на системный подход, статистический анализ,

индексный метод, экспертные оценки и сравнительно-региональный анализ. Источниковая база включает данные Росстата, отчётные материалы Минсельхоза РФ, региональные программы развития АПК, научные публикации в рецензируемых журналах.

В настоящее время эффективное формирование и качественная реализация экономических интересов территории через проводимую социально-экономическую политику непосредственно определяют условия деятельности крестьянских (фермерских) хозяйств, уровень жизнеобеспечения сельского населения и направления работы органов власти по поддержке аграрного сектора. В современной российской науке выделены три основных концепции изучения экономических интересов, появившихся в процессе исторического развития: индивидуалистическая, субъективистская и объективистская, каждая из которых разрабатывалась различными экономическими школами. К настоящему времени преобладает субъективистская концепция, основанная на принципах индивидуализма, максимизации рационального поведения экономического индивида и ограниченной рациональности экономических интересов человека. Следовательно, экономические интересы выступают «объективными побудительными мотивами экономической деятельности, связанными со стремлением людей к удовлетворению возрастающих материальных и духовных потребностей» [7, с. 969].

Результаты и обсуждение. Экономический интерес в сельской местности представляет многоуровневую систему. В ней формируются потребности на основе ценностных ориентаций субъектов экономических отношений, которые реализуются в результате активизации мотивов и стимулов их деятельности, обуславливающих повышение показателей эффективности сельской экономики, а также развитие социально-экономического состояния сельской территории и качества жизни населения [8].

Экономические интересы крестьянских (фермерских) хозяйств, как хозяйствующего субъекта, носят специфический характер, обусловленный:

- семейным укладом управления и наследуемым характером капитала;
- высокой зависимостью от экзогенных факторов (климат, конъюнктура рынков, регуляторные изменения);
- многофункциональностью, включающей производственную, социальную, экологическую и культурную роли;
- ограниченностью финансовых и управленческих ресурсов по сравнению с крупными

формами.

На наш взгляд, экономический интерес в контексте оценки интересов крестьянских (фермерских) хозяйств следует понимать как осознанную потребность субъекта в получении определённого экономического или социально-экономического эффекта от использования ресурсного потенциала [9], выраженную через ожидания дохода, снижение рисков, сохранение капитала, обеспечение занятости сельского населения и развитие сельских территорий.

В качестве субъектов экономических интересов следует выделить крестьянские (фермерские) хозяйства, органы управления (государство, муниципальное образование, местные власти) и сельское население. Экономические интересы выделенных субъектов в региональном контексте определяются не только отношениями собственности, но и уровнем их социальной ответственности и ожиданиями сельского населения.

Экономические интересы крестьянских (фермерских) хозяйств формируются под влиянием объективных условий производства, рыночных факторов и субъективного фактора — заинтересованности хозяйствующего субъекта в результатах деятельности.

Среди распространённых проблем, затрудняющих реализацию экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств выделяют [10]:

- технологическое и техническое отставание развития материально-технической базы;
- диспаритет цен на сельскохозяйственную продукцию и продукцию промышленных отраслей;
- рост цен на средства производства и предметы труда;
- недостаток собственных оборотных средств;
- дефицит квалифицированных кадров;
- сложности со сбытом произведённой продукции, низкий уровень кооперации;
- высокие процентные ставки на кредитные ресурсы.

На основе институциональной, поведенческой и теории устойчивого развития теоретические основы экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств были структурированы нами по шести взаимосвязанным блокам:

1. Доходно-рентабельные интересы —

обеспечение стабильной маржинальности, обеспечение рентабельности продаж, доступ к льготному финансированию, предсказуемость налоговых обязательств.

2. Ресурсные интересы — гарантированный доступ к земельным угодьям (в том числе через долгосрочную аренду), обновление материально-технической базы, обеспечение квалифицированными кадрами, развитие инженерной и цифровой инфраструктуры.

3. Производственные интересы — повышение урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности сельскохозяйственных животных, эффективность использования ресурсного потенциала, снижение производственных затрат, рост рентабельности производства.

4. Рыночно-сбытовые интересы — интеграция в цепочки добавленной стоимости, снижение логистических издержек, прозрачное ценообразование, развитие альтернативных каналов сбыта (кооперативы, цифровые платформы, прямые продажи).

5. Институциональные интересы — предсказуемость и адресность регулирования, снижение административных барьеров, адаптивность мер поддержки под производственный цикл КФХ, развитие параметрического агро-страхования.

6. Социальные интересы — количество созданных рабочих мест, уровень заработной платы работников, участие в социальных проектах и благоустройстве территории, обеспечение преемственности хозяйства, повышение качества жизни на селе, диверсификация деятельности (агротуризм, переработка, производство экопродуктов), снижение уязвимости к климатическим и рыночным рискам.

Данная теоретическая модель преодолевает редуccionистский подход, сводящий интересы крестьянских (фермерских) хозяйств исключительно к максимизации прибыли, и позволяет оценивать их реализацию в системной перспективе устойчивого развития хозяйства и сельской территории. Сформулированные теоретические основы служат базой для определения экономических интересов через систему эмпирических индикаторов, методика расчёта и эмпирическая верификация.

С этой целью предлагается следующая система эмпирических индикаторов экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств (табл. 1).

Таблица 1 - Система эмпирических индикаторов экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств

Table 1 – System of empirical indicators of economic interests of peasant (farm) enterprises

Блок интересов	Эмпирические индикаторы
1	2
Доходы	Рентабельность продаж, %
	Доля субсидий в выручке, %
	Коэффициент обслуживания долга
Ресурсы	Площадь с.-х. угодий на 1 КФХ, га
	Трудообеспеченность (на 100 га с.-х. угодий), чел.
	Фондообеспеченность (на 100 га с.-х. угодий), тыс. руб.

Продолжение таблицы 1 / Table 1 (continued)

1	2
Производительность и эффективность	Урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га
	Продуктивность сельскохозяйственных животных, ц
	Производительность труда работников, тыс. руб.
	Рентабельность производства, %
Сбыт и рынки	Доля объема реализованной продукции на рынке, %
	Доля продукции, реализуемой через кооперативы/платформы, %
Институциональная составляющая	Доля КФХ в госпрограммах, %
	Сроки получения поддержки, мес.
Социальная составляющая	Количество созданных рабочих мест, чел.
	Уровень заработной платы работников, тыс. руб.
	Участие в социальных проектах и благоустройстве территории

Методика расчёта интегрального индекса реализации экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств (ИИРЭИ КФХ):

1. Нормирование показателей по формуле минимаксной нормировки:

$$I_{norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \text{ (для прямого взаимодействия)}$$

$$I_{norm} = 1 - I_{norm} = \frac{x_{max} - x_i}{x_{max} - x_{min}} \text{ (для обратного взаимодействия).}$$

2. Весовые коэффициенты определяются методом экспертной оценки с участием руководителей и специалистов крестьянских (фермерских) хозяйств, представителей органов местного самоуправления, курирующих вопросы сельского хозяйства и экономического развития, ученых-экспертов региональных

министерств сельского хозяйства ($\sum w_i = 1$). Для оценки степени согласованности мнений экспертов и достоверности полученных весовых значений был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла, который составил 0,64, что подтверждает высокий уровень согласованности мнений.

3. Агрегирование интегрального индекса:

$$\text{ИИРЭИ} = \sum_{j=1}^m w_j \cdot \left(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} I_{norm,ij} \right)$$

где m – число блоков;

w_j – вес j -го блока интересов;

n_i – число индикаторов в j -м блоке;

$I_{norm,ij}$ – нормированное значение i -го индикатора j -го блока.

Интерпретация интегрального индекса представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Интерпретация интегрального показателя

Table 2 – Interpretation of the integral indicator

Интервал	Уровень реализации	Что значит для крестьянского (фермерского) хозяйства
Менее 0,3	низкий уровень	системные барьеры: низкая рентабельность, дефицит ресурсов, слабая поддержка
0,3–0,6	средний уровень	баланс возможностей и ограничений: есть точки роста, но требуются точечные меры
более 0,6	высокий уровень	устойчивая модель: интересы реализуются, хозяйство адаптировано к рискам

Для интерпретации значений интегрального индекса реализации экономических интересов КФХ разработана оценочная шкала. Границы интервалов дифференцированы на основе анализа статистического распределения выборочных данных и экспертного обоснования пороговых значений.

Для апробации предложенной методики расчета интегрального индекса реализации экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств проведем расчет с учетом доступных фактических данных по блокам экономических интересов с нормирования показателей по формуле минимаксной нормировки и экспертной оценки недостающих индикаторов на основе отраслевых отчетов и региональных программ развития сельского хозяйства.

Весовые коэффициенты определены

методом экспертной оценки и составили по блокам экономических интересов: доходы – 0,25; ресурсы – 0,20; эффективность и рынки – 0,25; институциональная составляющая – 0,15; социальная составляющая – 0,15. Количественные значения весовых коэффициентов отражают иерархию экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств в современных условиях хозяйствования. Приоритетное значение блоков «Доходы» (0,25) и «Эффективность и рынки» (0,25), суммарный вес которых составил 50%, обусловлено тем, что в текущих макроэкономических условиях именно финансовая устойчивость и рыночная адаптивность выступают ключевыми факторами выживания и развития крестьянских (фермерских) хозяйств. Блок «Ресурсы» (0,20) отражает материально-техническую базу их

деятельности. Институциональная (0,15) и социальная (0,15) составляющие, по мнению экспертов, выполняют сопровождающую

функцию, характеризуют условия ведения бизнеса и не определяют напрямую экономический результат.

Таблица 3 - Составляющие интегрального индекса реализации экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств по регионам Приволжского Федерального округа

Table 3 – Components of the integral index of realization of economic interests of peasant (farm) enterprises by regions of the Volga Federal District

Регион	Доход- блок	Ресурс- блок	Рынок- блок	Институ- циональный блок	Социальный блок	Интеграль- ный индекс
Кировская область	0,18	0,33	0,22	0,39	0,42	0,308
Республика Марий Эл	0,21	0,35	0,28	0,38	0,41	0,326
Республика Мордовия	0,24	0,39	0,31	0,42	0,45	0,362
Пермский край	0,29	0,41	0,33	0,45	0,48	0,392
Удмуртская Республика	0,38	0,42	0,41	0,44	0,43	0,416
Нижегородская область	0,41	0,47	0,44	0,52	0,49	0,466
Чувашская Республика	0,51	0,46	0,54	0,43	0,46	0,480
Пензенская область	0,52	0,48	0,55	0,41	0,44	0,480
Самарская область	0,49	0,50	0,51	0,48	0,46	0,488
Ульяновская область	0,54	0,49	0,57	0,44	0,47	0,502
Республика Башкортостан	0,55	0,52	0,58	0,46	0,48	0,518
Республика Татарстан	0,58	0,56	0,52	0,49	0,47	0,524
Оренбургская область	0,61	0,58	0,64	0,47	0,43	0,546
Саратовская область	0,63	0,60	0,66	0,49	0,45	0,566
ПФО	0,45	0,47	0,48	0,45	0,45	0,460

Проведенная оценка реализации экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств в регионах Приволжского федерального округа выявила значительную пространственную дифференциацию при среднем значении интегрального индекса по ПФО на уровне 0,460 (средний уровень).

Установлено, что лидерами выступают южные и юго-восточные субъекты ПФО (Саратовская, Оренбургская области, Республики Татарстан и Башкортостан), где интегральный индекс превышает порог в 0,50. Структурный анализ показывает, что их лидерство обеспечивается за счет доминирования коммерческих факторов: высокие значения «Доход-блока» и «Рынок-блока» (0,52–0,66) свидетельствуют о рыночной ориентации и экономической самодостаточности фермеров.

Противоположная ситуация наблюдается в северных и северо-западных регионах округа (Кировская область, Республики Марий Эл, Мордовия, Пермский край), где интегральный индекс не превышает 0,39. Характерной чертой данных территорий является структурный дисбаланс: при критически низких показателях доходности (0,18–0,24) и рыночной активности (0,22–0,31), «Институциональный» и «Социальный» блоки оцениваются значительно выше (0,38–0,48). Это свидетельствует о том, что в регионах с менее благоприятными условиями для ведения сельского хозяйства крестьянские (фермерские) хозяйства функционируют преимущественно за счет институциональной поддержки и выполнения социальных функций, однако не обладают достаточной рыночной эффективностью.

По результатам исследования следует выделить системные барьеры реализации экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств: институциональный разрыв между формальной поддержкой и реальными потребностями фермеров, недостаточное развитие потребительской кооперации, высокая зависимость от климатических рисков.

Таким образом, формирование экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств в ПФО носит выраженный зональный характер, что требует дифференциации региональной аграрной политики: для регионов с высоким значением интегрального индекса реализации экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств — создания условий для масштабирования бизнеса, для регионов с низким значением интегрального индекса — смещения фокуса с прямого субсидирования на стимулирование рыночной активности и доходности крестьянских (фермерских) хозяйств.

Выводы. Проведенное исследование позволило сформировать целостный аналитический инструментарий оценки реализации экономических интересов крестьянских (фермерских) хозяйств. Предложенный интегральный индекс, построенный на пяти равнозначных по своей природе, но различных по весу блоках, позволяет выявлять скрытые структурные диспропорции в развитии фермерского сектора.

Разработанная методика может быть использована органами управления АПК субъектов РФ для мониторинга эффективности аграрной политики и принятия управленческих решений для ее корректировки, так как сохранение унифицированного подхода к распределению

ресурсов ведет к консервации диспропорций и снижению общей конкурентоспособности фермерского сектора округа. Результаты исследования могут служить инструментом мониторинга эффективности мер поддержки,

обоснования региональных программ развития АПК и кооперативных инициатив, а также адаптации крестьянских (фермерских) хозяйств к рыночным и климатическим вызовам.

Литература

1. Factors and Conditions for the Sustainable Development of Small Forms of Entrepreneurship in the Agroindustrial Complex / M. N. Tatarinova, V. G. Shirobokov, T. I. Logvinova, et al. // Digital Technologies and Institutions for Sustainable Development. Cham: Springer Nature, 2022. P. 241-247. doi: 10.1007/978-3-031-04289-8_41.
2. Михайлова Л. В., Мухаметгалиев Ф. Н., Валиев А. Р. Фермерство в Республике Татарстан: их роль в системе аграрного бизнеса и тенденция развития // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 2(74). С. 148-153. doi: 10.12737/2073-0462-2024-148-153.
3. Khasanova M., Baskhanova M., Gazetdinov Sh. The impact of environmental innovation on the sustainable development of small enterprises // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 140. P. 02004. doi: 10.1051/bioconf/202414002004.
4. Анализ деятельности крестьянских (фермерских) хозяйств в современных условиях функционирования АПК / О. А. Хорольский, З. П. Медеяева, И. М. Четвертаков, Т. В. Савченко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 189-197. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_189.
5. Ткач А. В., Каурова О. В., Малолетко А. Н. Крестьянские (фермерские) хозяйства в системе продовольственного обеспечения // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2023. № 4. С. 41-47. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-4-41-47.
6. Development of Agricultural Cooperation in the Republic of Tatarstan / D. F. Hafizov, M. M. Khismatullin, F. N. Avkhadiev, et al. // Challenges of the Modern Economy. Digital Technologies, Problems, and Focus Areas of the Sustainable Development of Country and Regions. Cham: Springer, 2023. P. 589-592.
7. Краткий экономический словарь / под ред. А. Н. Азрилияна. М.: Институт новой экономики, 2002. 1087 с.
8. Калафатов Э. А. Особенности формирования системы экономических интересов и их реализации в сельской местности // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 1(80). С. 162-172. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_162.
9. Ресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций как конкурентное преимущество эффективного развития сельского хозяйства / Т. А. Дозорова, Е. А. Тарасова, В. М. Севастьянова, М. Р. Богапова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 4(76). С. 103-110. doi: 10.12737/2073-0462-2024-103-110.
10. Лубкова Э. М., Лазаренко А. Н. Становление и функционирование крестьянских (фермерских) хозяйств: реалии и перспективы // Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 4. С. 102-109. doi: 10.32651/254-102.

References

1. Tatarinova MN, Shirobokov VG, Logvinova TI. Factors and conditions for the sustainable development of small forms of entrepreneurship in the agroindustrial complex. Digital technologies and institutions for sustainable development. Cham: Springer Nature. 2022; 241-247 p. doi: 10.1007/978-3-031-04289-8_41.
2. Mikhaylova LV, Mukhametgaliev FN, Valiev AR. [Farming in the Republic of Tatarstan: its role in the agrarian business system and development trends]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2(74). 148-153 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-148-153.
3. Khasanova M, Baskhanova M, Gazetdinov Sh. The impact of environmental innovation on the sustainable development of small enterprises. BIO Web of Conferences. 2024; Vol.140. 02004 p. doi: 10.1051/bioconf/202414002004.
4. Khorolskiy OA, Medelyaeva ZP, Chetvertakov IM, Savchenko TV. [Analysis of the activities of peasant (farm) households in modern conditions of agro-industrial complex functioning]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 4(83). 189-197 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_189.
5. Tkach AV, Kaurova OV, Maloletko AN. [Peasant (farm) households in the food supply system]. Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy. 2023; 4. 41-47 p. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-4-41-47.
6. Khafizov DF, Khismatullin MM, Avkhadiev FN. Development of agricultural cooperation in the Republic of Tatarstan. Challenges of the Modern Economy. Digital Technologies, Problems and Focus Areas of the Sustainable Development of Country and Regions. Cham: Springer. 2023; 589-592 p.
7. Azriliyan AN. Kratkiy ekonomicheskiy slovar. [Brief economic dictionary]. Moscow: Institut novoy ekonomiki. 2002; 1087 p.
8. Kalafatov EA. [Features of the economic interests system formation and their implementation in rural areas]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 1(80). 162-172 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_162.
9. Dozorova TA, Tarasova EA, Sevastyanova VM, Bogapova MR. [Resource potential of agricultural organizations as a competitive advantage of effective agricultural development]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 4(76). 103-110 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-103-110.
10. Lubkova EM, Lazarenko AN. [Formation and functioning of peasant (farm) households: realities and prospects]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2025; 4. 102-109 p. doi: 10.32651/254-102.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Дозорова Татьяна Александровна - доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики, организации и управления на предприятии Ульяновского государственного аграрного университета

Vestnik of Kazan State Agrarian University № 2(82) 2026

имени П.А. Столыпина (432000, Российская Федерация, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1), e-mail: t.dozorova@yandex.ru, ORCID 0000-0003-0860-4338

Михайлова Лилия Валериковна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и организации производства Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: lilmikhajlova@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1449-6556

Вклад авторов:

Т.А. Дозорова – разработка концепции и методологии исследования, написание первоначального текста статьи, научное руководство;

Л.В. Михайлова – анализ литературы, обработка данных, редактирование.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 16.09.2025; одобрена после рецензирования 25.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Dozorova Tatyana Aleksandrovna - Doctor of Economics, Professor, Head of Department of Economics, Organization and Management at the Enterprise Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (1, Novy Venets Boulevard, Ulyanovsk, 432000, Russian Federation), e-mail: t.dozorova@yandex.ru, ORCID 0000-0003-0860-4338

Mikhaylova Liliya Valerikovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Organization of Production Kazan State Agrarian University, (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: lilmikhajlova@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1449-6556

Contribution of the authors:

Т.А. Дозорова – Development of the research concept and methodology, Writing the original draft of the article, Scientific supervision;

Л.В. Михайлова – Literature review, Data processing, Editing.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 16.09.2025; revised 25.06.2026; accepted 25.06.2026.



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПУТЕЙ НА
РЫНКЕ ЗЕРНА

© 2026 Коновалова М. Е.¹, Кузьмина О. Ю.¹, Жиронкин С. А.^{2,3}, Сафиуллин Л. Н.⁴✉

¹Самарский государственный экономический университет

(г. Самара, Российская Федерация)

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

(г. Кемерово, Российская Федерация)

³Сибирский федеральный университет

(г. Красноярск, Российская Федерация)

⁴Казанский государственный аграрный университет

(г. Казань, Российская Федерация)

✉ lenar_s@mail.ru

Реферат. Представлены результаты исследований проблем и перспектив развития логистических путей российского зернового экспорта в условиях возрастания геополитических рисков. Цель исследования заключается в определении возможностей диверсификации маршрутов транспортировки зерна из России на внешние рынки с сокращением зависимости от геополитических рисков. Используются методы формальной логики – анализа, синтеза, сопоставления; анализируемые данные представлены отчетами инвестиционных и инфраструктурных компаний, публикациями информационных агентств. Определены основные инфраструктурные проблемы развития российского зернового экспорта: недостаточная пропускная способность железных дорог, особенно на восточном полигоне, необходимость модернизации портовых терминалов и высокая зависимость от погодных условий на северных маршрутах. Сделаны выводы о том, что инерционное развитие экспорта зерна через портовые терминалы Азово-Черноморского бассейна (в 2023-2024 гг. – 86% всего российского зернового экспорта), с учетом колебаний конъюнктуры мирового рынка, создает существенное препятствие увеличению его объемов даже при условии увеличения государственного субсидирования экспортеров. Для преодоления данных ограничений были предложены основные направления диверсификации российского зернового экспорта – восточное, северное и южное. Представлены прогнозные значения объемов экспорта зерна к 2035 г., которые в оптимистичном сценарии, связанном с выполнением крупных инвестиционных инфраструктурных проектов, должны возрасти на 38,86 млн. т (54,04%), и сопровождаться снижением доли экспортного маршрута через Азово-Черноморский бассейн с 86,1 до 62%. Даны рекомендации по развитию и диверсификации маршрутов экспорта зерна, включающие законодательное расширение периода неизменных налоговых условий в соглашениях о защите и поощрении капиталовложений до 30 лет, развитие концессионных соглашений по модернизации зерновых терминалов в рамках государственно-частного партнерства, упрощение административных процедур и защита прав иностранных инвесторов, в т.ч. в цифровую модернизацию портов, формирование государственных программ поддержки создания малых и средних терминалов.

Ключевые слова: экспорт зерна, геополитические риски, зерновая логистика, инфраструктура, диверсификация, контейнерные перевозки.

Для цитирования: Проблемы и перспективы развития логистических путей на рынке зерна / М.Е. Коновалова, О.Ю. Кузьмина, С.А. Жиронкин, Л.Н. Сафиуллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 124-133. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-124-133

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LOGISTICS ROUTES IN
GRAIN MARKET

Konvalova M. E.^a ✉, Kuzmina O. Yu.^a, Zhironkin S. A.^{b,c}, Safiullin L. N.^d

^aSamara State University of Economics

(Samara, Russian Federation)

^bKuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev

(Kemerovo, Russian Federation)

^cSiberian Federal University

(Krasnoyarsk, Russian Federation)

^dKazan State Agrarian University

(Kazan, Russian Federation)

✉ lenar_s@mail.ru

Abstract. This article presents the results of a study examining the challenges and prospects for developing logistics routes for Russian grain exports in the face of increasing geopolitical risks. The aim

of the study is to identify opportunities for diversifying grain transportation routes from Russia to foreign markets while reducing dependence on geopolitical risks. Formal logic methods – analysis, synthesis and comparison – are used. The analyzed data includes reports from investment and infrastructure companies and news agency publications. Key infrastructure challenges facing the development of Russian grain exports are identified: insufficient railway capacity, particularly on the eastern route, the need to modernize port terminals and high dependence on weather conditions on the northern routes. The study concludes that the inertial growth of grain exports through the port terminals of Azov-Black Sea basin (86% of all Russian grain exports in 2023-2024), taking into account fluctuations in global market conditions, creates a significant obstacle to increasing its volume, even with increased government subsidies to exporters. To overcome these limitations, key areas for diversifying Russian grain exports are proposed: eastern, northern and southern. Projected grain export volumes by 2035 are presented, which, in an optimistic scenario associated with the implementation of major investment infrastructure projects, these volumes are expected to increase by 38.86 million tons (54.04%), accompanied by a decrease in the share of the export route through Azov-Black Sea basin from 86.1% to 62%. Recommendations are provided for the development and diversification of grain export routes, including legislatively extending the period of unchangeable tax conditions in agreements on the protection and promotion of capital investments to 30 years, developing concession agreements for modernization of grain terminals within the framework of public-private partnerships, simplifying administrative procedures and protecting the rights of foreign investors, including in the digital modernization of ports and developing state programs to support the creation of small and medium-sized terminals.

Key words: grain exports, geopolitical risks, grain logistics, infrastructure, diversification, container shipping.

For citation: Konovalova ME, Kuzmina OYu, Zhironkin SA, Safiullin LN. [Problems and prospects for the development of logistics routes in grain market]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 124-133 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-124-133

Введение. Актуальность выявления проблем и перспектив развития логистических путей на рынке зерна обусловлена комплексом фундаментальных факторов, имеющих стратегическое значение для национальной и глобальной экономической безопасности, продовольственной стабильности и конкурентных позиций аграрного сектора. Россия является одним из ключевых игроков на мировом зерновом рынке, входя в тройку крупнейших экспортеров пшеницы [1]. Однако наращивание объемов производства зерна, достигнутое благодаря внедрению современных агротехнологий и освоению новых земель, вступает в острое противоречие с ограниченными пропускными способностями и качеством существующей логистической инфраструктуры. Данное противоречие формирует так называемое «логистическое узкое горлышко», которое сдерживает дальнейший рост экспортного потенциала, приводит к значительным экономическим потерям для сельхозпроизводителей и государства в целом, а также снижает надежность России как поставщика в глазах международных партнеров. Основная проблема заключается в крайней диспропорции между географией производства зерна, которая смещается в восточные и южные регионы страны, и конфигурацией экспортных маршрутов, исторически ориентированных на порты запада и юга. Более 80% экспорта зерна традиционно осуществляется через морские терминалы Азово-Черноморского бассейна. Такая концентрация создает значительные риски, что было наглядно продемонстрировано после прекращения зерновой сделки 18 июля 2023 года, повлекшей временную блокировку портов,

рост стоимости фрахта и страхования, уход с российского рынка международных трейдеров (Viterra, Cargill и др.) и использование «теневого флота» [2]. Это выявило уязвимость всей экспортной модели и критическую необходимость диверсификации логистических коридоров.

Помимо геополитических рисков, высокая концентрация создает и чисто операционные трудности: перегруженность железнодорожных подходов к портам, очереди из вагонов, рост тарифов на перевозку в пиковые сезоны и, как следствие, снижение конечной экспортной выручки аграриев. Важнейшим структурным вызовом является физический и моральный износ инфраструктуры. Парк зерновозов, портовые мощности, подъездные пути требуют масштабной модернизации и расширения. Существенной проблемой остается высокий уровень логистических затрат в конечной цене экспортного зерна, который может достигать 30-50% и более, особенно для регионов, удаленных от портов [3].

Исследование проблем и перспектив развития логистических путей на рынке зерна носит комплексный междисциплинарный характер, находясь на стыке экономики, геополитики, транспорта и агропромышленного комплекса. От эффективности решения этих задач напрямую зависит развитие мирового рынка зерна. Без кардинальной модернизации и диверсификации логистической инфраструктуры дальнейшее наращивание объемов производства зерна теряет экономический смысл, так как будет приводить не к росту доходов, а к увеличению логистических издержек и внутренним ценовым коллапсам в периоды рекордных

урожаев. Инвестиции в логистику являются сегодня не просто инфраструктурными проектами, а стратегическими инвестициями в будущее стран-экспортеров зерна.

Целью исследования является выявление инфраструктурных факторов, сдерживающих развитие рынка зерна, а также разработка предложений и рекомендаций по перспективным направлениям совершенствования логистических цепочек поставок зерна.

Условия, материалы и методы. Используются такие методы формальной логики, как анализ, синтез, сравнение и сопоставление, системно-структурный подход. Особое внимание было уделено каузальному методу исследования, который позволил выявить особенности развития современной логистической инфраструктуры рынка зерна. Информационной базой статьи послужили данные Правительства РФ [4, 5], региональных органов власти [6, 7], отчеты инвестиционных проектов [8], публикаций информационных агентств [9, 10]. Используются показатели объемов инвестиций, пропускной способности портовых терминалов, экспорта и производства зерна за 2021-2025 годы.

Результаты и обсуждение. В последние десять лет существенно возросла геополитическая напряженность, что обуславливает необходимость поиска новых каналов сбыта для ведущих экспортеров зерна. Повышение пошлин на торговлю зерном, увеличение количества военных конфликтов в мире становятся ключевыми причинами проблем зерновой логистики. Использование альтернативных маршрутов поставок зерна сопряжено с несовершенством транспортной инфраструктуры, перевалки и хранения зерна, что приводит к повышению себестоимости перевозки зерна по сравнению с традиционными маршрутами. Это наглядно видно на примере экспорта зерна из России. Отечественные экспортеры в основном поставляют зерно через порты Черного моря, на которые приходится 86% экспорта зерновых. Однако в условиях военного конфликта возникает задача поиска новых маршрутов, которыми могли бы стать транспортный коридор «Север-Юг» от Санкт-Петербурга до Мумбаи, порты Ленинградской области для экспорта по Балтийскому морю, порт Владивостока и железнодорожная сеть до Приморского края. Новые пути поставок зерновых характеризуются слабой материально-технической базой, которая не соответствует необходимым условиям перевозки и хранения зерна.

Кроме того, геополитическая напряженность и военные конфликты приводят к еще одной проблеме в зерновой логистике – росту стоимости страховки морских судов. Если морские суда используются для перевозки зерна в регионах, где уже ведутся боевые действия, либо есть риск их начала, а также в

районах с частыми случаями морского пиратства (Гвинейский залив и район Африканского Рога), то страхование груза для таких судов будет дорогостоящим [11]. Рост стоимости страховки приводит к увеличению общих логистических затрат и, как следствие, росту конечной стоимости зерна и продуктов его переработки, что негативно сказывается на конкурентоспособности зерна на мировом рынке.

Важной проблемой логистики является отсутствие единых требований к стандартам качества зерна и перевозящим его транспортным средствам. Несогласованность таможенных и фитосанитарных процедур, временные ограничения на ввоз товара могут приводить к ситуациям, когда поставщик зерна несет крупные убытки, связанные с высокими расходами на доставку. Как следствие снижается объем торговли, возникает необходимость переориентации маршрутов поставок в страны с менее жесткими требованиями, например, к качеству зерна, транспортным средствам и условиям хранения.

Актуальной является проблема несоответствия транспортной инфраструктуры растущему глобальному спросу на зерно. В Бразилии, являющейся крупнейшим экспортером зерновых, наблюдается низкая пропускная способность морских портов, что приводит к увеличению времени хранения и погрузки зерна [12]. Между производителями зерна и сахара растет конкуренция за ограниченное количество железнодорожных вагонов в стране, что ведет к росту себестоимости железнодорожных перевозок. В Бразилии слабо развиты и автомобильные дороги, что в сочетании с дефицитом вагонов осложняет доставку зерна из внутренних районов страны к морским портам. В совокупности это создает серьезные логистические проблемы для агропредприятий данной латиноамериканской страны. В Аргентине, которая тоже является крупным экспортером зерновых, имеются достаточные мощности для перевалки зерна в морских портах при неразвитой системе хранения и погрузки зерна в речных портах, что приводит к трудностям для производителей зерна в период сбора урожая.

Несовершенство транспортной инфраструктуры, несогласованность регуляторных требований по доставке зерна, отсутствие единой системы документооборота и баз данных, сопряженные с ростом числа геополитических конфликтов, ограничивают действие инфраструктурного фактора развития мирового рынка зерна. Важным шагом, способствующим развитию логистических путей на мировом рынке зерна, является модернизация портовой инфраструктуры в странах, лидирующих по объему экспорта и импорта зерна. Поскольку основной объем (88%) зерна в мире доставляется морским

транспортом, то узким местом в большинстве цепочек поставок зерна являются небольшие мощности по проведению погрузочно-разгрузочных работ и хранению зерна [13]. Это, в свою очередь, приводит к росту загруженности железных дорог, поскольку часть вагонов длительное время стоят в ожидании разгрузки в морских портах.

Для развития железнодорожных перевозок зерна во всем мире, в том числе для снижения их себестоимости, следует внедрить систему перевозки зерна маршрутными поездами. Такая система особенно эффективна при ограниченной пропускной способности железных дорог. Маршрутные перевозки бывают двух видов – прямые отправительские маршруты с формированием состава грузоотправителем на собственных подъездных путях с движением по выделенной нитке и грузовые экспрессы, которые формируются на станции грузоотправителем совместно с железнодорожной компанией и движутся по утвержденному расписанию. Одним из преимуществ маршрутных вагонов является небольшое количество регламентных процедур на сортировочной станции – достаточно пройти осмотр груза для дальнейшей отправки. При одиночной отправке вагонов в составе сборного поезда на сортировочной станции происходит расформирование состава для сортировки и накопления нового состава, что требует времени и увеличивает себестоимость перевозки.

Несмотря на важность развития железнодорожной транспортировки зерна, особое внимание следует уделить вопросу расширения контейнерных перевозок данного сельскохозяйственного продукта. Преимущество контейнерных перевозок заключается в возможности загрузки контейнеров и платформ попутными грузами, что позволяет минимизировать порожний пробег и снизить себестоимость перевозки единицы объема зерна. Такие перевозки на 15% дешевле доставки железнодорожным транспортом, во многом, в связи с отсутствием посредников, поскольку компания-оператор контейнерных перевозок напрямую набирает грузы от большого количества мелких производителей, которые не имеют аналогичных транспортных мощностей и возможностей перевести товары с такой же экономической эффективностью [14].

Решению многих проблем в зерновой логистике будет способствовать утверждение на международном уровне единых требований к качеству зерна и транспорту, используемому для его доставки. Это позволит исключить риск отказа от принятия груза для поставщиков при пересечении границы. Цифровизация зерновой логистики может повысить прозрачность всех этапов цепочки поставок, обеспечить контроль

условий хранения и оптимизировать транспортные маршруты, процессы погрузки и выгрузки зерна.

Одним из важнейших направлений трансформации логистических путей является их диверсификация. Эффективное применение данного механизма можно рассмотреть на примере России, которая с 2014 года занимается поиском альтернативных способов экспорта зерна под действием ряда факторов – возросших затрат на перевалку и нагрузки на инфраструктуру черноморских портов, введения дополнительной проверки качества зерновыми трейдерами [15].

Несмотря на объективные сложности со стабильными поставками зерна через порты Черного моря, по-прежнему 86% от общего объема экспорта зерна из России приходится на этот маршрут. Ориентация многих поставщиков на поставки по Черному морю связана с тем, что основными импортерами российского зерна являются страны Африки и Ближнего Востока, поставки до которых экономически более эффективны морским транспортом через Черное и Средиземное море. Портами для перевалки зерна по этому направлению являются Туапсе, Новороссийск, Тамань, Ростов-на-Дону и Азов.

Страхование судов, перевозящих зерно через Черное море, требует значительных затрат, а возраст многих сухогрузов в России весьма значительный, в связи с чем не в каждом порту такие сухогрузы могут пришвартоваться при наличии жестких требований к судам. Кроме того, часть импортеров закупают зерно со скидкой в связи с опасением вторичных санкций, что в совокупности приводит к снижению рентабельности поставок зерна по основному маршруту.

Логистическая инфраструктура рынка зерна в России отстает от возможностей по производству зерна, что особенно ярко проявилось летом 2022 года, когда рекордный урожай зерновых (154 млн. т.) привел к сложностям с хранением и транспортировкой зерна в другие страны [16]. При этом внутреннее потребление зерновых достигло 80 млн. т, а общий экспорт по всем культурам – 45 млн. т [17].

Объем экспорта зерна по разным маршрутам поставок из России представлен в таблице 1. На поставки железнодорожным и автомобильным транспортом приходится 7% от объема экспорта зерна. Наиболее активно развивается сухопутный экспорт зерна в Казахстан. Поскольку сухопутные поставки представляют множество разных маршрутов и имеют низкую экономическую эффективность в сравнении с морскими поставками, то такие маршруты являются наименее приоритетными для России.

Таблица 1 – Объем экспорта зерна из России по разным маршрутам поставок в 2023-2024 годы

Table 1 – Volume of grain exports from Russia via different supply routes in 2023–2024

Маршруты экспорта	Объем экспорта, млн. т
Азово-Черноморский бассейн	61,9
Сухопутные поставки в страны СНГ и Азии	5,0
Волго-Каспийский бассейн	2,9
Порты Ленинградской области	1,4
Владивосток	0,7

Источник: составлено авторами на основе данных [9, 10]

Source: compiled by the authors based on data [9, 10]

Вторым по важности и третьим по доле в объеме экспорта маршрутом после Черного моря является Волго-Каспийский бассейн, где экспорт осуществляется по реке Волга до перевалки на морские суда в Каспийском море. Основным импортером зерна по этому маршруту является Иран. Объем экспорта зерна через Каспийское море составляет 2,9 млн. т, а потенциал экспорта по этому маршруту оценивается в 15 млн. т в год [18].

Увеличение экспорта зерна через Каспийское море станет возможным в рамках развития транспортного коридора «Север-Юг». На момент проведения исследования реализуется проект по строительству железной дороги Решт-Астара, которая будет введена в эксплуатацию в 2028 году и обеспечит железнодорожное сообщение с Россией. Экспорт зерна будет осуществляться по Каспийскому морю до Решта (Иран), а далее до южных портов Ирана на берегу Персидского залива, что создает возможности для поставок зерна в страны Африки и Азии. В России работы по развитию маршрута идут в порту Оля в Астраханской области, где создаются зерновые терминалы, а потенциальный объем экспорта зерна через этот порт составит 3 млн. т. Порт Махачкалы позволяет принимать суда до 150 м. и с осадкой до 4,5 м., а потенциальная мощность зернового терминала составляет 2 млн. т в год [19].

На текущем этапе оперативно увеличить поставки зерна по маршруту «Север-Юг» не получится в связи с недостаточно развитой инфраструктурой в России и Иране на всех этапах логистической цепочки. По этому маршруту наблюдается дефицит судов и барж (речные и река-море), небольшое количество и невысокая мощность портов, а также низкая пропускная способность железных дорог в Иране.

Другим направлением экспорта зерна являются порты Балтийского моря в Ленинградской области. По этому маршруту объем экспорта составляет 2%. Государство планирует увеличить эту долю в несколько раз за счет переоборудования терминала «Порт Высоцкий» с перевалки угля на зерно, строительства мощностей в Усть-Луге к 2026 году (10 млн. т в год), а также проектов нескольких

терминалов от компаний «Технотранс» и «Новотранс» [6]. Для эффективного использования этого маршрута необходимо найти новых покупателей в Европе и в западной части Африки, поскольку строящиеся мощности могут оказаться частично невостребованными при сохранении текущей структуры экспорта по странам, что приведет к высокой себестоимости поставок зерна через Балтийское море.

Следующий маршрут поставок зерна на экспорт – порт Владивостока. Через этот порт экспортируется всего 1% зерна. При этом, в соответствии со Стратегией развития зернового комплекса России, к 2035 году планируется увеличить долю Владивостока в экспорте зерна до 13% [4]. Одной из основных проблем этого маршрута является отсутствие специальных терминалов для хранения зерна, в связи с чем экспорт осуществляется без элеваторов, то есть, напрямую, когда зерно доставляется либо в контейнерах, либо сразу грузится на судно, прибытие которого необходимо согласовать с прибытием поезда. Проблемы для развития экспорта через Владивосток связаны и с недостаточным развитием железных дорог – Транссибирская и Байкало-Амурская магистраль загружены, в связи с чем объем поставок по железным дорогам не превышает 1,5 млн. т в год. Необходимо увеличивать пропускную способность, что возможно сделать при внедрении ранее описанной системы перевозки маршрутными поездами.

Сухопутный экспорт зерна в Китай затруднен в связи с разной шириной колеи на железных дорогах Китая и России. Перспективы для развития поставок зерна до Владивостока и сухопутного экспорта в Китай появляются на фоне запуска в 2023 году зернового терминала полного цикла «Забайкальск-Маньчжурия», мощность которого составляет 8 млн. т в год [20].

Эффективность разных направлений логистических путей можно оценить при помощи ряда показателей. Одними из наиболее объективных и прогнозируемых показателей, являются объем экспорта зерна по каждому маршруту, общий объем экспорта по всем маршрутам и доля каждого маршрута в объеме экспорта. Данные индикаторы являются объективными физическими показателями –

материальными потоками, регистрируемыми на границе и трудно фальсифицируемыми.

Важно учитывать, что диверсификация маршрутов поставок должна привести не только к стабилизации поставок зерна в условиях возможного негативного влияния разных факторов, но и к увеличению потенциального объема экспорта, то есть, максимизации экспортного потенциала страны на мировом рынке зерна.

В ходе оценки эффективности направлений логистических путей сухопутные поставки в страны СНГ и Азии рассматриваться не будут, поскольку в связи с относительно низкой экономической эффективностью множества направлений в разные страны такие направления не являются приоритетными при развитии экспорта зерна.

Маршрут через Волго-Каспийский бассейн при развитии инфраструктуры для транспортировки и хранения зерна позволит увеличить поставки зерна до 15 млн. т в год ориентировочно к 2028 году. Объем экспорта зерна в сезоне 2023-2024 годы по данному маршруту составил 2,9 млн. т, то есть, прирост объема экспорта составит 12,1 млн. т.

Объем экспорта через порты Ленинградской области в 2023-2024 годы составил 1,4 млн. т. Проектная мощность зернового терминала «Порт-Высоцкий» составляет 4 млн. т в год (после частичного перепрофилирования с перевалки угля на зерно в 2023 году), при этом в 2024 году фактический объем перевалки составил порядка 1 млн. т [5].

В 2026 году будет запущен терминал в Усть-Луге с мощностью 10 млн. т в год, то есть, общая мощность терминалов составит 11,8 млн. т в год. Соответственно, объем экспорта по данному маршруту может быть увеличен на 10,4 млн. т уже с сезона 2026-2027 годов.

В Долгосрочную стратегию развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года разработчиком – Минсельхозом России – в 2019 году были заложены три сценария развития зернового комплекса страны: оптимистический (с объемом производства зерна в 150,3 млн. т и экспорта в 63,6 млн. т), базовый (производство – 140 млн. т, экспорт – 55,9 млн. т) и пессимистический (производство – 125,4 млн. т, экспорт – 39,7). При этом объем производства зерна в 2024 году составил 128,1 млн. т (с учетом новых территорий), экспорт – 83,5 млн. т, что значительно выше показателей оптимистического сценария Стратегии [4].

Вместе с тем, наряду с ожидаемым ростом потребления и государственной поддержки производителей зерна, рисками неблагоприятных погодных условий, представленных в данной Стратегии, на прогнозы реализации ее сценариев в плане экспорта зерна неизбежно влияет геополитический фактор, реакцией на действие которого являются изменение нагрузки на различные зерновые терминалы и

их модернизация.

В частности, условиями реализации оптимистического сценария является не только рост производства зерна в России, но и государственно-частные инвестиции в портовую и железнодорожную инфраструктуру всех экспортных маршрутов, включая Азовско-Черноморский, частичное перепрофилирование угольных терминалов в зерновые, развитие сухопутных поставок, расширение субсидий производителям и экспортерам.

Основные инвестиционные проекты Азово-Черноморского бассейна включают в себя развитие мощностей Новороссийского зернового терминала, зернового терминального комплекса «Тамань» общей стоимостью 28 млрд. руб. [7] Развитие железнодорожных поставок в страны СНГ и Азии связано с проектом «Новый Сухопутный Зерновой коридор» с совокупными инвестициями в 45 млрд. руб. [21]. Рост пропускной способности терминалов Волго-Каспийского бассейна связан со строительством рейдового перевалочного комплекса в порту Оля (Астраханская область, 650 млн. руб.), зернового терминала в торговом порту Махачкалы (1,5 млрд. руб.) [22]. Приоритетные инвестиционные проекты Ленинградской области реализуются в портах Высоцк и Усть-Луга (общий объем инвестиций – 20 млрд. руб.) [7], во Владивостоке активно идет модернизация Зернового терминала компании FESCO (1,2 млрд. руб.) [8].

Базовый (инерционный) сценарий предполагает сохранение экспорта через порты Азово-Черноморского бассейна на том же уровне, что и в сезоне 2023-2024 годы, преимущественную реализацию проектов модернизации портов Волго-Каспийского бассейна, Ленинградской области и Владивостока.

Пессимистический сценарий означает сохранение экспорта на уровне 2023-2024 годы. (табл. 1) под влиянием экономического спада, снижение государственной поддержки производителей зерна и замедление развития портовой инфраструктуры зернового экспорта – свертывание реализации инвестиционных проектов.

Для обеспечения реализации представленных выше инвестиционных проектов и диверсификации маршрутов экспорта зерна целесообразно сделать следующие рекомендации:

1. Для законодательной власти (Госдума РФ) – расширение временного периода неизменных налоговых условий в соглашениях о защите и поощрении капиталовложений с сегодняшних 20 до 30 лет, гарантирующее последовательную модернизацию портовой инфраструктуры в ответ на постоянный рост мирового спроса на зерно – путем внесения изменений в закон о защите и поощрении капиталовложений в РФ.

2. Для Минэкономразвития России (оператора) и Федеральной налоговой службы – развитие практики концессионных

соглашений по строительству и модернизации зерновых терминалов в рамках государственно-частного партнерства, с предоставлением ему налоговых льгот в большем объеме, чем в существующих территориях опережающего развития и особых экономических зонах, а также с предоставлением льготных кредитов со ставкой не более 5%.

3. Для Минэкономразвития России – упрощение административных процедур и усиление прав защиты иностранных инвестиций из дружественных стран в развитие портовой инфраструктуры экспорта сырья, минимизация коррупционных и развитие страхования политических рисков.

4. Для Минцифры и Минэкономразвития России – привлечение прямых технологически связанных иностранных инвестиций из дружественных стран в цифровую модернизацию портовой инфраструктуры – роботизации

погрузочно-разгрузочных операций и контроля качества зерна, оптимизации технологических цепочек портов на основе цифровых двойников, внедрения цифровых платформ складского бронирования.

5. Для Федеральной антимонопольной службы и Минпромторга России – содействие развитию конкуренции и сокращению концентрации портовых мощностей в руках ограниченного круга компаний при помощи государственных программ поддержки создания малых и средних терминалов, предназначенных для представителей малого и среднего бизнеса в сельском хозяйстве.

Прогнозные объемы экспорта зерна по маршрутам поставок в различных сценариях реализации стратегии развития зернового комплекса РФ до 2035 года, с учетом реализации приоритетных проектов, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Прогнозные объемы экспорта зерна из России по маршрутам поставок в различных сценариях развития экспортно-зерновой инфраструктуры до 2035 года

Table 2 – Forecasted volumes of grain exports from Russia by supply routes under various scenarios for the development of the grain export infrastructure up to 2035

Маршруты экспорта	Объем экспорта, млн. т		
	Оптимистический сценарий	Базовый сценарий	Пессимистический сценарий
Азово-Черноморский бассейн	68,6	61,9	61,9
Сухопутные поставки в страны СНГ и Азии	8,0	5,0	5,0
Волго-Каспийский бассейн	15,0	15,0	2,9
Порты Ленинградской области	11,8	11,8	1,4
Порты Владивостока	7,27	7,27	0,7
Итого	110,76	100,97	71,9

Источник: составлено авторами на основе данных [4, 5, 7]

Source: compiled by the authors based on data [4, 5, 7]

Из анализа данных табл. 2 следует, что если в пессимистичном сценарии доля Азово-Черноморского бассейна в российском зерновом экспорте составит 86,1% (61,9 млн. т), то в базовом снизится до 61,3% (в оптимистическом – 62,0%). При этом доля Волго-Каспийского бассейна возрастет от пессимистического к оптимистическому сценарию с 4,0 до 13,6%, Балтийских портов – с 1,9 до 10,7%, Владивостокских портов – с 1,0 до 6,6%.

Это означает более глубокую диверсификацию экспорта российского зерна и существенное снижение зависимости России от экспорта через Азово-Черноморский бассейн. Снижение зависимости от поставок зерна через Черное море имеет важное значение в связи с возрастанием уязвимости экспортных потоков к внешнеполитическим рискам.

Выводы. К настоящему моменту в мире сохраняются проблемы зерновой логистики, связанные с недостаточно развитой инфраструктурой для транспортировки и хранения зерна в развивающихся странах, ростом геополитической напряженности, различиями в требованиях к качеству зерна и транспорту со

стороны крупных экспортеров и импортеров. Перспективными направлениями трансформации логистических путей являются применение контейнерных перевозок зерна, диверсификация маршрутов поставок, модернизация портовой инфраструктуры, утверждение на международном уровне между экспортерами и импортерами единых требований к качеству зерна и транспорту, внедрение системы перевозки зерна маршрутными поездами и цифровизация зерновой логистики.

Данные проблемы в полной мере актуальны для российской экономики, для которой в структуре маршрутов экспорта зерна более 86% от его объема приходится на Азово-Черноморский бассейн, поставки из которого наиболее чувствительны к региональным геополитическим рискам. Другие маршруты зернового экспорта России – через Волго-Каспийский бассейн, порты Ленинградской области и Владивостока, а также железнодорожные поставки в страны СНГ и Азии, обладают менее развитой инфраструктурой.

Диверсификация экспортных поставок зерна возможна при успешной реализации приоритетных инфраструктурных проектов. Это, в

соответствии с оптимистическим сценарием Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года, целевые ориентиры которой были превышены уже в 2022 году, позволит довести экспорт зерна до 110 млн. т (рост на 54% по сравнению с 2023-2024 годов), и снизить долю Азово-Черноморского бассейна до 62% (с ростом мощности на 6,7 млн. т). Прирост мощности зерновых терминалов Волго-Каспийского бассейна в оптимистическом сценарии ожидается на уровне 12,1 млн. т в год, Ленинградской области – 10,4 млн. т, Владивостока – 6,5 млн. т. Однако реализация таких масштабных проектов строительства и модернизации зерновых терминалов, как зерновой комплекс «Тамань», «Порт-Высоцкий», зерновой терминал FESCO и др., а также строительство «Нового Сухопутного Зернового коридора» в Сибири потребует не только инвестиций более 150 млрд. руб., но и последующих вложений в их цифровую модернизацию.

В условиях высоких процентных ставок по кредитам, усиления санкционных ограничений важно реализовать ряд мер поддержки развития инфраструктуры зернового экспорта,

таких как совершенствование законодательства в части увеличения временного периода неизменных налоговых условий в соглашениях о защите капиталовложений до 30 лет (Госдума РФ), развитие концессий в рамках государственно-частного партнерства по строительству и модернизации зерновых терминалов (Минэкономразвития России и ФНС), упрощение административных процедур и усиление прав защиты иностранных инвестиций в развитие портовой инфраструктуры и ее цифровую модернизацию (Минцифры и Минэкономразвития России), уменьшение концентрации портовых мощностей посредством государственных программ создания малых и средних терминалов (ФАС и Минпромторг России).

Это позволит увеличить поставки зерна в новые страны, которые расположены ближе к морским портам Ленинградской области и Приморского края – страны Суб-Сахары (Африка южнее Сахары) и Юго-Восточной Азии. Наличие новых рынков сбыта будет драйвером для развития логистической инфраструктуры по новым маршрутам экспорта зерна.

Литература

1. Tikhomirova V.A. The Role and Place of Russia in the World Grain Market // *Advances in Global Change Research*. 2023. Vol. 73. pp. 519-526. doi: 10.1007/978-3-031-19979-0_53
2. Чухарев А. В. Российский зерновой экспорт в условиях экономических санкций Запада // *Экономические и социальные проблемы России*. 2024. № 3. С. 119-135. doi: 10.31249/espr/2024.03.07
3. Härmäläinen E., Twrdy E., Inkinen T. Cost aggregation in export logistics chain // *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2017. Vol. 3. pp. 26. doi: 10.1186/s40852-017-0077-9
4. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года: Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 августа 2019 г. № 1796-п. URL: <http://static.government.ru/media/files/y1lpA0ZfzdMCfATNBKGfflCXEQ142yAx.pdf> (дата обращения: 25.05.2026).
5. Официальный сайт полномочного представителя Президента Российской Федерации в Северо-Западном федеральном округе). Открытие глубоководного зернового терминала «Порт Высоцкий». 8 сентября 2023. URL: http://szfo.gov.ru/invest_upolnomocheni/invest_proekti/4687/ (дата обращения: 25.05.2026).
6. Официальный сайт Правительства Ленинградской области. Порту Высоцка – развитие и инвестиции. 8 сентября 2023 года. URL: <https://lenobl.ru/ru/dlya-smi/news/65075/> (дата обращения: 25.05.2026).
7. Инвестиционный портал Темрюкского муниципального района Краснодарского края. Строительство зернового терминального комплекса Тамань. URL: <https://invest.temryuk.ru/ru/v-pom-investoru/realizovannyye-i-realizuemye-proekty/stroitelstvo-zernovogo-terminalnogo-kompleksa-taman/> (дата обращения: 25.05.2026).
8. Логистическая компания FESCO (Росатом). Первый зерновой терминал FESCO получил статус приоритетного инвестиционного проекта ДФО. 13 июля 2023. URL: <https://www.fesco.ru/ru/press-center/news/pervyy-zernovoy-terminal-fesco-poluchil-status-prioritetnogo-investitsionnogo-proekta-dfo/> (дата обращения: 25.05.2026).
9. Перевалка зерна в российских портах и стоимость фрахта: итоги сезона 2024/2025 и прогнозы на текущий сезон. 21 июля 2025. URL: <https://www.zol.ru/n/3f12d> (дата обращения: 25.05.2026).
10. Экспорт российского зерна с начала сезона 2023-2024 годов к 1 февраля вырос на 23% – до 38,5 млн тонн. 1 февраля 2024. URL: <https://portnews.ru/news/359137/> (дата обращения: 25.05.2026).
11. Ciravegna E., Hoof L., Frier C., Maes F., Rasmussen H.B., Soete A., Burg S.W.K. The hidden costs of multi-use at sea // *Marine Policy*. 2024. Vol. 161. 106017. doi: 10.1016/j.marpol.2024.106017
12. Cunha D.R., Costa M.D.C., Oliveira C.B.M., Pereira N.N. SDG attributes: A sustainability assessment framework for Brazilian ports // *Marine Policy*. 2025. Vol. 181. 106841. doi: 10.1016/j.marpol.2025.106841
13. Lütke-Dörhoff M., Krieger-Güss S. Local versus global supply chains // *Reference Module in Food Science*. 2025. doi: 10.1016/B978-0-443-15976-3.00146-X
14. Petersson N.P. Shipping as a Knowledge Industry: Research and Strategic Planning at Ocean Group / In book: Petersson N., Tenold S., White N. (eds) *Shipping and Globalization in the Post-War Era*. Palgrave Studies in Maritime Economics. Cham: Palgrave Macmillan, 2019. pp. 157-182. doi: 10.1007/978-3-030-26002-6_7
15. Горячко М.Д., Леоненко Н.С. Структурные и региональные особенности развития российского агропродовольственного экспорта // *Международная торговля и торговая политика*. 2021. №3 (27). С. 116-132. doi: 10.21686/2410-7395-2021-3-116-132
16. Лукьянова М.Т., Канзафаров А.С., Валиахметов Р.Ш. Зерновое производство как основа формирования потенциала роста рынка зерна // *Российский электронный научный журнал*. 2024. № 4(54). С. 125-133. doi: 10.31563/2308-9644-2024-54-4-125-133
17. Шалаева Л.В. Зерновые ресурсы Российской Федерации в условиях макроэкономических шоков: оценка тенденций в разрезе основных факторов производства // *Продовольственная политика и*

безопасность. 2023. Т. 10, № 1. С. 157-174. doi: 10.18334/ppib.10.1.116924.

18.Березин А.О., Сперанская Я.А., Прозоров К.В. Закономерности развития экспорта зерновых культур из южных регионов России водным транспортом // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2024. №16(5). С. 690-699. doi: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-690-699.

19.Швандар Д.В., Соловейчик М.С. Отраслевые аспекты развития зерновых портовых терминалов России // Логистика. 2025. № 5(222). С. 18-22.

20.Копьев Д.С. Исследование границ конкурентного поля портов Дальнего Востока для грузопотоков зерна в Юго-Восточную Азию // Вестник Морского государственного университета. 2024. № 94. С. 51-54.

21.Гришкова А.А. Россия как экспортер зерна в новых условиях: возможности и риски // Российский внешнеэкономический вестник. 2024. №2. С. 21-37. doi: 10.24412/2072-8042-2024-2-21-37

22.Shchutskaya A.V. Grain Production and Export in Russia: Current State and Development Trends // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 210. pp. 31-39. doi:10.1007/978-3-030-90843-0_4.

References

1. Tikhomirova VA. The role and place of Russia in the world grain market. Advances in global change research. 2023; Vol.73. 519-526 p. doi: 10.1007/978-3-031-19979-0_53

2. Chukharev AV. [Russian grain exports under Western economic sanctions]. Ekonomicheskie i sotsialnye problemy Rossii. 2024; 3. 119-135 p. doi: 10.31249/espr/2024.03.07

3. Hamalainen E, Twrdy E, Inkinen T. Cost aggregation in export logistics chain. Journal of open innovation: technology, market, and complexity. 2017; Vol.3. 26 p. doi: 10.1186/s40852-017-0077-9

4. Dolgosrochnaya strategiya razvitiya zernovogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2035 goda: utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 10 avgusta 2019 g. № 1796-r. [Long-term strategy for grain complex development of the Russian Federation until 2035: approved by Government Decree of the Russian Federation dated August 10, 2019 No. 1796-r]. [cited 2026, May 26]. Available from: files/y1IpAOZfzdMCfATNBKGf1cXEQ142yAx.pdf.

5. Official website of the Plenipotentiary Representative of the President of the Russian Federation in the North-western Federal District. Opening of the deep-water grain terminal "Port Vysotskiy". September 8, 2023. [cited 2026, May 25]. Available from: http://szfo.gov.ru/invest_upolnomocheniya/invest_proekty/4687/.

6. Official website of the Government of Leningrad region. Port of Vysotsk - development and investment. September 8, 2023. [Internet]. Government of Leningrad Region. [cited 2026, May 25]. Available from: <https://lenobl.ru/ru/dlya-smi/news/65075/>.

7. Investment portal of Temryuk municipal district of Krasnodar region. Construction of Taman grain terminal complex. [Internet]. Temryuk municipal district. [cited 2026, May 26]. Available from: <https://invest.temryuk.ru/ru/v-pom-investoru/realizovannye-i-realizuemye-proekty/stroitelstvo-zernovogo-terminalnogo-kompleksa-taman/>

8. Logistics company FESCO (Rosatom). FESCO's first grain terminal received the status of a priority investment project in the Far Eastern Federal District. July 13, 2023. [cited 2026, May 25]. Available from: <https://www.fesco.ru/ru/press-center/news/pervyy-zernovoy-terminal-fesco-poluchil-status-prioritetnogo-investitsionnogo-proekta-dfo/>

9. Grain transshipment in Russian ports and freight costs: results of the 2024/2025 season and forecasts for the current season. July 21, 2025. [Internet]. Zerno on-line news agency. [cited 2026, May 25]. Available from: <https://www.zol.ru/n/3f12d> (data obrashcheniya: 25.05.2026).

10. Russian grain exports from the beginning of 2023-2024 season to February 1 increased by 23% – to 38.5 million tonnes. February 1, 2024. [Internet]. Port-news agency. [cited 2026, May 25]. Available from: <https://portnews.ru/news/359137/> (data obrashcheniya: 25.05.2026).

11. Ciravegna E, Hoof L, Frier C, Maes F, Rasmussen HB, Soete A, Burg SWK. The hidden costs of multi-use at sea. Marine Policy. 2024; Vol.161. 106017. doi: 10.1016/j.marpol.2024.106017

12. Cunha DR, Costa MDC, Oliveira CBM, Pereira NN. SDG at-tributes: a sustainability assessment framework for Brazilian ports. Marine Policy. 2025; Vol.181. 106841. doi: 10.1016/j.marpol.2025.106841

13. Lutke-Dorhoff M, Krieger-Guss S. Local versus global supply chains. Reference module in food science. 2025. doi: 10.1016/B978-0-443-15976-3.00146-X

14. Petersson NP, Tenold S, White N. Shipping as a knowledge industry: research and strategic planning at ocean group. In book: Shipping and globalization in the post-war era. Palgrave studies in maritime economics. Cham: Palgrave Macmillan. 2019; 157-182 p. doi: 10.1007/978-3-030-26002-6_7.

15. Goryachko MD, Leonenko NS. [Structural and regional features of Russian agrifood exports development]. Mezhdunarodnaya trgovlya i trgovaya politika. 2021; 3(27). 116-132p. doi:10.21686/2410-7395-2021-3-116-132

16. Lukyanova MT, Kanzafarov AS, Valiakhmetov RSh. [Grain production as a basis for forming the grain market growth potential]. Rossiyskiy elektronnyy nauchnyy zhurnal. 2024; 4(54). 125-133 p. doi: 10.31563/2308-9644-2024-54-4-125-133

17. Shalaeva LV. [Grain resources of the Russian Federation under conditions of macroeconomic shocks: assessment of trends in the context of main factors of production]. Prodovolstvennaya politika i bezopasnost. 2023; Vol.10. 1. 157-174 p. doi: 10.18334/ppib.10.1.116924.

18. Berезин AO, Speranskaya YaA, Prozorov KV. [Patterns of grain exports development from the southern regions of Russia by water transport]. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O.Makarova. 2024; 16(5). 690-699 p. doi: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-690-699.

19. Shvandar DV, Soloveychik MS. [Industry aspects of grain port terminals development in Russia]. Logistika. 2025; 5(222). 18-22 p.

20. Kopev DS. [Study the competitive field boundaries of Far Eastern ports for grain cargo flows to Southeast Asia]. Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. 2024; 94. 51-54 p.

21. Grishkova AA. [Russia as a grain exporter in the new conditions: opportunities and risks]. Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik. 2024; 2. 21-37 p. doi: 10.24412/2072-8042-2024-2-21-37

22. Shchutskaya AV. Grain production and export in Russia: current state and development trends. Lecture notes in civil engineering. 2022; Vol.210. 31-39 p. doi:10.1007/978-3-030-90843-0_4.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Коновалова Мария Евгеньевна – доктор экономических наук, профессор, директор института национальной и мировой экономики Самарского государственного экономического университета (443090, Российская Федерация, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141), e-mail: mkonoval@mail.ru, ORCID 0000-0002-1876-8144

Кузьмина Ольга Юрьевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории Самарского государственного экономического университета (443090, Российская Федерация, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141), e-mail: pisakina83@yandex.ru, ORCID 0000-0002-4460-0468

Жиронкин Сергей Александрович – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры открытых горных работ Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28.), профессор кафедры торгового дела и маркетинга Сибирского федерального университета (660041, Российская Федерация, г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79), e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru, ORCID 0000-0002-0887-5907

Сафиуллин Ленар Наилевич – доктор экономических наук, профессор, проректор по искусственному интеллекту Казанского государственного аграрного университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65), e-mail: lenar_s@mail.ru, ORCID 0009-0004-3864-3869

Вклад авторов:

М.Е. Коновалова – администрирование проекта, написание оригинального черновика;

О.Ю. Кузьмина – формальный анализ, написание оригинального черновика;

С.А. Жиронкин – методология, редактирование рукописи;

Л.Н. Сафиуллин – разработка концепции, авторский надзор.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 02.09.2025; одобрена после рецензирования 01.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Konovalova Mariya Evgenyevna – Doctor of Economics, Professor, Director of Institute of National and World Economy Samara State University of Economics (141 Sovetskoy Armii St., Samara, 443090, Russian Federation), e-mail: mkonoval@mail.ru, ORCID 0000-0002-1876-8144

Kuzmina Olga Yurevna – Ph.D. of Economics, Associate Professor of Economic Theory Department Samara State University of Economics (141 Sovetskoy Armii St., Samara, 443090, Russian Federation), e-mail: pisakina83@yandex.ru, ORCID 0000-0002-4460-0468

Zhironkin Sergey Aleksandrovich – Doctor of Economics, Professor, Professor of Open-Pit Mining Department Kuzbass State Technical University named after T.F.Gorbachev (28 Vesennyya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation), Professor of Trade and Marketing Department Siberian Federal University (79 Svobodny Avenue, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation), e-mail: zhironkinsa@kuzstu.ru, ORCID 0000-0002-0887-5907

Safiullin Lenar Nailevich – Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Artificial Intelligence Kazan State Agrarian University (65 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russian Federation), e-mail: lenar_s@mail.ru, ORCID 0009-0004-3864-3869

Contribution of the authors:

М.Е. Коновалова – Project administration, Writing of original draft;

О.Ю. Кузьмина – Formal analysis, Writing of original draft;

С.А. Жиронкин – Methodology, Manuscript editing;

Л.Н. Сафиуллин – Concept development, Author's supervision.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 02.09.2025; revised 01.06.2026; accepted 25.06.2026.



**ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ НЕДРУЖЕСТВЕННЫХ ГОСУДАРСТВ**

© 2026 Кузнецов С. В. ✉

*Академия ФСИН России
(г. Рязань, Российская Федерация)
✉ KuziaSV@mail.ru*

Реферат. Актуальность исследования обусловлена усилением санкционного давления, ограничивающего доступ АПК к импортным средствам производства, технологиям, логистическим каналам и внешним рынкам, что требует более точного мониторинга продовольственной безопасности с учетом научно-технологических и внешнеторговых факторов. Цель исследования состоит в разработке методики оценки уровня продовольственной безопасности России в условиях санкций недружественных государств. Методика основана на расчете многокомпонентного интегрального индекса FSi, включающего 91 показатель, сгруппированный по стадиям обеспечения продовольственной безопасности, элементам физической и экономической доступности, рационального использования продовольствия, а также секторам социально-эколого-экономического влияния. Весовые коэффициенты определены экспертным методом и с учетом структуры потребительских расходов по 33 категориям продовольственных товаров. Расчеты за 2013–2023 годы показали рост FSi с 0,94 до 1,48 балла, или примерно в 1,7 раза; в процентах к максимальному рейтинговому значению уровень продовольственной безопасности увеличился с 23% до 37%, прирост составил 13,6 п. п. При этом достигнутое значение остается в диапазоне низкого уровня [1,0; 2,0). Наиболее сильная положительная динамика выявлена в блоке обмена продовольствием. Данный показатель вырос на 55,8 п. п. и достиг 66,7% порогового максимума. Более ограниченные результаты зафиксированы по распределению продовольствия – 21,0%, потреблению – 31,5%, рациональному использованию – 31,6%, физической доступности – 38,8%. Ужесточение санкций 2022 году сопровождалось снижением производства продовольствия на 17,5 п. п., экономической доступности — на 28,4 п. п., состояния окружающей среды – на 22,0 п. п. Полученные результаты подтверждают необходимость приоритетного укрепления технологического самообеспечения АПК, выравнивания межрегионального распределения продовольствия и повышения качества питания населения.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, самообеспечение продовольствием, АПК, методика оценки, интегральный индекс, нормы потребления, санкции.

Для цитирования: Кузнецов С.В. Формирование методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 134-145. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-134-145

**DEVELOPMENT OF A FOOD SECURITY ASSESSING METHOD UNDER SANCTIONS
IMPOSED BY UNFRIENDLY STATES**

© 2026 Kuznetsov S. V. ✉

*Academy of Federal Penitentiary Service of Russia
(Ryazan, Russian Federation)
✉ KuziaSV@mail.ru*

Abstract. The relevance of this study is determined by increasing sanctions pressure, which limits the agricultural sector's access to imported inputs, technologies, logistics channels and external markets, which requires more accurate monitoring of food security, taking into account scientific, technological and foreign trade factors. The aim of the study is to develop a methodology for assessing Russia's food security under sanctions from unfriendly states. A methodology is based on the calculation of multi-component integrated FSi index, which includes 91 indicators grouped by stages of food security, elements of physical and economic accessibility, rational use of food and sectors of social and environmental and economic influence. Weighting coefficients are determined by expert methods and taking into account the structure of consumer spending across 33 food product categories. Calculations for 2013–2023 showed an increase in FSi from 0.94 to 1.48 points, or approximately 1.7 times; as a percentage of the maximum rating value, the level of food security increased from 23% to 37%, an increase of 13.6 percentage points. However, the achieved value remains in low level range [1.0; 2.0). The strongest positive dynamics were revealed in the food exchange unit. This indicator increased by 55.8 percentage points and reached 66.7% of the threshold maximum. More limited results were recorded for food distribution - 21.0%, consumption - 31.5%, rational use - 31.6%, physical accessibility - 38.8%. Tightening of sanctions in 2022 was accompanied by a decline in food production by 17.5 percentage points,

economic access by 28.4 percentage points and environmental conditions by 22.0 percentage points. The obtained results confirm the need to prioritize strengthening technological self-sufficiency of agro-industrial complex, equalizing interregional food distribution and improving the quality of nutrition.

Key words: food security, food self-sufficiency, agro-industrial complex, assessment methodology, integrated index, consumption standards, sanctions.

For citation: Kuznetsov SV. [Development of a food security assessing method under sanctions imposed by unfriendly states]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol. 21. 2(82). 134-145 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-134-145

Введение. Вопросы исследования продовольственной безопасности и эффективных методических основ ее мониторинга и оценки относятся к числу наиболее актуальных. Это обусловлено совокупностью внешних и внутренних вызовов, перестраивающих существующую систему продовольственной безопасности, и потребностью в новых методологически обоснованных инструментах, способных обеспечить устойчивость и адаптивность этой системы к усиливающемуся геополитическому давлению и технологической трансформации всей экономической системы.

Высокий агропромышленный потенциал России обусловлен наличием и эффективным использованием земельных [1] и водных [2] ресурсов. В числе важных характеристик следует учитывать не только площадь сельскохозяйственных угодий, но и климатические, геологические, экономические и иные факторы, оказывающие влияние на их продуктивность. В свою очередь, уже введенные, а также потенциальные санкции со стороны недружественных государств повышают уязвимость отечественной системы обеспечения продовольственной безопасности в виду ограниченного доступа к средствам производства импортного происхождения (агробιο-технологии, средства химизации сельского хозяйства, ветеринарные препараты, семенной материал, оборудование и сельскохозяйственная техника и т.д.), нарушения существующих логистических цепочек и необходимости ускоренной локализации производств [3]. В результате эффективность традиционных подходов к обеспечению продовольственной безопасности снижается, риски и угрозы материализуются, актуализируется потребность в адаптации и трансформации существующей системы обеспечения продовольственной безопасности с учетом современных и перспективных значений и ключевых факторов.

Создание основы устойчивого развития системы обеспечения продовольственной безопасности, в свою очередь, базируется на наличии актуальных инструментов мониторинга и оперативной адаптации, учитывающих динамично изменяющиеся геополитические реалии. Наличие такого рода инструментов формирует конкурентное преимущество государства (в части противостояния действиям и политике недружественных государств) за счет своевременного выявления различного рода уязвимостей и рисков

продовольственной безопасности и принятия соответствующих мер, минимизирующих их влияние. Таким образом, необходимость формирования соответствующей методики оценки является актуальной задачей. Цель исследования заключается в формировании методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств в научно-технологической и внешне-торговой сферах

Условия, материалы и методы. В качестве теоретико-методической основы для разработки методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств выступали труды таких авторов, как Черкасова О. В., Строков А. С., Цветнов Е. В. и др. [4], Гурнович Т. Г., Жигалова К. С. [5], Резниченко С. М., Тюпаков К. Э., Михайлов А. Э. [6], Колесников А. В. [7], Белугин А. Ю., Белугина Т. А. [8], Владыка М. В., Чистникова И. В., Бурдинская Д. М. и др. [9], Черкасова О. В., Строков А. С., Цветнов Е. В. и др. [10], Прохоренко О. С., Черкасова О. В. [11], Герасимов А. Н., Трысячный В. И., Леликова Е. И. [12], Колесников А. В., Серков А. Ф. [13], Комаров П. И., Крамних О. Ю., Киященко Л. Т. [14], Кусаинова А. Б. [15], Сафиуллин И. Н., Зиганшин Б. Г., Амирова Э. Ф. и др. [16], Wereta M. S., Ayele Z. A., Damtie Y. A. [17], Li S., Zhang Z., Xu J. et al. [18], Ricci C. A., Orloff A. E., Wynne M. et al. [19], а также методологические рекомендации по формированию системы показателей для оценки состояния продовольственной безопасности в странах СНГ [20], системы оценки продовольственной безопасности ФАО [21, 22], глобальный индекс продовольственной безопасности (англ. The Global Food Security Index) [23].

В качестве информационно-эмпирической основы выступают итоги федеральных статистических выборочных наблюдений по социально-демографическим проблемам [24], данные федеральных и региональных служб государственной статистики [25], Единой межведомственной информационно-аналитической системы (далее – ЕМИСС) [26], данные ведомственной отчетности Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [27].

Структура многокомпонентного индекса (FS_i) системы оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств, разработанного нами, представлена на рисунке 1.

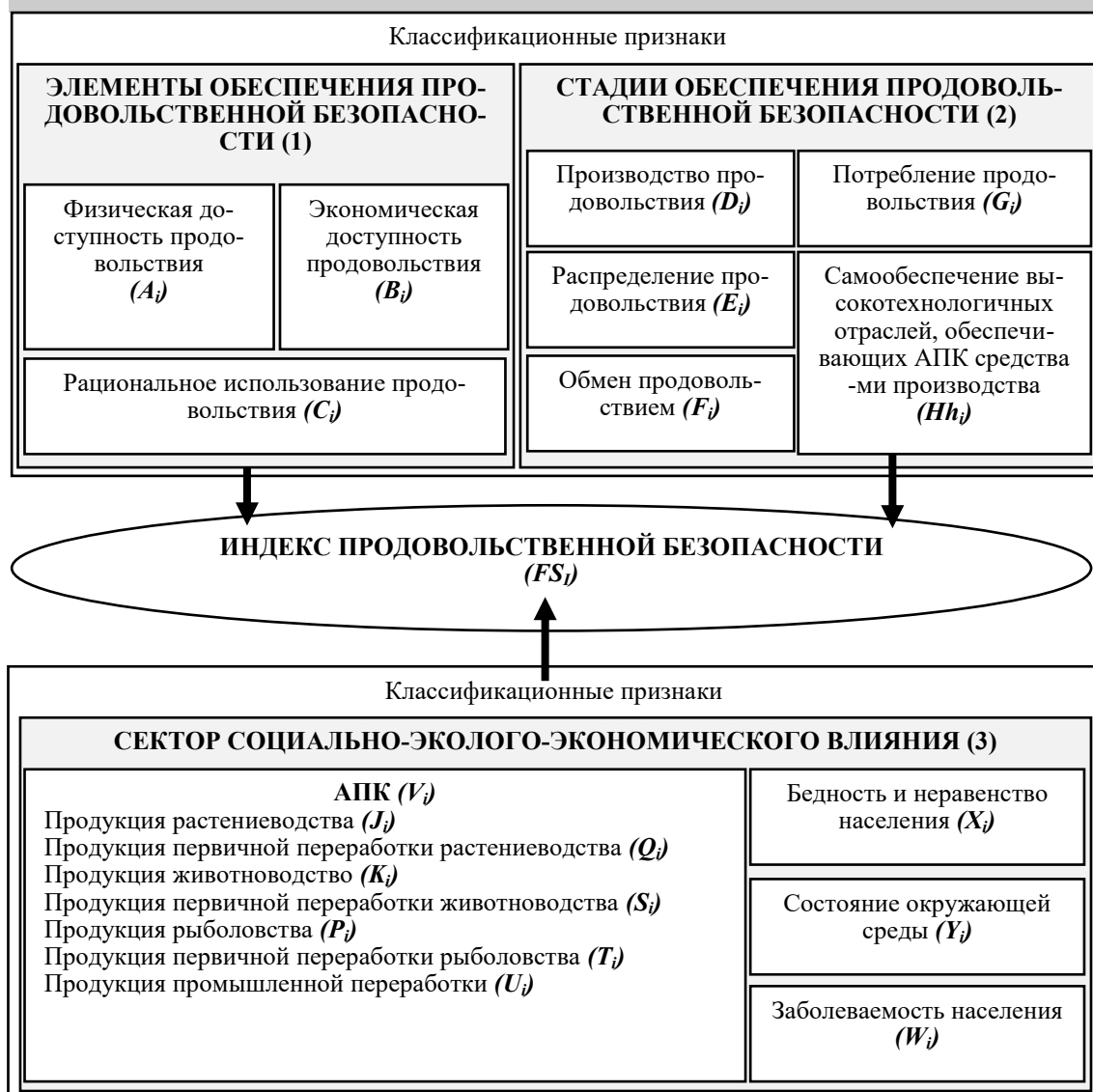


Рис. 1 – Структура многокомпонентного индекса (FS_i) системы оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств
 Fig. 1 – Structure of the multicomponent index (FS_i) of the system for assessing the level of food security under sanctions imposed by unfriendly states

Источник: разработано автором
 Source: developed by the author

С целью систематизации нами был выбран классификационный признак, позволяющий распределить показатели по стадиям обеспечения продовольственной безопасности на пять крупных блоков показателей (D, E, F, G, H). Показателям методики уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств, разработанным нами, соответствуют метки, которые позволяют оценить степень влияния каждого коэффициента, на такие категории классификационных признаков, как «элементы обеспечения продовольственной безопасности» (блоки A, B, C) и «сектор социально-эколого-экономического влияния» (блоки $V, J, K, P, Q, T, S, U, W, X, Y$).

Разработанная система оценки объединяет 91 показатель и выступает в качестве

методической основы для осуществления расчета интегрального показателя оценки уровня продовольственной безопасности. Посредством применения метода экспертных оценок, а также с использованием метода анализа иерархий произведен расчет весовых коэффициентов индивидуальных показателей методики $a_{n,m}$ и их групп (a_n), результаты представлены в таблице 1.

Отметим, что дополнительно нами проводились расчеты количества энергии и пищевых веществ, включенных в условный (минимальный) набор продуктов питания. Полученные нами расчетные данные свидетельствуют о соответствии среднесуточного объема энергии и пищевых веществ нормам физиологических потребностей населения.

Таблица 1 – Весовые коэффициенты показателей оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств ($a_{n,m}$), их групп (a_n)

Table 1 – Weight coefficients of the indicators for assessing the level of food security under sanctions imposed by unfriendly states ($a_{n,m}$), and their groups (a_n)

Группа показателей, усл. обозначение	Весовой коэф. под-группы (a_n)	Усл. обозн. показат.	Весовой коэф. показателя ($a_{n,m}$)	Усл. обозн. показат.	Весовой коэф. показателя ($a_{n,m}$)	Усл. обозн. показат.	Весовой коэф. показателя ($a_{n,m}$)
Производство продовольствия (D_i)	0,25	DAV_1	0,030	DBV_6	0,003	DCV_7	0,005
		DAV_2	0,010	DBV_7	0,003	DCV_8	0,010
		DAV_3	0,007	DBV_8	0,003	DCV_9	0,005
		DAV_4	0,010	DBV_9	0,003	DCV_{10}	0,010
		DAV_5	0,005	DBV_{10}	0,003	DAX_1	0,007
		DAV_6	0,010	DBV_{11}	0,003	DAX_2	0,007
		DAV_7	0,010	DCV_1	0,010	DAY_1	0,015
		DBV_1	0,003	DCV_2	0,005	DCY_1	0,005
		DBV_2	0,003	DCV_3	0,007	DCY_2	0,005
		DBV_3	0,003	DCV_4	0,007	DCY_3	0,005
		DBV_4	0,003	DCV_5	0,007	DCY_4	0,004
		DBV_5	0,003	DCV_6	0,021	-	-
Распределение продовольствия (E_i)	0,20	EAV_1	0,012	EAV_7	0,018	ECW_3	0,010
		EAV_2	0,015	EAV_8	0,012	ECW_4	0,010
		EAV_3	0,027	ECV_1	0,010	ECW_5	0,010
		EAV_4	0,009	ECV_2	0,006	EAX_1	0,010
		EAV_5	0,027	ECW_1	0,010	-	-
Обмен продовольствием (F_i)	0,15	FCV_1	0,025	FAV_2	0,040	FBV_1	0,010
		FAV_1	0,040	FAV_3	0,020	FBV_2	0,015
Потребление продовольствия (G_i)	0,20	GCW_1	0,015	GCW_8	0,005	GBX_1	0,005
		GCW_2	0,015	GCW_9	0,010	GBX_2	0,010
		GCW_3	0,013	GCW_{10}	0,015	GBX_3	0,002
		GCW_4	0,010	GCW_{11}	0,015	GBX_4	0,002
		GCW_5	0,010	GCW_{12}	0,015	GBX_5	0,005
		GCW_6	0,010	GAX_1	0,010	GBX_6	0,003
Самообеспечение поддерживающих отраслей (Hh_i)	0,20	$HhCV_1$	0,012	$HhCV_5$	0,010	$HhAV_6$	0,013
		$HhCV_2$	0,012	$HhAV_2$	0,025	$HhAV_7$	0,013
		$HhAV_2$	0,014	$HhAV_3$	0,025	$HhAV_8$	0,014
		$HhCV_3$	0,007	$HhAV_4$	0,025	-	-
		$HhCV_4$	0,005	$HhAV_5$	0,025	-	-

Источник: разработано автором

Source: developed by the author

Пороговые значения показателей определены на основе использования метода экспертных оценок, рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания [28], методических рекомендаций «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» [29].

Осуществление расчета итогового интегрального показателя методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений со стороны недружественных России государств производится на основе формулы:

$$FS = \sum_{m=1}^{25} x_{1m} a_{1m} + \sum_{m=1}^{16} x_{2m} a_{2m} + \sum_{m=1}^6 x_{3m} a_{3m} + \sum_{m=1}^{21} x_{4m} a_{4m} + \sum_{m=1}^{13} x_{5m} a_{5m} \quad (1)$$

a_{nm} – весовой коэффициент индивидуального показателя методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений со стороны недружественных России государств;

x_{nm} – расчетное значение индивидуального показателя методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений со стороны недружественных России государств;

n – порядковый номер индивидуального показателя в группе;

m – порядковый номер группы индивидуальных показателей.

Для осуществления трактовки показателя FS методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений со стороны недружественных России государств используем систему интерпретации результатов оценки, представленную в таблице 2.

Таблица 2 – Трактовка методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений, принятых в отношении России со стороны недружественных государств

Table 2 – Interpretation of the methodology for assessing the level of food security under the sanction restrictions imposed on Russia by unfriendly states

Баллы рейтинговые	Интерпретация результатов оценки
0 баллов	Минимальный уровень продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств
1 балл	Низкий уровень продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств
2 балла	Средний уровень продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств
3 балла	Высокий уровень продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств
4 балла	Максимальный уровень продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств

Источник: разработано автором

Source: developed by the author

Максимальное значение итогового интегрального показателя FS определяется шкалой нормирования индивидуальных показателей. Каждый индивидуальный показатель после нормирования принимает значение от 0 до 4 баллов, где 0 соответствует минимальному, а 4 – максимально возможному уровню достижения установленного порогового значения. Поскольку сумма весовых коэффициентов индивидуальных показателей равна 1, итоговый показатель FS, рассчитываемый как сумма взвешенных нормированных значений, также находится в интервале от 0 до 4:

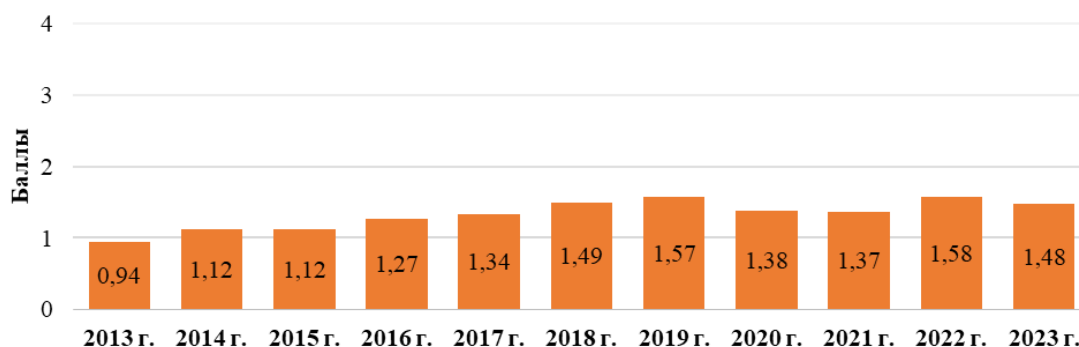
$$FS = \sum w_i \times x_i, \quad (2)$$

где: $\sum w_i = 1$; $x_i \in [0; 4] \rightarrow FS \in [0; 4]$

Таким образом, значение FS представляет собой непрерывную интегральную оценку,

а рейтинговый балл используется для содержательной интерпретации полученного результата. Перевод значения FS в рейтинговый балл осуществляется по следующим интервалам: $0 \leq FS < 1$ – минимальный уровень продовольственной безопасности; $1 \leq FS < 2$ – низкий уровень; $2 \leq FS < 3$ – средний уровень; $3 \leq FS < 4$ – высокий уровень; $FS = 4$ – максимальный уровень продовольственной безопасности.

Результаты и обсуждение. На основе сформированного выше методического аппарата был осуществлен расчет значений итогового показателя методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений, принятых в отношении России со стороны недружественных государств (FS_i), результаты которого отражены на рисунке 2.



■ Итоговый интегральный показатель оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств (FS)

Рис. 2 – Значение итогового показателя методики оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений, принятых в отношении России со стороны недружественных государств (FS_i) (2013–2023 годы)

Fig. 2 – Value of the final indicator of the methodology for assessing the level of food security under the sanction restrictions imposed on Russia by unfriendly states (FS_i) (2013–2023)

Источник: рассчитано автором с использованием данных [24, 25, 26]

Source: calculated by the author using data [24, 25, 26]

Интерпретация полученных в результате проведенной оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств в Российской Федерации позволяет сделать вывод о формировании тенденции к переходу на средний уровень продовольственной безопасности, т.к. за рассматриваемый период значение итогового интегрального показателя (FS_i) увеличивалось примерно в 1,7 раза. Текущий уровень продовольственной безопасности оценивается как низкий, диапазон значений [1,0; 2,0).

Результаты анализа показателей воздействия элементов (физическая и экономическая доступность продовольствия для потребителей, рациональное использование продовольствия), стадий (производство, распределение, обмен и потребление продовольствия, самообеспечение поддерживающих АПК отраслей) и секторов социо-эколого-экономического влияния (группировка секторов АПК, неравенство и бедность населения, состояние здоровья и окружающей среды) на величину FS_i в Российской Федерации (2013-2023 годы) отражен в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ воздействия элементов, стадий и секторов социо-эколого-экономического влияния на значение итогового интегрального показателя оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкций недружественных государств (FS_i) в Российской Федерации (2013-2023 годы), в % к max рейтинговому значению

Table 3 – Analysis of the impact of elements, stages, and sectors of socio-ecological-economic influence on the value of the final integral indicator for assessing the level of food security under sanctions imposed by unfriendly states (FS_i) in the Russian Federation (2013–2023), as a percentage of the maximum rating value

Оцениваемый параметр (b)	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Уровень продовольственной безопасности (FS)	23%	28%	28%	32%	34%	37%	39%	34%	34%	39%	37%
Стадия обеспечения продовольственной безопасности											
Производство продовольствия (D)	31,0%	41,5%	52,3%	46,2%	47,4%	49,9%	58,5%	43,5%	50,4%	54,0%	36,5%
Распределение продовольствия (E)	17,8%	18,3%	13,5%	18,0%	17,5%	17,5%	21,4%	22,4%	16,6%	15,5%	21,0%
Обмен продовольствием (F)	10,8%	19,2%	13,3%	26,7%	35,0%	50,8%	40,0%	47,5%	50,0%	60,0%	66,7%
Потребление продовольствия (G)	20,5%	20,9%	19,6%	23,9%	26,6%	25,4%	27,9%	25,4%	26,9%	28,0%	31,5%
Самообеспечение поддерживающих отраслей (Hh)	31,9%	34,8%	31,5%	39,0%	38,0%	42,8%	43,6%	34,1%	40,6%	41,3%	37,0%
Элемент обеспечения продовольственной безопасности											
Физическая доступность продовольствия (A)	23,1%	31,4%	28,1%	32,0%	34,2%	44,3%	39,4%	40,5%	40,3%	37,9%	38,8%
Экономическая доступность продовольствия (B)	36,7%	26,1%	27,8%	24,0%	34,7%	30,0%	41,9%	18,1%	49,2%	77,8%	49,4%
Рациональное использование продовольствия (C)	20,7%	23,8%	28,0%	33,1%	32,3%	29,1%	38,3%	29,7%	22,0%	32,6%	31,6%
Сектор социально-эколого-экономического влияния											
АПК (V)	26,3%	32,0%	31,9%	35,7%	37,3%	42,5%	44,2%	38,7%	42,0%	44,2%	41,0%
Бедность и неравенство населения (X)	17,9%	14,5%	14,5%	23,6%	31,5%	27,8%	37,7%	29,9%	30,9%	52,5%	47,8%
Состояние окружающей среды (Y)	24,3%	29,4%	39,7%	40,4%	39,7%	49,3%	50,7%	34,6%	27,9%	46,3%	24,3%
Заболеваемость населения (W)	15,0%	18,8%	17,4%	19,0%	19,4%	19,7%	19,4%	20,1%	17,3%	15,0%	19,8%

Источник: рассчитано автором с использованием данных [21, 22, 23]
Source: calculated by the author using data [21, 22, 23]

Оцениваемые параметры (b), представленные в таблице 3 рассчитаны по формуле (3):

$$b = \frac{\sum x_{nm}}{\sum x_{nm \max}} \times 100\% \quad (3)$$

x_{nm} – расчетное значение индивидуального показателя системы оценки;

$x_{nm \max}$ – максимально-допустимое значение индивидуального показателя системы оценки

Итоговый интегральный показатель (FS) в России по итогу 2023 г. составляет 37% от максимально возможного рейтингового значения, прирост за анализируемый период

составляет 13,6 п. п. Рассматривая показатель (FS) в разрезе стадий обеспечения продовольственной безопасности, отметим опережающую динамику в блоке, характеризующем состояние обмена продовольствием (F) +55,8 п. п. Таким образом, процесс обмена продовольствием с 2013 года в большей степени (около 5,2 раз) стал соответствовать принципам обеспечения продовольственной безопасности, ввиду мероприятий направленных на импортозамещение продукции пищевой промышленности (FAV_1 +75,0 п. п.), активной государственной поддержки экспорта продукции АПК (FBV_1 +100,0 п. п.), изменение внешнеторгового баланса в пользу экспортной ориентации (FCV_1 +100,0 п. п.), более стабильными внутренними ценами на пять категорий продовольственных товаров (мясо, молочные продукты, масла, сахар и зерновые культуры), относительно уровня волатильности на глобальных агропродовольственных рынках (FBV_2 +25,0 п. п.). Текущее значение показателей, отражающих соответствие параметров обмена продовольствием принципам продовольственной безопасности составляет 66,7%.

Блок показателей, характеризующий потребление продовольствия (G) внутри страны, увеличился на 11,0 п. п., положительная динамика обусловлена опережающим ростом индекса реальных среднелюдских денежных доходов населения относительно потребительских цен на 32 основных категории продовольственных товаров (GBX_2 +25,0 п. п.) и относительно стоимости условного (минимального) набора продуктов питания (GBX_7 +50,0 п. п.). Текущее значение показателей, отражающих соответствие параметров потребления продовольствия принципам продовольственной безопасности составляет 31,5%. Что обусловлено отсутствием существенных изменений параметров, характеризующих соотношение фактического потребления нутриентов (белков, жиров и углеводов) и калорийности рациона населения относительно норм физиологической потребности. В 2023 году суточный рацион населения на 96,0% соответствовал нормам по уровню калорийности (GCW_4 в 2013 году – 98,0%), что свидетельствует о наличии склонности к низкокалорийному питанию – для категории граждан, чьи денежные доходы превышают границу бедности и о недостатке питания – для граждан, находящихся за границей бедности. При этом состав потребляемых нутриентов не сбалансирован. Так, население потребляет 96,1% белка (в т.ч. зафиксировано превышение нормы потребления белка животного происхождения на 29,1%), 122,9% жиров и 81,3% углеводов относительно физиологической нормы, что свидетельствует о дисбалансе нутриентов в рационе, преобладании в нем жирной пищи животного происхождения и недостатке сложных углеводов и клетчатки – выявленная тенденция за анализируемый

период усугубляется. Так, лишь около 14,2% населения в возрасте старше 15 лет потребляют не менее 400 гр. овощей и фруктов ежедневно (GCW_{12}). Следует отметить, что текущий уровень потребления некоторых категорий продовольственных товаров (хлеб и хлебобулочные изделия, сахар и кондитерские изделия) многократно превышают значение рациональных норм потребления (в 1,2 и 4,9 раза соответственно), что, в свою очередь, не отвечает актуальным требованиям к формированию здорового рациона.

Анализ позволяет выявить, что значение показателя, который характеризует соотношение уровня потребления на душу населения к рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания в категории «Мясо и мясoproductы (без субпродуктов II категории и жира-сырца)» варьируется в диапазоне 91,8%-101,4%, среднее значение показателя равно 95,1%. Таким образом, без субпродуктов II категории и жира-сырца (т.е. мясом и мясoproductами в чистом виде) население не получает рациональную норму потребления, что свидетельствует о недостаточно высоком уровне доступности мяса и мясoproductов для граждан.

Наименьший прирост (+3,2 п. п.) зафиксирован по блоку показателей, характеризующих распределение продовольствия (E), анализируемых нами в разрезе федеральных округов. Указанная тенденция связана с такими явлениями, как наличие домохозяйств, не имеющих постоянный доступ к высококачественным источникам воды (EAX_1), недостаточным уровнем получаемых пищевых веществ (нутриентов) в рационе населения макрорегионов с учетом региональных погодноклиматических особенностей (ECW_1 - ECW_3), наличием рисков обеспечения потребителей продовольствием, обладающим опасными для здоровья микробиологическими, физико-химическими и санитарно-гигиеническими характеристиками, а также средним уровнем формирования продовольственных резервов относительно среднегодовых объемов потребления. Тенденции несбалансированного питания, выявленного на общероссийском уровне, усугубляются на региональном в недостаточном уровне потребления овощей и фруктов и в пользу продуктов промышленной переработки, преимущественно сахара (EAV_7). Таким образом, текущее значение показателей, отражающих соответствие параметров межрегионального распределения продовольствия принципам продовольственной безопасности составляет 21%.

Рассматривая показатель (FS) в разрезе элементов обеспечения продовольственной безопасности, отметим, что ведущим элементом выступает экономическая доступность продовольствия (B), текущее значение которого составляет 49,4% от максимально возможного (прирост за анализируемый период

ранен 12,8 п. п.). Отметим, что несмотря на наличие положительной динамики в целом, ряд показателей за анализируемый период снизились. Так, негативные изменения зафиксированы в структуре расходов на конечное потребление домохозяйств ($GBX_I - 50,0$ п. п.) за счет повышения доли затрат на продовольственные товары, и сокращения покупательной способности действующего размера прожиточного минимума ($GBX_4 - 50,0$ п. п.). Объединение показателей, которые характеризуют параметры физической доступности продуктов питания на внутреннем рынке (A) по итогу 2023 года составляет 38,8% от максимально возможного (прирост 15,7 п. п.), а степень рационального использования продовольствия (C) - 31,6% соответственно (прирост 10,9 п. п.).

На повышение уровня физической доступности продовольствия оказали положительное влияние показатели уровня самообеспечения продовольствием ($DAV_I + 50,0$ п. п., однако с 2022 года показатель снизился), рост производства 47 типов продовольствия ($DAV_2 + 100,0$ п. п.), увеличение посевных площадей ($DAV_6 + 50,0$ п. п.) и прирост уровня оплаты труда в АПК ($DAX_2 + 50,0$ п. п.). На повышение уровня рационального использования продовольствия оказали положительное влияние следующие факторы: снижение потерь в процессе производства продовольствия ($DCV_I + 25,0$ п. п.), повышение продуктивности молочного скота ($DCV_3 + 50,0$ п. п.). При этом текущий уровень по блоку C «Рациональное использование продовольствия» остается невысоким (31,6%) ввиду падения урожайности сельскохозяйственных культур ($DCV_6 - 100,0$ п. п.), снижения рентабельности сельскохозяйственных организаций ($DCV_{10} - 25,0$ п. п.), сокращения доли использования отходов производства и потребления АПК ($DCY_2 - 50,0$ п. п.).

В разрезе секторов социо-эколого-экономического влияния блоки показателей, характеризующих бедность и неравенство населения (X), состояние окружающей среды (Y) и заболеваемость населения (W) демонстрируют следующие тенденции. Наиболее существенный прирост (+ 29,9 п. п.) за анализируемый период зафиксирован в группе X – текущий уровень равен 47,8% от максимально возможного. Увеличение связано с сокращением разрыва между уровнем оплаты труда в АПК относительно других отраслей экономики ($DAX_I + 75,0$ п. п., однако увеличение показателя обусловлено повышением среднего уровня заработной платы в секторе вылова рыбы), общим снижением значения показателей, характеризующих бедность, а именно численности населения с денежными доходами ниже прожиточного минимума ($GBX_5 + 50,0$ п. п.). Однако нами было зафиксировано снижение доступности минимального набора продуктов питания для части населения, которая находится за чертой бедности ($GBX_4 - 50,0$ п. п.).

Положительные изменения за анализируемый период зафиксированы в группе W – текущий уровень составил 19,8% от максимально возможного. Прирост связан с сокращением уровня заболеваемости детей ($GCW_2 + 25,0$ п. п.), использованием населением достаточного количества воды на питьевые нужды ($GCW_9 + 25,0$ п. п.), сокращение доли детей в возрасте до 5 лет с пониженным весом (GCW_{10}) и детей, калорийность питания которых ниже минимально допустимого уровня (GCW_{11}). Наряду с этим было зафиксировано повышение доли детей, страдающих болезнями эндокринной системы, расстройством питания и нарушением обмена веществ ($GCW_I - 25,0$ п. п.).

Санкции недружественных государств, введенные в 2014 году, оказали следующее влияние на интегральный показатель, характеризующий продовольственную безопасность России:

- позитивные изменения зафиксированы в следующих блоках показателей: производство продовольствия (+10,8 п. п.), состояние окружающей среды (+ 10,3 п. п.), рациональное использование продовольствия (+ 4,2 п. п.) и его экономическая доступность (+1,7 п. п.), деятельность АПК (+ 0,1 п. п.);

- негативные изменения краткосрочного и среднесрочного характера зафиксированы в следующих блоках показателей: обмен продовольствием (-5,9 п. п.), распределение продовольствия (-4,8 п. п.), самообеспечение поддерживающих отраслей (- 3,3 п. п.), физическая доступность продовольствия (- 3,3 п. п.), заболеваемость населения (-1,4 п. п.) и потребление продовольствия (-1,3 п. п.).

Следующие тенденции наблюдаются после ужесточения санкций недружественных государств в 2022 году:

- позитивные изменения зафиксированы в следующих блоках показателей: обмен продовольствием (+ 6,7 п. п.), заболеваемость населения (+ 4,8 п. п.), распределение (+4,5 п. п.) и потребление продовольствия (+3,5 п. п.), физическая доступность продовольствия (+ 0,9 п. п.);

- негативные изменения зафиксированы в следующих блоках показателей: производство продовольствия (-17,5 п. п.), деятельность АПК (- 3,2 п. п.), самообеспечение поддерживающих отраслей (- 4,3 п. п.), рациональное использование продовольствия (- 1,0 п. п.) и его экономическая доступность (- 28,4 п. п.), бедность и неравенство населения (-4,7 п. п.), состояние окружающей среды (- 22,0 п. п.).

Выводы. Разработана методика оценки уровня продовольственной безопасности в условиях санкционных ограничений, отличающаяся использованием многокомпонентного интегрального индекса (FS), который объединяет 91 показатель и позволяет оценивать не только общий уровень продовольственной безопасности, но и вклад отдельных стадий, элементов и секторов социально-эколого-экономического влияния. Ключевое отличие

методики состоит в возможности выявлять не усредненное состояние продовольственной безопасности, а конкретные проблемные зоны, связанные с производством, распределением, обменом, потреблением продовольствия, экономической и физической доступностью, рациональностью питания, состоянием АПК, бедностью, заболеваемостью населения и экологическими факторами.

Расчет интегрального показателя показал, что в 2023 году значение (*FS*) составило 1,48 балла, или 37% от максимально возможного рейтингового значения. По сравнению с 2013 года, когда значение (*FS*) составляло 0,94 балла, уровень продовольственной безопасности увеличился на 0,54 балла, а в относительном выражении — на 13,6 п. п. Однако достигнутое значение по-прежнему находится в диапазоне низкого уровня продовольственной безопасности [1,0; 2,0], что свидетельствует о наличии устойчивых ограничений для перехода к среднему уровню.

Наиболее выраженная положительная динамика за 2013–2023 годы зафиксирована в блоке обмена продовольствием. Его значение выросло на 55,8 п. п. и достигло 66,7% от максимально возможного уровня. Это отражает эффект импортозамещения, изменения внешнеторгового баланса в пользу экспортной ориентации и мер государственной поддержки экспорта продукции АПК. Значимые улучшения также отмечены по физической доступности продовольствия, которая достигла 38,8% при приросте 15,7 п. п., и по блоку бедности и неравенства населения, где показатель составил 47,8% при приросте 29,9 п. п.

Проблемными зонами остаются распределение продовольствия, потребление и рациональное использование продовольственных ресурсов. В 2023 г. блок распределения продовольствия составил только 21% от максимально возможного значения, потребление продовольствия – 31,5%, рациональное использование продовольствия – 31,6%. Дополнительными ограничителями выступают низкие значения показателей, связанных с заболеваемостью населения – 19,8%, и состоянием окружающей среды – 24,3%, что указывает на необходимость увязки продовольственной политики не только с объемами производства, но и с качеством питания, региональной доступностью продовольствия, санитарно-гигиеническими характеристиками продуктов и экологическими условиями агропроизводства.

Санкции 2014 года оказали неоднородное влияние на продовольственную безопасность России. Положительные изменения проявились в производстве продовольствия (+10,8 п. п.), состоянии окружающей среды (+10,3 п. п.), рациональном использовании продовольствия (+4,2 п. п.) и экономической

доступности (+1,7 п. п.). Одновременно были выявлены отрицательные изменения в обмене продовольствием (-5,9 п. п.), распределении продовольствия (-4,8 п. п.), самообеспечении поддерживающих отраслей (-3,3 п. п.), физической доступности (-3,3 п. п.), заболеваемости населения (-1,4 п. п.) и потреблении продовольствия (-1,3 п. п.).

После ужесточения санкций в 2022 году положительная динамика была зафиксирована по обмену продовольствием (+6,7 п. п.), заболеваемости населения (+4,8 п. п.), распределению продовольствия (+4,5 п. п.), потреблению продовольствия (+3,5 п. п.) и физической доступности (+0,9 п. п.). Вместе с тем усилились риски по производству продовольствия (-17,5 п. п.), экономической доступности (-28,4 п. п.), состоянию окружающей среды (-22,0 п. п.), самообеспечению поддерживающих отраслей (-4,3 п. п.), бедности и неравенству населения (-4,7 п. п.) и деятельности АПК (-3,2 п. п.). Это означает, что санкционное давление стимулирует развитие отдельных внешнеторговых и адаптационных механизмов, но одновременно обостряет технологические, производственные, экологические и социально-экономические ограничения.

Практическая значимость методики заключается в возможности ее применения федеральными и региональными органами управления АПК, Минсельхозом России, Росстатом, органами стратегического планирования и аналитическими центрами для регулярного мониторинга продовольственной безопасности. Расчет индекса целесообразно проводить ежегодно на федеральном уровне и не реже одного раза в год в разрезе федеральных округов и субъектов Российской Федерации, а при резком изменении санкционных, ценовых, логистических или климатических условий – в режиме внеочередной оценки. Использование методики позволяет не только фиксировать общий уровень продовольственной безопасности, но и определять приоритеты государственной поддержки: технологическое самообеспечение АПК, повышение экономической доступности продовольствия, развитие межрегиональной логистики, корректировку структуры питания населения и снижение экологических рисков.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на адаптацию методики к региональному уровню, уточнение весовых коэффициентов с учетом специализации субъектов Российской Федерации, а также включение прогнозных сценариев, позволяющих оценивать последствия новых санкционных ограничений, климатических рисков, изменения доходов населения и трансформации внешнеторговых потоков для продовольственной безопасности страны.

Литература

1. Сёмин А. Н., Третьяков А. П. Мировые тенденции обеспечения продовольственной безопасности водными биоресурсами // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2023. № 4. С. 2–13. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-4-2-13.

2. Несмыслёнов А. П. Управление водными ресурсами как элемент механизма развития сельского хозяйства на основе инновационных технологий // Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 2. С. 32–40. doi: 10.32651/252-32.
3. Климентова Э. А., Дубовицкий А. А., Смыслова О. Ю. Рациональное использование земельных ресурсов как фактор повышения устойчивости сельского хозяйства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 1 (76). С. 143–155. doi: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_143.
4. Оценка продовольственной безопасности муниципальных образований Волгоградской области / О. В. Черкасова, А. С. Строков, Е. В. Цветнов и др. // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2020. № 8. С. 42–48. doi: 10.31442/0235-2494-2020-0-8-42-48
5. Гурнович Т. Г., Жигалова К. С. Оценка уровня продовольственной безопасности Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 81. С. 19–24. doi: 10.21515/1999-1703-81-19-24
6. Резниченко С. М., Тюпаков К. Э., Михайлов А. Э. Методические особенности оценки уровня продовольственной безопасности // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 88. С. 38–43. doi: 10.21515/1999-1703-88-38-43
7. Колесников А. В. Оценка научно-технологической политики в системе обеспечения продовольственной безопасности // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2024. № 12(118). С. 94–107. doi: 10.33938/2412-94
8. Белугин А. Ю., Белугина Т. А. Оценка национальной продовольственной безопасности при экспортной ориентации сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. 2021. № 3. С. 13–19. doi: 10.33305/213-13
9. Методический базис оценки продовольственной безопасности регионов / М. В. Владыка, И. В. Чистикова, Д. М. Бурдинская и др. // АПК: экономика, управление. 2023. № 8. С. 3–10. doi: 10.33305/238-3
10. Особенности оценки продовольственной безопасности муниципальных образований Пензенской области / О. В. Черкасова, А. С. Строков, Е. В. Цветнов и др. // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2021. № 12. С. 36–43. doi: 10.31442/0235-2494-2021-0-12-36-43
11. Прохоренко О. С., Черкасова О. В. Методические подходы к оценке рисков обеспечения продовольственной безопасности России // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 6(100). С. 97–104. doi: 10.33938/236-97
12. Герасимов А. Н., Трысячный В. И., Леликова Е. И. Проблемы обеспечения продовольственной безопасности региона // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 6(100). С. 71–78. doi: 10.33938/236-71
13. Колесников А. В., Серков А. Ф. Концепция государственного мониторинга продовольственной безопасности с использованием цифровых технологий // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 11. С. 2–11. doi: 10.32651/2411-2
14. Комаров П. И., Крамлик О. Ю., Киященко Л. Т. Продовольственная безопасность: кластерный подход к оценке эффективности сельского хозяйства регионов России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2026. № 2. С. 124–135. doi: 10.31442/0235-2494-2026-0-2-124-135.
15. Кусаинова А. Б. Развитие агропромышленных комплексов государств — членов Евразийского экономического союза как фактор повышения продовольственной безопасности и устойчивости национальных экономик // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2 (81). С. 136–148. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_136.
16. Оценка продовольственной безопасности России / И. Н. Сафиуллин, Б. Г. Зиганшин, Э. Ф. Амирова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2 (62). С. 124–132. doi: 10.12737/2073-0462-2021-124-132.
17. Wereta M. S., Ayele Z. A., Damtie Y. A. Analyzing the synergies and trade-offs of climate-smart agriculture practices on food security and resilience in Guba Lafto Woreda, Ethiopia // Climate Services. 2026. V. 43. Article 100676. doi: 10.1016/j.cliser.2026.100676 URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880726000440?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=a091d2c96e2fcc30 (дата обращения: 18.05.2025).
18. Global food security under a sustainability perspective: Assessment, challenges, and strategies / S. Li, Z. Zhang, J. Xu et al. // Geography and Sustainability. 2026. Article 100495. doi: 10.1016/j.geosus.2026.100495 URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666683926000908?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=a091d2392d7bcc30 (дата обращения: 18.05.2025).
19. Land use is associated with Indigenous maternal death occurrence through Native and Western food security / C. A. Ricci, A. E. Orloff, M. Wynne et al. // iScience. 2026. V. 29. Article 115948. doi: 10.1016/j.isci.2026.115948 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004226013234> (дата обращения: 18.05.2025).
20. Методологические рекомендации по системе показателей для оценки состояния продовольственной безопасности в странах СНГ / Статкомитет СНГ. — М., 2019. — 165 с. — Текст: непосредственный.
21. Официальный сайт Продовольственной сельскохозяйственной организации Объединенных Наций. Текст: электронный. — Продовольственная сельскохозяйственная организация Объединенных наций: сайт. — 2024. URL: <https://www.fao.org/home/ru>. — (дата обращения: 18.05.2025).
22. Региональная конференция ФАО для Азии и Тихого океана / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций. — Thailand: ROAP, 2024. — 18 с. — Текст: непосредственный.
23. Global Food Security Index 2022. Текст: электронный. — Economist.Impact: website. — 2022. URL: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/>. — (дата обращения: 18.06.2025).
24. Официальный сайт Федеральных статистических наблюдения по социально-демографическим проблемам. Текст: электронный. — Итоги выборочного наблюдения поведенческих факторов, влияющих на состояние здоровья населения в 2018 году: сайт. — 2018. URL: https://rosstat.gov.ru/itog_inspect. — (дата обращения: 24.04.2026).
25. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. Текст: электронный. — Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации: сайт. — 2024. — URL: <https://rosstat.gov.ru>. — (дата обращения: 24.04.2026).

26.Официальный сайт Единой межведомственной информационно-статистической системы. – ЕМИСС: сайт. – Электронный ресурс. URL: <https://www.fedstat.ru/>. (дата обращения: 24.04.2026).

27.Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. – Министерство сельского хозяйства: сайт. – Электронный ресурс. URL: <https://mcx.gov.ru/>. (дата обращения: 24.04.2026).

28.Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 августа 2016 года №614. – Текст: электронный // Официальный сайт ООО «НПП «Гарант-сервис». – 2020. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/>. (дата обращения: 16.01.2025).

29.Методические рекомендации «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»: утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 22 июля 2021 года № МР 2.3.1.0253-21. – Текст: электронный. // Официальный сайт ООО «НПП «Гарант-сервис». – 2021. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/>. (дата обращения: 18.05.2025).

References

1. Semin AN, Tretyakov AP. [Global trends in ensuring food security through aquatic biological resources]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2023; 4. 2-13 p. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-4-2-13.

2. Nesmyslenov AP. [Water resources management as an element of the mechanism for agricultural development based on innovative technologies]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2025; 2. 32-40 p. doi: 10.32651/252-32.

3. Klimentova EA, Dubovitskiy AA, Smyslova OYu. [Rational use of land resources as a factor in increasing agricultural sustainability]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.16. 1(76). 143-155 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_143.

4. Cherkasova OV, Stokov AS, Tsvetnov EV. [Assessment of food security of municipalities of Volgograd region]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2020; 8. 42-48 p. doi: 10.31442/0235-2494-2020-0-8-42-48.

5. Gurnovich TG, Zhigalova KS. [Assessment of food security level in Krasnodar Krai]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; 81. 19-24 p. doi: 10.21515/1999-1703-81-19-24.

6. Reznichenko SM, Tyupakov KE, Mikhaylov AE. [Methodological features of assessing the level of food security]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; 88. 38-43 p. doi: 10.21515/1999-1703-88-38-43.

7. Kolesnikov AV. [Assessment of science and technology policy in the food security system]. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2024; 12(118). 94-107 p. doi: 10.33938/2412-94.

8. Belugin AYU, Belugina TA. [Assessment of national food security under the export orientation of Russian agriculture]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2021; 3. 13-19 p. doi: 10.33305/213-13.

9. Vladyka MV, Chistnikova IV, Burdinskaya DM. [Methodological basis for assessing regional food security]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2023; 8. 3-10 p. doi: 10.33305/238-3.

10. Cherkasova OV, Stokov AS, Tsvetnov EV. [Features of assessing food security of municipalities of Penza region]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2021; 12. 36-43 p. doi: 10.31442/0235-2494-2021-0-12-36-43.

11. Prokhorenko OS, Cherkasova OV. [Methodological approaches to assessing risks of ensuring food security in Russia]. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2023; 6(100). 97-104 p. doi: 10.33938/236-97.

12. Gerasimov AN, Trysyachny VI, Lelikova EI. [Problems of ensuring regional food security]. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2023; 6(100). 71-78 p. doi: 10.33938/236-71.

13. Kolesnikov AV, Serkov AF. [Concept of state monitoring of food security using digital technologies]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2024; 11. 2-11 p. doi: 10.32651/2411-2.

14. Komarov PI, Kramlikh OYu, Kiyashchenko LT. [Food security: a cluster approach to assessing the efficiency of agriculture in Russian regions]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2026; 2. 124-135 p. doi: 10.31442/0235-2494-2026-0-2-124-135.

15. Kusainova AB. [Development of agro-industrial complexes of the member states of Eurasian Economic Union as a factor in increasing food security and sustainability of national economies]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.17. 2 (81). 136-148 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_136.

16. Safiullin IN, Ziganshin BG, Amirova EF. [Assessment of food security in Russia]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 2 (62). 124-132 p. doi:10.12737/2073-0462-2021-124-132.

17. Wereta MS, Ayele ZA, Dantie YA. Analyzing the synergies and trade-offs of climate-smart agriculture practices on food security and resilience in Guba Lafto Woreda, Ethiopia. [Internet]. *Climate Services*. 2026; Vol.43. Article 100676. doi: 10.1016/j.cliser.2026.100676. [cited 2025, May 18]. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880726000440?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=a091d2c96e2fcc30

18. Li S, Zhang Z, Xu J. Global food security under a sustainability perspective: Assessment, challenges, and strategies. [Internet]. *Geography and Sustainability*. 2026. Article 100495. doi: 10.1016/j.geosus.2026.100495. [cited 2025, May 18]. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666683926000908?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=a091d2392d7bcc30

19. Ricci CA, Orloff AE, Wynne M. Land use is associated with Indigenous maternal death occurrence through Native and Western food security. [Internet]. *iScience*. 2026; 29. Article 115948. doi: 10.1016/j.isci.2026.115948. [cited 2025, May 18]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004226013234>

20. Metodologicheskie rekomendatsii po sisteme pokazateley dlya otsenki sostoyaniya prodovolstvennoy bezopasnosti v stranakh SNG. [Methodological recommendations for a system of indicators for assessing the state of food security in the CIS countries]. *Statkomitet SNG. Moscow*. 2019; 165 p.

21. Official website of Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Internet]. *Food Agriculture Organization of the United Nations*. 2024; [cited 2025, May 18]. Available from: <https://www.fao.org/home/ru>.

22. Regionalnaya konferentsiya FAO dlya Azii i Tikhogo okeana. Prodovolstvennaya i selskokhozyaystvennaya organizatsiya Obedinennykh Natsiy. [FAO Regional Conference for Asia and the Pacific. [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations]. Thailand: ROAP. 2024; 18 p.

23. Global Food Security Index 2022. [Internet]. 2022; [cited 2025, June 18]. Available from: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/>.

24. Official website of Federal Statistical Observations on Socio-Demographic Issues. [Internet]. Results of the sample observation of behavioral factors affecting public health in 2018. [cited 2026, April 24]. Available from: https://rosstat.gov.ru/itog_inspect.

25. Official website of Federal State Statistics Service of the Russian Federation. [Internet]. Federal State Statistics Service of the Russian Federation. 2024; [cited 2026, April 24]. Available from: <https://rosstat.gov.ru>.

26. Official website of Unified Interdepartmental Information and Statistical System. [Internet]. EMISS. [cited 2026, April 24]. Available from: <https://www.fedstat.ru/>.

27. Official website of Ministry of Agriculture of the Russian Federation. [Internet]. Ministry of Agriculture. [cited 2026, April 24]. Available from: <https://mcx.gov.ru/>.

28. Recommendations on rational consumption standards of food products that meet modern healthy eating requirements: Order of Ministry of Health of the Russian Federation dated August 19, 2016, No. 614. [Internet]. Official website of NPP Garant-Service LLC. [cited 2025, January 16]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/>.

29. Methodological recommendations "Standards of physiological needs for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation": approved by Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing on July 22, 2021, No. MP 2.3.1.0253-21. [Internet]. Official website of NPP Garant-Service LLC. 2021; [cited 2025, May 18]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/>.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторе:

Кузнецов Сергей Викторович - кандидат экономических наук, научный сотрудник общественной научно-исследовательской лаборатории по изучению проблем развития финансовой культуры населения и противодействия нелегальной деятельности на финансовом рынке Рязанской области, Академия ФСИН России, (390000, Российская Федерация, г. Рязань, улица Сенная, д. 1), e-mail: KuziaSV@mail.ru, ORCID 0009-0005-7913-9068

Автор ознакомился и одобрил окончательный вариант рукописи.

Поступила 30.03.2026; одобрена после рецензирования 15.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Author:

Kuznetsov Sergey Viktorovich – Ph.D. of Economic Sciences, researcher of the public research laboratory for studying of population financial culture development problems and countering illegal activity in the financial market of Ryazan region, Academy of Federal Penitentiary Service of Russia, (1 Sennaya Street, Ryazan, 390000, Russian Federation), e-mail: KuziaSV@mail.ru, ORCID 0009-0005-7913-9068

The author have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 30.03.2026; revised 15.06.2026; accepted 25.06.2026.



АНАЛИЗ РЫНКА СЕМЯН ЯРОВОГО РАПСА В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2026 Нардина С. А., Красовская А. В., Нардин Д. С. ✉

*Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина
(г. Омск, Российская Федерация)
✉ ds.nardin@omgau.org*

Реферат. Рапс является одной из ведущих мировых культур, обеспечивающих производство растительных масел. В настоящее время уровень самообеспеченности по семенам ярового рапса в России значительно ниже требований продовольственной безопасности (не менее 75%). Омская область в этом отношении является исключением, в настоящее время доля семян зарубежной селекции на региональном рынке составляет не более 3%. При этом из 24 сортов и гибридов ярового рапса, представленных на рынке Омской области, 75% являются зарубежными. Зарубежный сегмент рынка представлен гибридами ярового рапса из Германии (90%), Франции (9%) и Испании (1%). За последние пять лет объем зарубежного сегмента сократился в 14 раз (с 36 до 5,2 тыс. тонн). Доля рынка зарубежных гибридов ярового рапса снизилась с 20% до 3%. Российский сегмент рынка семян ярового рапса в регионе включает всего шесть сортов, на три из которых приходится почти 90% продаж всех семян: 55 регион – 42%, Гранит – 24% и Юбилейный – 20%. Преобладающей моделью продвижения семян на рынке ярового рапса Омской области является заключение лицензионных договоров. По данной схеме работают российские оригинаторы. Зарубежные компании работают с гибридами и делают ставку на прямые продажи технологических пакетов, включающих семена, средства защиты растений и удобрения. Высокий научный потенциал Омской области в сфере создания новых сортов и гибридов ярового рапса и эффективность выбранной модели продвижения семян указывает на дальнейшее развитие рынка в сторону укрепления позиций российских оригинаторов.

Ключевые слова: яровой рапс, продвижение семян, структура рынка, объем продаж, эффективность.

Для цитирования: Нардина С. А., Красовская А. В., Нардин Д.С. Анализ рынка семян ярового рапса в Омской области // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 146-154. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-146-154

ANALYSIS OF SPRING RAPESEED MARKET IN OMSK REGION

© 2026 Nardina S. A., Krasovskaya A. V., Nardin D. S. ✉

*Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
(Omsk, Russian Federation)
✉ ds.nardin@omgau.org*

Abstract. Rapeseed is one of the world's leading crops for vegetable oil production. Currently, the level of self-sufficiency in spring rapeseed in Russia is significantly lower than food security requirements (at least 75%). Omsk region is an exception in this regard, the share of foreign-bred seeds in the regional market currently amounts to no more than 3%. Moreover, of the 24 spring rapeseed varieties and hybrids available in Omsk region, 75% are foreign-bred. Foreign market segment is represented by spring rapeseed hybrids from Germany (90%), France (9%) and Spain (1%). Over the past five years, the volume of foreign segment has decreased by 14 times (from 36.000 to 5.200 tons). The market share of foreign spring rapeseed hybrids has declined from 20% to 3%. Russian spring rapeseed seed market in the region includes only six varieties, three of which account for almost 90% of all seed sales: 55 region - (42%), Granit - (24%) and Yubileyny - (20%). Licensing agreements is the predominant seed promotion model in spring rapeseed market of Omsk region. Russian originators operate under this model. Foreign companies operate with hybrids and rely on direct sales of technology packages, including seeds, crop protection products and fertilizers. Omsk region's high scientific potential in developing new spring rapeseed varieties and hybrids, the effectiveness of chosen seed promotion model indicate further market development, with Russian originators strengthening their position.

Key words: spring rapeseed, seed promotion, market structure, sales volume, efficiency

For citation: Nardina SA, Krasovskaya AV, Nardin DS. [Analysis of spring rapeseed market in Omsk region]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 146-154 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-146-154

Введение. Рапс является третьей по значимости в мире культурой, обеспечивающей производство растительных масел [1] и одной из перспективных культур масложирового подкомплекса АПК России, обеспечивающей существенную долю экспорта как семян на

переработку, так и рапсового масла [2, 3]. Эффективность производства ярового рапса зависит от разных факторов, включая условия выращивания [4], а также устойчивость сортов и гибридов к болезням и вредителям [5, 6]. При этом ключевую роль в эффективности

производства играет качество посевного материала, используемого сельскохозяйственными товаропроизводителями [7, 8], поэтому выявление и анализ основных тенденций развития рынка семян ярового рапса позволяет прогнозировать эффективность развития отрасли в целом.

Семена современных сортов и гибридов ярового рапса – это системные решения, основанные на применении высокотехнологичных селекционно-генетических методов и ориентированные на решение конкретных задач сельскохозяйственных товаропроизводителей в соответствии с природно-климатическими и технологическими условиями производства [9, 10]. Рынок семян ярового рапса Омской области представлен российскими и зарубежными сортами и гибридами, которые внесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию [11]. На сегодняшний день в реестре представлено 84 зарубежных и 76 российских сортов и гибридов ярового рапса. Доктриной продовольственной безопасности России [12] установлено минимальное значение для доли российских сортов и гибридов в общем объеме посевного фонда по сельскохозяйственным культурам (75%), снижение которой рассматривается как угроза продовольственной безопасности. Анализ рынка семян ярового рапса в Омской области позволит сделать вывод о его соответствии требованиям Доктрины.

В соответствии с требованиями федерального государственного бюджетного учреждения «Россельхозцентр» (ФГБУ «Россельхозцентр»), все реализуемые на рынке семена сельскохозяйственных культур, предназначенные для дальнейшего посева, в обязательном порядке должны иметь сертификат соответствия. В данном сертификате указываются объем партии, наименование сорта или гибрида, страна-поставщик семян, производитель и покупатель партии. Информация обо всех сертификатах представлена в открытой базе данных на сайте ФГБУ «Россельхозцентр» [13]. Анализ указанных сертификатов по Омской области позволит не только определить объем рынка семян ярового рапса по годам, но и сделать выводы об активности российских и зарубежных компаний, поставляющих семена на рынок. Российские и зарубежные компании, представленные на рынке семян ярового рапса, реализуют две основных модели продвижения семян: продажи по

лицензионным договорам и прямые продажи технологических пакетов, представляющих собой комплекс из семян определенного сорта или гибрида, а также адресно подобранных средств защиты растений и удобрений [14, 15].

Целью настоящего исследования является выявление и анализ основных тенденций развития рынка семян ярового рапса Омской области в контексте соответствия требованиям продовольственной безопасности, и оценка их возможного влияния на экономическую эффективность производства ярового рапса в регионе.

Условия, материалы и методы. Информационной базой для проведения исследования выступили данные за 2020-2024 годы, представленные в открытых базах на информационных ресурсах Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений [11], Реестр лицензионных договоров [16]), Российского сельскохозяйственного центра (Реестр выданных сертификатов: Семена растений, деревьев и кустарников [13]) и статистические данные, представленные на сайте Федеральной службы государственной статистики (Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии) [17]).

Группировка и анализ данных, представленных в источниках информационной базы позволил проанализировать валовые сборы и урожайность ярового рапса в Омской области за 2020-2023 годы, изучить динамику изменения посевных площадей под культурой в регионе в период с 2020 по 2024 годы, проанализировать объем продаж семян на рынке российскими и зарубежными компаниями всего и по странам происхождения семян, определить долю районированных сортов и гибридов, представленных на рынке Омской области, проанализировать эффективность основных стратегий продвижения семян и гибридов ярового рапса на рынке Омской области. Все таблицы и рисунки, представленные в статье, сформированы авторами по результатам анализа данных из источников информационной базы исследования.

Результаты и обсуждения. По данным таблицы 1 за последние пять лет в Омской области посевная площадь под яровым рапсом выросла более чем в 2 раза и составила 164,1 тыс. га.

Таблица 1 – Площадь посева, урожайность и валовой сбор ярового рапса в Омской области в 2020-2024 годы*

Table 1 – Sown area, yield, and gross harvest of spring rapeseed in the Omsk Region in 2020–2024*

Показатель	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Темп прироста в 2024 г. по сравнению с 2020 г.
Площадь посева, тыс. га	77,5	79,7	108,6	104,5	164,1	111,75
Урожайность, ц/га	11,10	11,70	13,10	5,78	14,4	+29,7
Валовой сбор, тыс. ц.	836,3	1 047,8	1 189,8	604,3	2 363,0	+182,6

*составлено авторами по данным [17]

*compiled by the authors based on data from [17]

Рост посевных площадей обусловлен стремлением сельскохозяйственных товаропроизводителей региона диверсифицировать свои производственные риски и перейти к постепенному снижению в севообороте доли зерновых культур с относительно низкой маржинальностью. Яровой рапс в этом отношении является одной из альтернатив, так как рентабельность его производства в Омской области в 2-3 раза (в зависимости от рыночной конъюнктуры) выше, чем рентабельность производства пшеницы. В то же время возделывание ярового рапса является более сложным технологическим процессом по сравнению с зерновыми культурами, а также требует существенного обновления материально-технической базы как в отношении сельскохозяйственных машин и оборудования, так и в отношении складских мощностей. Кроме того, используемые в настоящее время сорта и гибриды ярового рапса чрезвычайно отзывчивы на нарушение агротехнологии производства в части сроков посева и обработки полей от вредителей, что требует от сельскохозяйственных товаропроизводителей перестройки внутренних технологических процессов и повышения культуры земледелия.

В период с 2020 по 2024 годы наблюдается неустойчивая динамика по урожайности и валовому сбору ярового рапса: с 2020 по 2022 годы средняя урожайность по региону увеличилась на 18%, валовой сбор – на 42,3%. В 2023 году наблюдается резкое сокращение урожайности и падение валового сбора, что было обусловлено рядом факторов, среди которых можно отметить следующие:

1) резкое увеличение посевных площадей в 2022-2023 годы ожидаемо отстало от темпов обновления материально-технической базы

сельскохозяйственных предприятий, что неизбежно отразилось на среднем уровне агротехнологий и, как следствие, оказало влияние на технологическую эффективность отрасли в 2023 году;

2) ключевым фактором, повлиявшим на обвальное снижение урожайности ярового рапса в 2023 году по сравнению с 2022 годом (на 56%) стали неблагоприятные погодные условия, которые привели к существенным потерям урожая. Несмотря на это, высокая маржинальность культуры позволила сельскохозяйственным товаропроизводителям на фоне существенного падения урожайности и по зерновым культурам, показать относительно высокую экономическую эффективность, что отразилось в существенном приросте посевных площадей в 2024 году (+57% к уровню 2023 года).

В 2024 году в регионе наблюдается рекордная за анализируемый период урожайность 14,4 ц/га и, соответственно, валовой сбор, который почти в 3 раза превысил значение 2020 года.

Анализ данных табл. 2 показал, что за исследуемый период на рынке семян ярового рапса в Омской области было представлено два зарубежных сорта и 16 гибридов (Германия, Франция, Испания) и шесть российских сортов. Страны происхождения сортов и гибридов в таблице указаны по данным из сертификатов Россельхозцентра [13]. В том случае, если по одному и тому же сорту или гибриду в разных сертификатах указаны разные страны происхождения семян, в таблице в качестве страны происхождения указана страна размещения штаб-квартиры оригинатора в соответствии с данными из Государственного реестра селекционных достижений [11].

Таблица 2 - Сорта и гибриды ярового рапса, представленные на рынке семян в Омской области в 2020-2024 годы*

Table 2 — Varieties and hybrids of spring rapeseed available on the seed market in the Omsk Region in 2020–2024*

Сорт / гибрид	Тип	Регионы допуска	Страна происхождения
1	2	3	4
Абилити	сорт	2, 5, 7, 10	Германия
Калибр	гибрид	2, 3, 4, 5	Германия
Контра КЛ	гибрид	3, 5	Германия
Культус КЛ	гибрид	2, 3, 5, 10, 11	Германия
Ланция	гибрид	5, 10	Германия
Лексус	гибрид	3, 5, 7, 9, 10, 11	Германия
Миракль	гибрид	2, 3, 5, 10, 11	Германия
Мобиль КЛ	гибрид	5	Германия
ПР 46 X 75	гибрид	3, 5, 7, 9, 10	Германия
ПС 306	гибрид	10	Германия
Смилла	гибрид	2, 10, 11	Германия
Солар КЛ	гибрид	2, 3, 5, 7, 11	Германия
Цebra КЛ	гибрид	3, 5, 11	Германия
НИКСХ 213 КЛС	гибрид	5, 6, 7	Испания
Билдер	гибрид	3, 5, 10	Франция
Брандер	гибрид	3, 5, 10	Франция
Герос	сорт	2, 3, 5, 7, 10	Франция

Продолжение таблицы 2 / Table 2 (continued)

1	2	3	4
Сандер	гибрид	10	Франция
55 регион	сорт	4, 7, 9, 10, 11	Россия
Гранит	сорт	4, 9, 10, 11	Россия
Сибиряк 60	сорт	4, 7, 9, 10, 11	Россия
Юбилейный	сорт	4, 7, 9, 10, 11	Россия
Яркий	сорт	9, 10, 11	Россия
Флагман	сорт	4, 6, 9, 10, 11	Россия

*составлено авторами по данным [11, 13, 16]

*compiled by the authors based on data from [11, 13, 16]

Из 16 зарубежных гибридов, представленных в табл. 2, пять не являются районированными и не предназначены для возделывания в природно-климатических условиях Омской области: НИКСХ 213 КЛС (Испания), Контра КЛ, Мобиль К, Цебра КЛ и Калибр (Германия). Присутствие данных гибридов на рынке региона обусловлено тем, что сельскохозяйственные товаропроизводители Омской области активно ищут варианты повышения экономической эффективности производства ярового рапса и экспериментируют с разными зарубежными гибридами, в производственных условиях оценивая результаты. При этом все риски, связанные с возделыванием на территории региона нерайонированных сортов они берут на себя. Необходимо отметить, что зарубежные сорта и гибриды продвигаются на рынке в виде технологических пакетов, включающих семена, средства защиты растений,

удобрения и агротехнологии, которые разворачиваются на базе сельскохозяйственных товаропроизводителей при поддержке консультантов из фирм, осуществляющих продвижение технологических пакетов. Такой подход в случае наличия у предприятий необходимых ресурсов для закупки и реализации пакета на своей базе нивелирует технологические риски и снижает возможные негативные эффекты, связанные с возделыванием сортов и гибридов, не предназначенных для соответствующего региона допуска.

По данным рис. 1, наибольшая доля продаж семян в зарубежном сегменте рынка за указанный период пришлось на сорта и гибриды из Германии (90%), на втором месте продажи семян из Франции (9%) и всего один процент продаж приходится на гибриды из Испании.



Рис.1 – Структура продаж в зарубежном сегменте рынка семян ярового рапса в Омской области в 2020–2024 годы, % (составлено авторами по данным [11, 13, 16])
Fig. 1 — Structure of sales in the foreign segment of the spring rapeseed seed market in the Omsk Region in 2020–2024, % (compiled by the authors based on data from [11, 13, 16])

Несмотря на напряженную внешнеполитическую обстановку, рынок семян сельскохозяйственных культур, в том числе рынок семян ярового рапса демонстрирует высокий уровень инертности в части изменения структуры продаж в пользу отечественного семенного материала. В первую очередь это связано с тем, что российские оригинаторы сортов и гибридов пока не могут в полной мере заменить все зарубежные поставки семян, что вынуждает сельскохозяйственных товаропроизводителей использовать старые каналы поставок. Особую озабоченность вызывает факт поставки всех семян зарубежных сортов и

гибридов ярового рапса в регион из недружественных стран, что, безусловно, увеличивает производственные риски в случае резкого прекращения зарубежных поставок и ставит под угрозу стабильное функционирование отрасли. При этом по данным табл. 3 для Омской области данные риски стремятся к нулю ввиду крайне низкой доли зарубежных семян ярового рапса на региональном рынке.

По данным рис. 2 на продажи сорта 55 РЕ-ГИОН за исследуемый период приходится 42% продаж рынка, близкими по доле рынка являются сорта ГРАНИТ (24%) и ЮБИЛЕЙНЫЙ (20%).

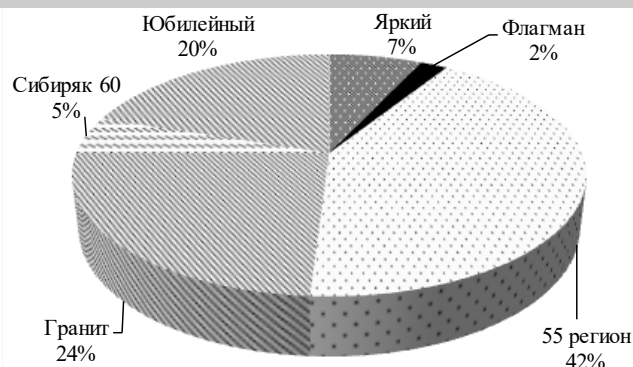


Рис. 2 – Структура продаж в российском сегменте рынка семян ярового рапса в Омской области по сортам в 2020-2024 гг. (составлено авторами по данным [11, 13, 16])
 Fig. 2 — Structure of sales in the Russian segment of the spring rapeseed seed market in the Omsk Region by variety in 2020–2024 (compiled by the authors based on data from [11, 13, 16])

На оставшиеся два сорта приходится 9% рынка. Представленные данные свидетельствуют о высокой концентрации рынка семян ярового рапса в регионе – 86% продаж семян приходится на три основных сорта, при этом половина – это семена сорта, созданного селекционерами Омской области.

По данным табл. 3 за исследуемый период общий объем продаж семян ярового рапса на рынке Омской области составил 3,3 тыс. тонн, из которых 97% пришлось на российские

сорта, 3% на сорта и гибриды зарубежной селекции. Общий объем продаж на рынке рынка в 2024 году по сравнению с 2020 года вырос в 5,6 раза. Динамика роста объема продаж обеспечивалась в основном за счет увеличения уровня предпринимательской активности российских компаний. Значительный рост продаж семян коррелирует с увеличением посевных площадей под яровым рапсом, при этом в 2023 году наблюдается существенный спад (на 30%) по отношению к 2022 году.

Таблица 3 - Объем продаж сортов и гибридов ярового рапса на рынке семян в Омской области в 2020-2024 годы, тонн*

Table 3 — Sales volume of spring rapeseed varieties and hybrids on the seed market in the Omsk Region in 2020–2024, tons*

Сорт / гибрид	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Итого
Абилити	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Калибр	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
Контра КЛ	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
Культус КЛ	1,25	0,00	0,00	0,00	0,27	1,52
Ланция	0,24	0,00	0,00	0,00	0,21	0,45
Лексус	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
Миракль	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
Мобиль КЛ	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21
ПР 46 X 75	15,85	0,07	23,07	9,69	0,00	48,68
ПС 306	8,49	0,00	11,09	17,63	0,00	37,21
Смилла	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80
Солар КЛ	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Цебра КЛ	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
НИКСХ 213 КЛС	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38
Билдер	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,60
Брандер	0,00	0,00	0,00	0,00	1,93	1,93
Герос	6,60	0,18	0,00	0,00	0,10	6,88
Сандер	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
55 регион	10,00	222,00	421,00	330,00	400,00	1 383,00
Гранит	2,00	142,00	341,00	130,00	160,00	775,00
Сибиряк 60	0,00	0,00	0,00	30,00	130,00	160,00
Юбилейный	92,00	180,00	142,00	130,00	100,00	644,00
Яркий	0,00	0,00	0,00	15,00	210,00	225,00
Флагман	40,00	20,00	0,00	0,00	0,00	60,00
Итого зарубежные сорта и гибриды	36,52	0,25	35,54	27,92	2,51	102,74
Итого российские сорта	144,00	564,00	904,00	635,00	1 000,00	3 247,00
Всего региональный рынок	180,52	564,25	939,54	662,92	1 002,51	3 349,74

*составлено авторами по данным [11, 13, 16]

*compiled by the authors based on data from [11, 13, 16]

Особенностью рынка семян ярового рапса Омской области является очень незначительная доля рынка зарубежных компаний, что в целом свидетельствует об эффективности модели продвижения сортов на рынке российскими компаниями за счет заключения лицензионных договоров и сбора роялти [18, 19, 20]. Зарубежные компании, в отличие от российских, в основном работают не с сортами, а с гибридами и делают ставку на прямые продажи технологических пакетов, включающих семена, средства защиты растений и удобрения [15]. Такой комплексный подход позволяет получать высокую экономическую эффективность производства при строгом соблюдении технологии [21, 22]. Но здесь имеются и существенные недостатки, так как гибриды, особенно не районированные, очень чувствительны к воздействию природно-климатических условий производства и нарушениям агротехнологий возделывания [23]. Учитывая сложности, с которыми сталкиваются на российском рынке зарубежные компании из недружественных стран, в ближайшие годы зарубежные сорта и гибриды ярового рапса не смогут занять существенную долю на рынке Омской области. Кроме того, в Омской области имеется серьезный научный потенциал для создания сортов ярового рапса местной селекции, 42% рынка семян занимает сорт, созданный омскими селекционерами, что также оказывает существенное влияние на низкий уровень проникновения на региональный рынок зарубежных сортов и гибридов.

Совокупность указанных факторов, на наш взгляд, и сформировало представленную на рынке Омской области ситуацию с преобладанием российских сортов и незначительным присутствием зарубежных сортов и гибридов.

Выводы. Проведенные исследования и анализ данных, представленных в информационных источниках, позволил сделать следующие выводы:

1) за период с 2020 по 2024 годы в Омской области наблюдается устойчивый рост посевных площадей под яровым рапсом, который сопровождается ростом рынка семян;

2) на рынке семян ярового рапса Омской области за последние пять лет продвигаются 24 российских и зарубежных сорта и гибрида, в том числе два зарубежных сорта (Германия и Франция), 16 зарубежных гибридов (Германия, Франция и Испания) и шесть российских сортов; пять зарубежных гибридов, представленных на рынке, не рекомендованы для возделывания в условиях Омской области (не являются районированными);

3) зарубежный сегмент рынка семян Омской области в 2020-2024 годы на 90% представлен сортами и гибридами из Германии, 9% рынка приходится на Францию, 1% на Испанию. В целом все зарубежные сорта и гибриды на рынке представлены оригинаторами

из недружественных стран, что создает определенные технологические риски для региональных сельскохозяйственных товаропроизводителей;

4) российский сегмент рынка семян ярового рапса Омской области в 2020-2024 годы представлен шестью сортами, на долю одного из которых приходится 42% всего объема продаж, следующие два сорта занимают по 24% и 20% доли сегмента соответственно, на оставшиеся три сорта приходится 14% продаж на рынке, все сорта являются районированными;

5) общий объем продаж семян ярового рапса на рынке Омской области составил 3,3 тыс. тонн, из которых 97% пришлось на российские сорта, 3% на сорта и гибриды зарубежной селекции.

Рынок семян ярового рапса в Омской области в полной мере соответствует требованиям Доктрины продовольственной безопасности России в части обеспечения сельскохозяйственных товаропроизводителей семенами отечественной селекции. Зарубежные сорта на рынке представлены незначительно и в основном используются некоторыми региональными производителями для диверсификации своей деятельности и изучения продуктивности в производственных условиях региона.

Преобладающей моделью продвижения семян на рынке ярового рапса Омской области является заключение лицензионных договоров. Наиболее успешный российский сорт ярового рапса на региональном рынке по уровню продаж семян за исследуемый период – это 55 регион. Он занимает 42% российского сегмента рынка. Два сорта Гранит и Юбилейный занимают, соответственно второе и третье места по объемам продаж семян на рынке региона, их совокупная доля продаж в целом соответствует 44%. Таким образом, на три ведущих сорта ярового рапса приходится в целом около 90% российского сегмента рынка, что свидетельствует о высоком уровне рыночной концентрации. Сорта Яркий, Флагман и Сибиряк 60 являются для рынка относительно новыми, их только начинают продвигать.

Дальнейшее исследование рынка семян ярового рапса Омской области позволит провести системный анализ рыночных и технологических факторов, способствующих успешному продвижению российских сортов и гибридов по сравнению с семенами зарубежной селекции. По результатам такого анализа будут предложены мероприятия, направленные на разработку эффективных стратегий позиционирования российских компаний, создающих и предлагающих свои сорта сельскохозяйственным товаропроизводителям региона

Сведения о финансировании. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-20368, <https://rscf.ru/project/24-28-20368/>

Литература

1. Профиль микотоксинов, типичный для оригинальных (репродукционных) семян рапса масличного / Г.П. Кононенко, В.Т. Воловик, А.А. Буркин, С.Е. Сергеева // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. №5. С.1001-1009. doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.1001rus.
2. Чепелева К.В. Сценарии развития масложирового подкомплекса АПК Сибирского федерального округа // Продовольственная политика и безопасность. 2024. Т. 11. № 3. С. 645-662. doi: 10.18334/rpib.11.3.121570.
3. Шелковников С.А., Чепелева К.В. Развитие масложировой отрасли на основе создания специализированного экспортно-ориентированного кластера в АПК Сибири // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2024. № 10. С. 50-58. doi: 10.31442/0235-2494-2024-0-10-50-58.
4. Gulidova V.A., Kravchenko V.A., Zakharov V.L. Optimization of the soil agrophysical properties for spring rape on leached black soil // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9. № 29. Р. 63-68. doi: 10.34069/AI/2020.29.05.8 10.
5. Influence of insecticides on productivity in rape crops in Akmola region / M.N. Sertek, Sh.Sh. Bekenova, A.P. Nauanova, Z.Sh. Suleimenova // Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. № 4 (107). Р. 30-38. doi: 10.51452/kazatu.2020.4(107).128.
6. Gomzhina M.M., Gasich E.L. Plenodomus species infecting oilseed rape in Russia // Plant Protection News. 2022. Т. 105. № 3. Р. 135-147. doi: 10.31993/2308-6459-2022-105-3-15425.
7. Кузнецова Г.Н., Лошкомойников И.А., Кривошлыков К.М. Экономическая эффективность возделывания масличных культур в Омской области // Масличные культуры. 2021. № 3 (187). С. 53-57. doi: 10.25230/2412-608X-2021-3-187-53-57.
8. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Экономическая эффективность возделывания современных сортов рапса // Московский экономический журнал. 2024. Т. 9. № 4. С. 60-74. doi: 10.55186/2413046X_2024_9_4_189.
9. Изучение генетического полиморфизма российских сортов рапса и сурепицы с использованием SSR-и SRAP-маркеров / И. А. Клименко, В. Т. Воловик, А. А. Антонов и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26. № 4. С. 349-358. doi: 10.18699/VJGB-22-42.
10. Увеличение доли трансгенных растений в потомстве трансформантов рапса brassica napus L / Г.Н. Ралдутина, Т.Ж. Хоанг, Х.Б. Нгок, И.В. Карпычев // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 2. С. 147-156. doi: 10.18699/VJ21.018.
11. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. [Электронный ресурс] // Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений. М., 1924-2024 URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektzionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/>. (Дата обращения 13.12.2024).
12. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М., 2017-2024 URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf> (дата обращения 13.12.2024).
13. Реестр выданных сертификатов: Семена растений, деревьев и кустарников. [Электронный ресурс] // ФГБУ «Россельхозцентр». М., 2007-2024 URL: <https://certificate.rosselkhoscenter.com/public/> (дата обращения 13.12.2024).
14. Гончаров С.В., Горлова Л.А. Изменение сортимента рапса в России в результате конкуренции на рынке семян // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. № 1 (173). С. 36-41. doi: 10.25230/2412-608X-2018-1-173-36-41.
15. Каменецкая О.В. Импортзамещение в семеноводстве как фактор обеспечения продовольственной безопасности союзного государства // Russian Journal of Management. 2024. Т. 12. № 3. С. 250-265. doi: 10.29039/2409-6024-2024-12-3-250-265.
16. Реестр лицензионных договоров. [Электронный ресурс] // Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений. М., 1924-2024 URL: <https://gossortrf.ru/registry/reestr-litsenzionnykh-dogovorov/> (дата обращения 13.12.2024).
17. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. М., 1999-2024 URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения 13.12.2024).
18. Роялти как один из источников финансирования селекции / А. Н. Березкин, А. М. Малько, М. Н. Исламов и др. // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 8. № 2. С. 223-230. doi: 10.18699/LettersVJ-2022-8-11.
19. Роялти в системе семеноводства. Состояние и перспективы / Ф. И. Клименков, С. М. Градсков, В. В. Ворончихин и др. // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. № 11. doi: 10.55186/2413046X_2022_7_11_679.
20. Моисеев А.В. Механизм устойчивого развития системы селекции и семеноводства в регионе // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 101. С. 36-41. doi: 10.21515/1999-1703-101-36-41.
21. Черкасова Е.А., Рзаева В.В. Влияние элементов технологии возделывания на засоренность посевов ярового рапса в условиях Северного Казахстана // Вестник КрасГАУ. 2022. № 3 (180). С. 38-43. doi: 10.36718/1819-4036-2022-3-38-43.
22. Зубкова Т.В. Продуктивность ярового рапса при использовании многокомпонентных удобрений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 1. С. 7-19. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-7-19.
23. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Сравнительная оценка сортов и гибридов рапса ярового в условиях Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 1. С. 55-60. doi: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-55-60.

References

1. Kononenko GP, Volovik VT, Burkin AA, Sergeeva SE. [Mycotoxin profile typical for original (reproductive) oilseed rape seeds]. Selskokhozyaystvennaya biologiya. 2022; Vol.57. 5. 1001-1009 p. doi: 10.15389/

agrobiology.2022.5.1001rus.

2. Chepeleva KV. [Scenarios for oil and fat subcomplex development in agro-industrial complex of Siberian federal district]. *Prodovolstvennaya politika i bezopasnost*. 2024; Vol.11. 3. 645-662 p. doi: 10.18334/ppib.11.3.121570.

3. Shelkovnikov SA, Chepeleva KV. [Development of oil and fat industry based on the creation of a specialized export-oriented cluster in Siberian agro-industrial complex]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2024; 10. 50-58 p. doi: 10.31442/0235-2494-2024-0-10-50-58.

4. Gulidova VA, Kravchenko VA, Zakharov VL. Optimization of the soil agrophysical properties for spring rape on leached black soil. *Amazonia Investiga*. 2020; Vol.9. 29. 63-68 p. doi: 10.34069/AI/2020.29.05.8 10.

5. Sertek MN, Bekenova ShSh, Nauanova AP, Suleymenova ZSh. Influence of insecticides on productivity in rape crops in Akmola region. *Herald of Science of S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2020; 4 (107). 30-38 p. doi: 10.51452/kazatu.2020.4(107).128.

6. Gomzhina MM, Gasich EL. Plenodomus species infecting oilseed rape in Russia. *Plant Protection News*. 2022; Vol.105. 3. 135-147 p. doi: 10.31993/2308-6459-2022-105-3-15425.

7. Kuznetsova GN, Loshkomoynikov IA, Krivosheynikov KM. [Economic efficiency of oilseed crops cultivation in Omsk region]. *Maslichnye kultury*. 2021; 3 (187). 53-57 p. doi: 10.25230/2412-608X-2021-3-187-53-57.

8. Kuznetsova GN, Polyakova RS. [Economic efficiency of cultivating modern rapeseed varieties]. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal*. 2024; Vol.9. 4. 60-74 p. doi: 10.55186/2413046X_2024_9_4_189.

9. Klimenko IA, Volovik VT, Antonov AA. [Study of genetic polymorphism of Russian rapeseed and summer rape using SSR and SRAP markers]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2022; Vol.26. 4. 349-358 p. doi: 10.18699/VJGB-22-42.

10. Raldugina GN, Khoang TZh, Ngok KhB, Karpychev IV. [Increasing the proportion of transgenic plants in the progeny of rapeseed transformants brassica napus L]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2021; Vol.25. 2. 147-156 p. doi: 10.18699/VJ21.018.

11. State register of breeding achievements approved for use. Volume 1. Plant Varieties. [Internet]. State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements. Moscow. 1924-2024; [cited 2024, December 13]. Available from: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-l-sorta-rasteni/>.

12. Doctrine of Food Security of the Russian Federation. [Internet]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Moscow. 2017-2024; [cited 2024, December 13]. Available from: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf>.

13. Register of issued certificates: seeds of plants, trees and shrubs. [Internet]. FGBU Rosselkhoztsentr. Moscow. 2007-2024; [cited 2024, December 13]. Available from: <https://certificate.rosselkhoztsentr.com/public/>.

14. Goncharov SV, Gorlova LA. [Changes in the rapeseed assortment of Russia as a result of competition in the seed market]. *Maslichnye kultury. Nauchno-tekhnicheskij byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kultur*. 2018; 1 (173). 36-41 p. doi: 10.25230/2412-608X-2018-1-173-36-41.

15. Kamenetskaya OV. [Import substitution in seed production as a factor in ensuring food security of the union state]. *Russian Journal of Management*. 2024; Vol.12. 3. 250-265 p. doi: 10.29039/2409-6024-2024-12-3-250-265.

16. Register of license agreements. [Internet]. State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Selection Achievements. Moscow. 1924-2024; [cited 2024, December 13]. Available from: <https://gossortrf.ru/registry/reestr-litsenzyonnykh-dogovorov/>.

17. Bulletins on the state of agriculture. [Internet]. Federal State Statistics Service. Moscow. 1999-2024; [cited 2024, December 13]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>.

18. Berezkin AN, Malko AM, Islamov MN. [Royalty as one of the sources of financing breeding]. *Pisma v Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2022; Vol.8. 2. 223-230 p. doi: 10.18699/LettersVJ-2022-8-11.

19. Klimenkov FI, Gradskov SM, Voronchikhin VV. [Royalty in the seed production system. Status and prospects]. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal*. 2022; Vol.7. 11. doi: 10.55186/2413046X_2022_7_11_679.

20. Moiseev AV. [Mechanism for sustainable development of selection and seed production system in the region]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 101. 36-41 p. doi: 10.21515/1999-1703-101-36-41.

21. Cherkasova EA, Rzaeva VV. [Influence of cultivation technology elements on weed infestation of spring rape crops in Northern Kazakhstan]. *Vestnik KrasGAU*. 2022; 3(180). 38-43p. doi:10.36718/1819-4036-2022-3-38-43.

22. Zubkova TV. [Productivity of spring rape with the use of multicomponent fertilizers]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*. 2022; Vol.17. 1. 7-19 p. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-1-7-19.

23. Kuznetsova GN, Polyakova RS. [Comparative evaluation of spring rapeseed varieties and hybrids in Western Siberia]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2024; Vol.16. 1. 55-60 p. doi: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-55-60.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Нардина Светлана Александровна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина (644008, Российская Федерация, г. Омск, Институтская площадь, д. 1), e-mail: sa.nardina@omgau.org, ORCID 0000-0001-9200-6490

Красовская Алена Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина (644008, Российская Федерация, г. Омск, Институтская площадь, д. 1), e-mail: av.krasovskaya@omgau.org, ORCID 0000-0002-2938-9051

Нардин Дмитрий Сергеевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина (644008, Российская Федерация, г. Омск, Институтская площадь, д. 1), e-mail: ds.nardin@omgau.org, ORCID 0000-0002-5582-2074

Вклад авторов:

С.А. Нардина – концептуализация, методология, формальный анализ, проведение исследования, написание черновика, редактирование и рецензирование, научное руководство, получение финансирования;
А.В. Красовская – концептуализация, формальный анализ, проведение исследования, написание черновика;
Д.С. Нардин – концептуализация, методология, формальный анализ, проведение исследования, написание черновика, редактирование и рецензирование, визуализация.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 10.11.2025; одобрена после рецензирования 17.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Nardina Svetlana Aleksandrovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Economics, Accounting and Financial Control Department Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (1 Institutskaya Square, Omsk, 644008, Russian Federation), e-mail: sa.nardina@omgau.org, ORCID 0000-0001-9200-6490

Krasovskaya Alena Viktorovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Horticulture, Forestry and Plant Protection Department Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (1 Institutskaya Square, Omsk, 644008, Russian Federation), e-mail: av.krasovskaya@omgau.org, ORCID 0000-0002-2938-9051

Nardin Dmitriy Sergeevich – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Economics, Accounting and Financial Control Department Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (1 Institutskaya Square, Omsk, 644008, Russian Federation), e-mail: ds.nardin@omgau.org, ORCID 0000-0002-5582-2074

Contribution of the authors:

S.A. Nardina – Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, writing (original draft), Writing (review & editing), Supervision, Funding acquisition;

A.V. Krasovskaya – Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Writing (original draft);

D.S. Nardin – Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing (original draft), Writing (review & editing), Visualization.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 10.11.2025; revised 17.06.2026; accepted 25.06.2026.



**ОТРАСЛЕВЫЕ ПРАКТИКИ СОЦИАЛЬНО-ЭТИЧЕСКОГО МАРКЕТИНГА В
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА:
ПРИОРИТЕТЫ И ВОЗМОЖНОСТИ**

© 2026 Осадчая С. М. ✉

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет
(г. Белгород, Российская Федерация)
✉ osad_star@inbox.ru*

Реферат. Социально ориентированная экономика как стратегическая цель развития РФ актуализирует вопросы использования в практике управления хозяйствующими субъектами концепции социально-этического маркетинга, интегрирующего в себе эффективную коммерческую деятельность и социально ответственное поведение. Сельское хозяйство, выступая гарантом продовольственной безопасности страны, являясь катализатором развития сельских территорий по определению, является социально ориентированной отраслью. А инструменты социально-этического маркетинга, на наш взгляд, только усилят значимость реализуемой социальной миссии. Сельское хозяйство является ведущей системообразующей отраслью Белгородской области. Регион входит в топ-5 субъектов РФ по объемам валовой продукции сельского хозяйства, производя 4,0% по РФ и 15,0% по ЦФО., занимая сегодня 3-е место. Поскольку вопросы социально ответственного поведения, по мнению оппонентов, могут вызывать отрицание со стороны бизнес-сообщества, мы считаем актуальным провести исследование возможности и готовности реализации концепции социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях региона. Результаты анализа двухфакторного взаимодействия оценки текущего состояния социальной деятельности и вовлеченности в ее процессы и четырехфакторного взаимодействия между текущей и оценкой перспектив таковой подтверждают и доказывают готовность использования в практике управления предприятиями агропромышленного комплекса региона концепции социально-этического маркетинга. Так, 44,5% руководителей, 30,5% акционеров и 34,5% работников сельскохозяйственных предприятий признают важность и стратегическую значимость социально ответственного поведения. При этом, менеджеры (20%), акционеры (19,8%) и работники (20%) указывают на то, что активно вовлечены в реализацию социальных программ и готовы к данным инициативам в перспективе (21,7%, 21,3% и 20%, соответственно). 22,5% обслуживаемого населения указали на необходимость усиления социальной позиции бизнес-сообщества, не отрицая, при этом, реализации таковой (19,6%). При этом, социально-этический маркетинг, по мнению респондентов, является стратегическим конкурентным преимуществом «высокого порядка» и положительным образом влияет на формирование имиджа и деловой репутации предприятий.

Ключевые слова: отрасль сельского хозяйства, предприятия агропромышленного комплекса, маркетинг, социально-этический маркетинг, социальная ответственность.

Для цитирования: Осадчая С.М. Отраслевые практики социально-этического маркетинга в деятельности предприятий агропромышленного комплекса: приоритеты и возможности // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 155-164. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-155-164

**INDUSTRY PRACTICES OF SOCIAL AND ETHICAL MARKETING IN ACTIVITIES OF
AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES: PRIORITIES AND OPPORTUNITIES**

© 2026 Osadchaya S. M. ✉

*Belgorod State National Research University
(Belgorod, Russian Federation)
✉ osad_star@inbox.ru*

Abstract. A socially oriented economy as a strategic aim for the development of Russian Federation highlights the need to utilize the concept of social and ethical marketing in business management practices, integrating effective commercial activity and socially responsible behavior. Agriculture, as a guarantor of the country's food security and a catalyst for rural development, is inherently a socially oriented industry. We believe that social and ethical marketing tools will only enhance the significance of social mission being pursued. Agriculture is a leading systemically important industry in Belgorod region. The region is among the top five constituent entities of the Russian Federation in terms of gross agricultural output, accounting for 4.0% of the national total and 15.0% of Central Federal District, currently ranking third. Since issues of socially responsible behavior, according to opponents, may be rejected by the business community, we believe it is relevant to conduct a study of the feasibility and readiness to implement the concept of social and ethical marketing in agricultural organizations in the region. The results of the analysis of two-factor interaction between the assessment of current state of social activity

and involvement in its processes and the four-factor interaction between the current and assessment of its prospects confirm and prove the readiness to use the concept of social and ethical marketing in the management practices of enterprises in the regional agro-industrial complex. Thus, 44.5% of managers, 30.5% of shareholders and 34.5% of employees of agricultural enterprises recognize the importance and strategic significance of socially responsible behavior. Moreover, managers (20%), shareholders (19.8%) and employees (20%) indicate that they are actively involved in the implementation of social programs and are ready for these initiatives in the future (21.7%, 21.3% and 20%, respectively). 22.5% of the served population indicated the necessity to strengthen the business community's social position, while 19.6% did not deny the current implementation of this goal. Furthermore, according to respondents, social and ethical marketing is a strategic competitive advantage of the highest order and has a positive impact on the image and business reputation of enterprises.

Key words: agriculture, agro-industrial enterprises, marketing, social and ethical marketing, social responsibility.

For citation: Osadchaya SM. [Industry practices of social and ethical marketing in activities of agro-industrial complex enterprises: priorities and opportunities]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol. 21. 2(82). 155-164 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-155-164

Введение. Концепция социально-этического маркетинга, столь актуальная для данного этапа развития экономики РФ исходит из того, что организация должна не только эффективно осуществлять свою деятельность, но также поддерживать и улучшать благосостояние, как отдельных потребителей, так и общества в целом [1]. Данная концепция предполагает обязательную увязку таких факторов, как: прибыль организации, экономическая эффективность и учет общественных и потребительских интересов [2], что позволит не только обеспечить вклад бизнес-сообщества в решение социальных проблем [3], но и станет источником пролонгированных во времени конкурентных преимуществ за счет формирования и укрепления положительного имиджа в глазах потребителей, партнеров, общественных организаций [4] и других заинтересованных лиц; обеспечить высокий уровень доверия, лояльности со стороны работников, покупателей и общества в целом; обеспечит рост инвестиционной привлекательности организации [5].

При этом, существует и противоположный взгляд на социальную ответственность бизнеса. Оппонентами данной концепции принято считать Милтона Фридмана, Т. Левита, Ф. Хайека, указывающих на то, что расходы на социальную ответственность противоречат принципу максимизации прибыли, - ведущему принципу, свойственному коммерческой организации [6].

Потому в качестве цели исследования выступает оценка готовности и возможности использования в практике управления сельскохозяйственными предприятиями Белгородской области концепции социально-этического маркетинга и ее соответствующих инструментов. Постановка цели исследования обусловила выделение следующих задач: оценка приоритетности реализации социальной деятельности сельскохозяйственных предприятий региона; оценка восприятия социальной деятельности менеджментом, сотрудниками и акционерами организаций; оценка удовлетворенности обслуживаемого населения реализацией социальной деятельности предприятиями АПК.

Условия, материалы и методы. При написании статьи использовались методы сбора, сравнения и анализа статистических данных о деятельности сельскохозяйственных предприятий и организаций Белгородской области. В качестве объекта исследований выступили отдельные агропромышленные предприятия Белгородской области: группа компаний «Агро-Белогорье» (ГК «Агро-Белогорье») – один из лидеров производителей свинины в РФ [7]; группа компаний «ЭФКО» (ГК «ЭФКО») [8] входит в рейтинг 200 крупнейших частных компаний России с выручкой более 146 млрд. руб. – производитель фасованных масел, жиров, маргаринов, майонезов, кетчупов и молочных йогуртов в РФ; ООО «Агропром-Инвест» – производитель подсолнечного масла, минеральной воды и сладких газированных напитков. Результаты, представленные в статье, основываются на использовании экономических методов исследования, системном и структурно-функциональном подходе к исследованию концептуальных социально-экономических проблем, с применением монографического, социологического подходов, методов сравнительного анализа. В процессе осуществления исследования структуры приоритетности социально-этического маркетинга и возможности его реализации в организациях был использован дисперсионный анализ результатов опроса, а также методы рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса и медианный тест. Для характеристики статистической значимости различий оценок в разрезе частных задач исследования нами использовался ранговый дисперсионный анализ Фридмана. При изучении структуры приоритетности проблем социально-этического маркетинга и установления значимых зависимостей между его элементами нами был использован метод логлинейного анализа таблиц сопряженности.

Результаты и обсуждение. Сельское хозяйство – важнейшая системообразующая отрасль экономики Белгородской области. Агропромышленный комплекс региона играет ведущую роль на российском агропродовольственном рынке [9]. Так, регион стабильно входит в топ-5 субъектов

Российской Федерации по объемам валовой продукции сельского хозяйства и к настоящему моменту занимает 3-е место (табл. 1).

Таблица 1 – Позиции Белгородской области на рынке агропромышленного комплекса РФ в 2024 году

Table 1 – Positions of the Belgorod Region in the Agro-Industrial Complex Market of the Russian Federation in 2024

Сегмент	Показатель	Место Белгородской области в РФ	Процент Белгородской области от РФ
Сельское хозяйство	367,5 млрд руб.	3	4,3%
Производство скота и птицы на убой в т.ч. свинина	1,8 млн. тонн	1	12,0%
птица	1,0 млн. тонн	1	16,3%
	775 тыс. тонн	1	8,1%
Зерно (в весе после доработки)	2 436,6 тыс. тонн	7	2%
Семена подсолнечника (в весе после доработки)	383,7 тыс. тонн	12	2,3%
Сахарная свекла	2 325,2 тыс. тонн	8	5,2%
Молоко	714,7 тыс. тонн	7	2,1%
Яйцо	1 564,9 млн. шт.	7	3,4%

В регионе создано и динамично функционирует высокотехнологичное, конкурентоспособное сельскохозяйственное производство, формирующее агропродовольственный рынок, экономическую безопасность области, трудовой и поселенческий потенциал территорий региона.

Социальная значимость деятельности предприятий агропромышленного комплекса, безусловно, очевидна. А в условиях развития социально ориентированной экономики, еще в большей степени для сельскохозяйственных предприятий становятся актуальными вопросы использования в практике управления концепции социально-этического маркетинга, свойственного, на наш взгляд, развитию данной отрасли, по определению. Так, согласно данной концепции, предприятия агропромышленного комплекса перманентно реализуют социальные цели, нейтрализуя или ослабляя влияние социальных проблем [10], таких, как: обеспечение продовольственной безопасности, повышение качества жизни населения,

прежде всего, сельского. Однако, на данный момент актуальны вопросы возможности и экономической целесообразности осознанной реализации социально-этического маркетинга, позволяющего формировать и укреплять деловую репутацию, благоприятный имидж, и, соответственно, конкурентоспособное положение на рынке. Содержание основных задач исследования послужило основой структурирования объекта исследования, охватывающего четыре группы заинтересованных лиц: менеджеры; рядовые работники исследуемых организаций; акционеры; покупатели. В ходе исследования методом выборочного отбора были сформированы 4 группы респондентов, численностью 40 человек каждая. Отбор проводился в районах Белгородской области на основе стратификации по численности населения, обслуживаемого организациями. Описание первичных результатов опроса в разрезе групп респондентов (заинтересованных сторон) представлено на рисунке 1.

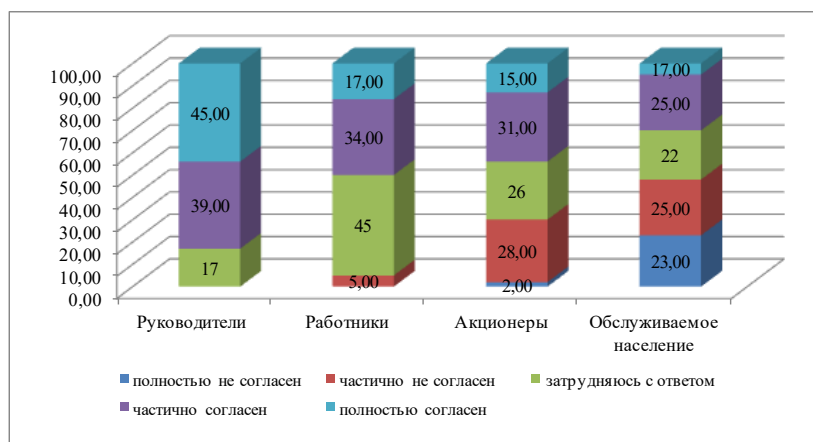


Рис. 1 – Результаты исследования приоритетности реализации социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях в разрезе групп респондентов, %

Fig. 1 – Results of the Study on the Priority of Implementing Socio-Ethical Marketing in Agricultural Organizations, Broken Down by Respondent Groups, %

Данные, представленные на рисунке 1, свидетельствуют, что имеет место закономерность снижения значимости процессов и результатов социальной деятельности для заинтересованных сторон в соответствии с их положением в системе управления организациями. Это закономерность формализуется тем, что для руководителей организаций оценка приоритетности социальной деятельности является более высокой, чем оценка ее

восприятия сотрудниками, занятыми в сфере непосредственного обслуживания потребителей.

В свою очередь последняя превышает уровень согласия реализации социально-этического маркетинга в среде акционеров и уровень удовлетворенности обслуживаемого населения реализацией социальной деятельности в организациях. Взвешенная балльная оценка, характеризующая отмеченную тенденцию представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Взвешенная балльная оценка реализации социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях в разрезе групп респондентов

Table 2 – Weighted Score Assessment of the Implementation of Socio-Ethical Marketing in Agricultural Organizations, Broken Down by Respondent Groups

Группы заинтересованных сторон (респондентов)	Исследуемый аспект социально-этического маркетинга	Взвешенная балльная оценка исследуемого аспекта
Административно-управленческий персонал с/х организаций	приоритетность социально-этического маркетинга для субъектов управления экономической деятельностью с/х организаций	4,3
Сотрудники с/х организаций	восприятие социально-этического маркетинга сотрудниками функциональных подразделений организаций	3,6
Акционеры с/х организаций	согласие с задачами и средствами реализации социально-этического маркетинга в среде акционеров с/х организаций	3,3
Покупатели	удовлетворенность покупателей реализацией социально-этического маркетинга с/х организациями	2,7

Дальнейшая оценка приоритетности социально-этического маркетинга в организациях в ходе проводимого исследования связана с характеристикой распределения ответов респондентов в разрезе заданных вопросов.

Данные, представленные на рисунке 2, свидетельствуют о неравномерности распределения групп респондентов в разрезе характеризующихся вопросов. Так, если для руководителей сельскохозяйственных организаций в приоритете перспективы наращивания социальной деятельности и положительной

сравнительной характеристики субъектов системы с другими участниками рынка сельскохозяйственной продукции, то для работников, занятых в сфере непосредственного обслуживания потребителей наиболее приоритетным аспектом восприятия социальных аспектов выступает вовлеченность в процессы социальной деятельности. Результаты исследования также позволяют отметить различия в оценке приоритетности реализации социально-этического маркетинга среди акционеров и населения, обслуживаемого организациями.

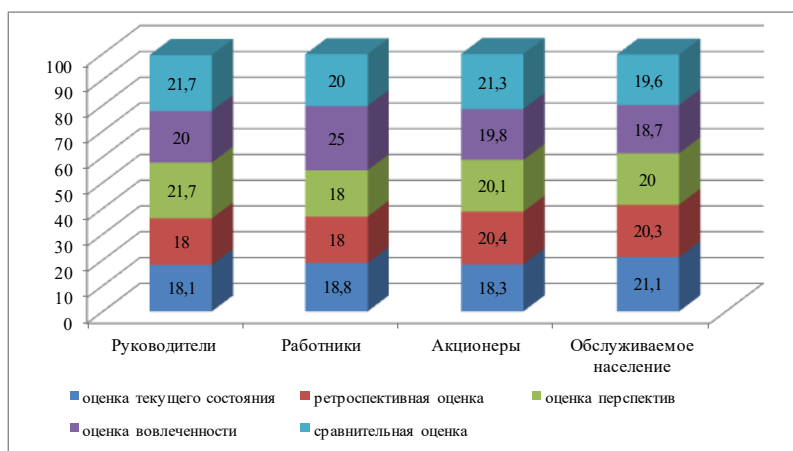


Рис. 2 – Распределение накопленных оценок приоритетности социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях в разрезе групп респондентов, %
Fig. 2 – Distribution of Accumulated Priority Scores for Socio-Ethical Marketing Implementation in Agricultural Organizations, Broken Down by Respondent Groups, %

Если для акционеров характерна высокая сравнительная оценка социальной деятельности сельскохозяйственных организаций в сопоставлении с прочими субъектами хозяйствования, то удовлетворенность обслуживаемого населения наиболее явно проявляется в

оценке текущей социальной деятельности организаций. Отмеченная закономерность подтверждается значениями средней балльной оценкой по вопросам частных задач исследования в разрезе групп заинтересованных сторон, представленными в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика приоритетных направлений оценки реализации социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях в разрезе групп респондентов

Table 3 – Characteristics of the Priority Areas for Assessing the Implementation of Socio-Ethical Marketing in Agricultural Organizations, Broken Down by Respondent Groups

Группы заинтересованных сторон (респондентов)	Приоритетное направление оценки социально-этического маркетинга	Средняя балльная оценка направления
Административно-управленческий персонал с/х организаций	- ожидаемая динамика уровня реализации социально-этического маркетинга в организациях; - сравнительная оценка уровня реализации социальной деятельности в с/х организациях с прочими субъектами рынка	4,7
Сотрудники с/х организаций	- оценка вовлеченности в процессы реализации социально-этического маркетинга в организациях	3,7
Акционеры с/х организаций	- сравнительная оценка уровня реализации социально-этического маркетинга в организациях с прочими субъектами рынка товаров и услуг	3,5
Покупатели	- оценка текущего уровня реализации социально-этического маркетинга в организациях	2,8

В целях углубленного исследования структуры приоритетности социальной деятельности в сельскохозяйственных организациях нами проведен дисперсионный анализ

результатов опроса в разрезе групп респондентов (заинтересованных сторон) и выделенных направлений оценки, формализующих содержание задач исследования (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты дисперсионного анализа оценок реализации социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях в разрезе групп заинтересованных сторон при значимости различий между группами респондентов $p = 0,00$

Table 4 – Results of the Analysis of Variance (ANOVA) of Scores for the Implementation of Socio-Ethical Marketing in Agricultural Organizations, Broken Down by Stakeholder Groups, with Significance of Differences Between Respondent Groups $p = 0.00$

Направления оценки социально-этического маркетинга	Метод анализа	Критерий
Оценка текущего уровня реализации социально-этического маркетинга	Краскела-Уоллиса	К-У: Н (3, N160) = 38,1
	Медианный тест	ХИ-кв.(3) = 25,5
Ретроспективная оценка динамики уровня реализации социально-этического маркетинга	Краскела-Уоллиса	К-У: Н (3, N160) = 34,1
	Медианный тест	ХИ-кв.(3) = 19,0
Ожидаемая динамика уровня реализации социально-этического маркетинга	Краскела-Уоллиса	К-У: Н (3, N160) = 34,6
	Медианный тест	ХИ-кв.(3) = 13,3
Оценка отождествления объекта исследования с реализацией социально-этического маркетинга	Краскела-Уоллиса	К-У: Н (3, N160) = 45,2
	Медианный тест	ХИ-кв.(3) = 34,2
Сравнительная оценка уровня реализации социально-этического маркетинга	Краскела-Уоллиса	К-У: Н (3, N160) = 41,3
	Медианный тест	ХИ-кв.(3) = 21,5

Данные, представленные в таблице 4, свидетельствуют, что по всем выделенным направлениям оценки в организациях наблюдаются статистически значимые различия между рангами выставленных оценок в разрезе групп респондентов.

Завершающим этапом аналитического исследования первичных результатов опроса выступает характеристика распределения ответов всех групп респондентов в разрезе частных задач исследования, результаты которой представлены на рисунке 3.

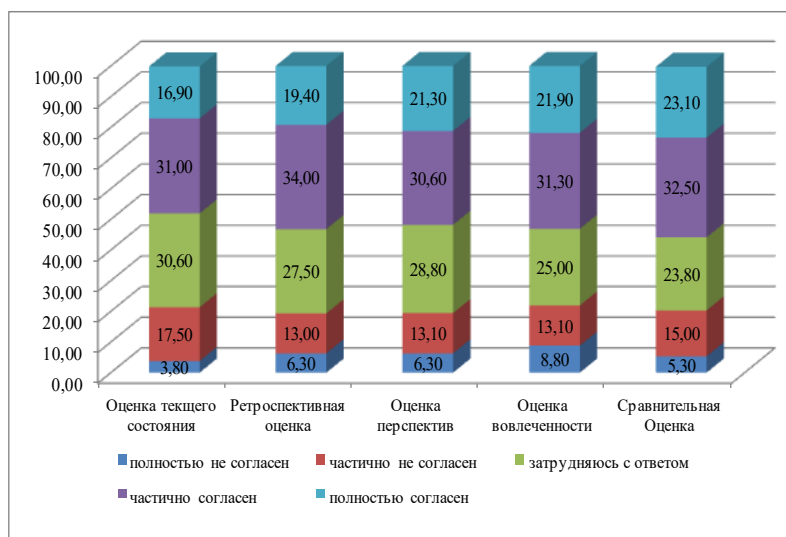


Рис. 3 – Распределение ответов всех групп респондентов в разрезе частных задач исследования приоритетности социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях, %

Fig. 3 – Distribution of Responses from All Respondent Groups by Specific Research Objectives Regarding the Priority of Socio-Ethical Marketing in Agricultural Organizations, %

Результаты исследования, представленные на рисунке 3, свидетельствуют, что наибольшая доля полностью отрицательных ответов респондентов (8,8%) соответствует оценке их вовлеченности в реализацию социальной деятельности в сельскохозяйственных организациях. По нашему мнению, этот факт является закономерным, поскольку как показали предыдущие этапы анализа, самоотождествление с реализацией социальной деятельности в организациях в большей степени характерно для работников и акционеров организаций, а не для обслуживаемого населения, низкая оценка которого (рис. 2) и послужила причиной проявления отмеченной тенденции.

В свою очередь, наиболее высокая доля полностью положительных ответов респондентов (23,1%) наблюдается при

характеристике сравнительной оценки уровня реализации социальной деятельности в сельскохозяйственных организациях с прочими субъектами рынка товаров и услуг. По нашему мнению, это закономерная тенденция, объясняемая общественным признанием социальной деятельности организаций, а также уровнем корпоративной культуры и формирования соответствующей идеологии, включая социально ориентированные принципы и ценности предприятий агропромышленного комплекса.

Для характеристики статистической значимости различий оценок в разрезе частных задач исследования приоритетности социально-этического маркетинга в организациях нами использовался ранговый дисперсионный анализ (табл. 5).

Таблица 5 – Результаты дисперсионного анализа оценок социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях в разрезе частных задач исследования

Table 5 – Results of the Analysis of Variance (ANOVA) of Socio-Ethical Marketing Scores in Agricultural Organizations, Broken Down by Specific Research Objectives

Направления оценки социальной деятельности	Средний ранг	Сумма рангов	Среднее	Стандартное отклонение
Оценка текущего уровня реализации социальной деятельности	2,9	462,0	3,4	1,1
Ретроспективная оценка динамики уровня реализации социальной деятельности	3,0	482,5	3,5	1,1
Ожидаемая динамика уровня реализации социальной деятельности	3,0	473,5	3,5	1,1
Оценка отождествления объекта исследования с реализацией социальной деятельности	3,0	478,5	3,4	1,2
Сравнительная оценка уровня реализации социальной деятельности	3,1	503,5	3,5	1,2
ANOVA хи-квад. (N = 160, cc = 4) = 2,9				
Значимость различий между направлениями оценки	p < 0,58			

В соответствии с результатами дисперсионного анализа оценок социальной деятельности в организациях мы можем говорить об отсутствии значимых различий в выделенных направлениях оценки, соответствующих задачам исследования.

В рамках решения дополнительной задачи исследования, связанной с изучением структуры приоритетности социальной деятельности и возможности использования концепции социально-этического маркетинга и установления значимых зависимостей между его элементами, нами был использован метод логлинейного анализа таблиц сопряженности.

Для снижения размерности используемых данных количественные результаты проведенного опроса, представленные в порядковой

шкале измерений, были преобразованы в качественные данные, представленные в номинальной шкале. При этом алгоритм преобразования предусматривал присвоение градации «высокий уровень поддержки социальной деятельности» ответам респондентов, имеющим 4 или 5 баллов по порядковой шкале и присвоение градации «стандартный уровень поддержки социальной деятельности» ответам респондентов имеющим 1,2 или 3 балла по порядковой шкале.

Использование номинальной шкалы измерений для представления используемых данных позволило построить таблицу множественных откликов, характеризующую распределение респондентов по видам оценки социально-этического маркетинга в организациях (табл. 6).

Таблица 6 – Распределение респондентов по уровню поддержки социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях

Table 6 – Distribution of Respondents by Level of Support for Socio-Ethical Marketing in Agricultural Organizations

Оценка текущего состояния	Ретроспективная оценка	Оценка перспектив	Оценка вовлеченности	Сравнительная оценка		Всего
				В	С	
В	В	В	В	18	3	21
В	В	В	С	5	1	6
Всего				23	4	27
В	В	С	В	4	5	9
В	В	С	С	3	1	4
Всего				7	6	13
В	С	В	В	6	6	12
В	С	В	С	2	4	6
Всего				8	10	18
В	С	С	В	6	5	11
В	С	С	С	4	4	8
Всего				10	9	19
С	В	В	В	6	5	11
С	В	В	С	6	6	12
Всего				12	11	23
С	В	С	В	5	1	6
С	В	С	С	12	5	17
Всего				17	6	23
С	С	В	В	4	2	6
С	С	В	С	5	4	9
Всего				9	6	15
С	С	С	В	2	7	9
С	С	С	С	1	12	13
Всего				3	19	22

В – высокий уровень поддержки социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях;
С – стандартный уровень поддержки социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях

Характеризуя информацию, представленную в таблице 6, можно отметить, что наибольшая абсолютная величина частот наблюдается при полярных ситуациях для высокого уровня поддержки социальной деятельности при положительных значениях

сравнительной оценки и для стандартного уровня поддержки при отрицательных значениях сравнительной оценки социальной деятельности сельскохозяйственных организаций.

Использование в качестве предикторов логлинейной модели взаимодействия

выделенных нами пяти видов оценки приоритетности социальной деятельности и возможности реализации концепции

социально-этического маркетинга в организациях обуславливает принятие многофакторной насыщенной модели в качестве базовой.

Таблица 7 – Результаты тестирования логлинейной модели приоритетности социальной деятельности и возможности использования концепции социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях

Table 7 – Results of Testing the Log-Linear Model of the Priority of Social Activities and the Feasibility of Using the Socio-Ethical Marketing Concept in Agricultural Organizations

СОСТАВ МОДЕЛИ			
Факторы	Число градаций	Оцениваемое двухфакторное взаимодействие	Оцениваемое четырехфакторное взаимодействие
Оценка текущего состояния	2	X	X
Ретроспективная оценка	2		X
Оценка перспектив	2		X
Оценка вовлеченности		X	
Сравнительная оценка	2		X
ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ			
Критерий	Значение	df	p
Хи-квадрат Пирсона	6,9	14	0,94
Хи-квадрат максимального правдоподобия	6,8	14	0,94

Сокращение размерности модели, то есть переход от насыщенной к ненасыщенной модели, осуществлялось нами на основе критерия Хи-квадрат Пирсона и Хи-квадрат максимального правдоподобия. Результаты последовательного перебора в ходе упрощения насыщенной логлинейной модели показали, что оптимальной является модель, включающая одно двухфакторное взаимодействие оценки текущего состояния социальной деятельности и вовлеченности в ее процессы и одно четырехфакторное взаимодействие между текущей оценкой, ретроспективной оценкой, оценкой перспектив и сравнительной оценкой социальной деятельности.

Результаты тестирования предлагаемой модели показали, что она является наиболее простой из совокупности адекватных моделей, описывающих распределение респондентов по приоритетности социальной деятельности в сельскохозяйственных организациях. При этом качество модели характеризуют графики распределения наблюдаемых и подогнанных частот, а также подогнанных частот и остатков, представленные на рисунке 4.

Визуальный анализ данных (рис. 4) позволяет сделать вывод о том, что наблюдаемые и расчетные частоты распределения хорошо согласованы между собой, а остаточные частоты представляют собой случайные величины с нулевым средним значением. Содержательная интерпретация предлагаемой модели позволяет говорить, что повышение вовлеченности работников, акционеров и обслуживаемого населения в процесс

реализации социальной деятельности сельскохозяйственных организаций повышает ее текущую оценку, что способствует решению задач социально-этического маркетинга, направленных, как было указано выше, на работников и акционеров сельскохозяйственных предприятий.

В свою очередь, выделенная многофакторная зависимость обуславливает возможность использования в практике управления предприятиями агропромышленного сектора экономики концепции социально-этического маркетинга. Так, руководители указывают на стратегическую значимость социально ответственного поведения и «видят» в ней источник дополнительных конкурентных преимуществ. Дополнительным мотивом при реализации профессиональной деятельности работниками организаций является факт их вовлеченности в текущую социально ориентированную деятельность. Акционеры признают важность и значимость социальной ориентации деятельности компаний при реализации как текущей, так и перспективной деятельности. А потому считаем актуальным и возможным, с точки зрения готовности менеджмента, работников и акционеров предприятий агропромышленного комплекса к использованию в практике управления инструментов социально-этического маркетинга как источника конкурентных преимуществ «высокого порядка», инструмента влияния на репутацию, имидж, конкурентоспособность в оперативной и стратегической деятельности.

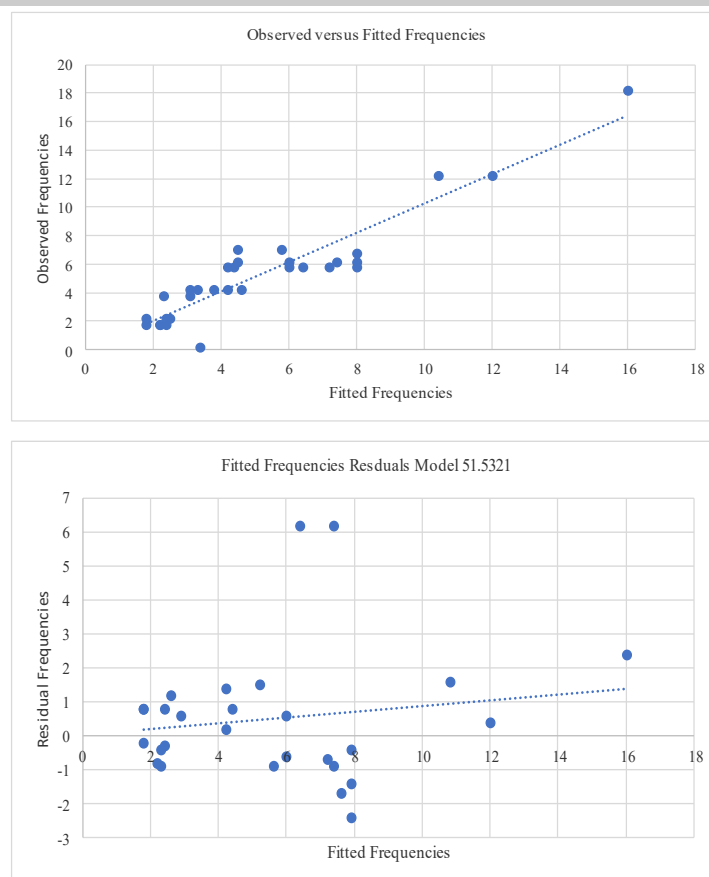


Рис. 4 – Распределение наблюдаемых, подогнанных частот и остатков логлинейной модели приоритетности социально-этического маркетинга и возможности реализации в сельскохозяйственных организациях

Fig. 4 – Distribution of Observed, Fitted Frequencies, and Residuals of the Log-Linear Model for the Priority of Socio-Ethical Marketing and the Feasibility of Its Implementation in Agricultural Organizations

Выводы. В рамках нашего исследования доказана объективная готовность и возможность использования в практике управления сельскохозяйственными предприятиями Белгородской области концепции социально-этического маркетинга и соответствующих инструментов. Существует закономерность, определяющая зависимость значимости процессов и результатов социальной деятельности для заинтересованных сторон в соответствии с их положением в системе управления сельскохозяйственными организациями. Различия в оценках социальной деятельности между работниками, акционерами и покупателями статистически значимы и проявляются в следующем: для руководителей сельскохозяйственных организаций приоритетность использования в практике управления инструментов социально-этического маркетинга наиболее явно проявляется в оценке перспектив его использования в практике управления и положительной сравнительной характеристике (конкурентоспособности) с прочими участниками рынка. Для работников же сельскохозяйственных организаций наиболее приоритетным аспектом восприятия социально-этического маркетинга выступает их вовлеченность в процессы социальной

деятельности. Для акционеров характерна высокая сравнительная оценка реализации инструментов социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях в сопоставлении с прочими субъектами хозяйствования. Удовлетворенность покупателей реализацией инструментов социально-этического маркетинга наиболее явно проявляется в оценке текущей деятельности сельскохозяйственных организаций. Отрицательное восприятие социальной деятельности в большей степени соответствует низкой оценке вовлеченности в реализацию таковой в организациях; положительное восприятие соответствует высокой сравнительной оценке уровня реализации инструментов социально-этического маркетинга в сельскохозяйственных организациях с прочими субъектами рынка. Структура взаимосвязи оценок возможности и готовности реализации в практике управления концепции социально-этического маркетинга включает двухфакторное взаимодействие оценки текущего состояния социальной деятельности и вовлеченности в ее процессы и четырехфакторное взаимодействие между текущей, ретроспективной, сравнительной оценкой и оценкой перспектив социальной деятельности.

Литература

- 1.Осадчая С.М. Социально-этический маркетинг в практике управления предприятием агропромышленного комплекса: опыт реализации, эффективность // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т.19. №3(75). С.146-153. doi: 10.12737/2073-0462-2024-146-153.
- 2.Philip Kotler, Waldemar Pfoertsch, and Uwe Sponholz. H2H Marketing: The Genesis of Human-to-Human Marketing. 2021. 259 p.
- 3.Газетдинов Ш. М. Сельская территория как система взаимодействия экономических и социальных процессов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т.16, №4(64). С.82-87. doi: 10.26726/1812-7096-2023-1-56-61.
- 4.Улезко А.В. Обеспечение сбалансированного развития сельских территорий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т.18, № 3(86). С.92-103. doi: 10.53914/issn2071-2243_2025_3_92.
- 5.Revolutionizing agro-industrial business models through sustainable marketing strategies / Yu. Medvedeva, V. Konkin, V. Krayevsky, S. Osadchaya // BIO Web of Conferences. Current State, Problems and Prospects for the Development of Agricultural Science. Les Ulis, 2024. С. 04051. doi: 10.1051/bioconf/202414104051
- 6.Levitt T. The Globalization of Markets. URL: <https://hbr.org/1983/05/the-globalization-of-markets/> (дата обращения: 12.12.2025).
- 7.Корпоративный сайт ГК «Агро-Белогорье» [Электронный ресурс] URL: <https://agrobela.ru/> / (дата обращения: 12.12.2025).
- 8.Корпоративный сайт ГК «ЭФКО» [Электронный ресурс] URL: <https://efko.ru/> / (дата обращения: 12.12.2025).
- 9.Постановление Правительства Белгородской области от 11.07.2023 № 371-пп «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Белгородской области на период до 2030 года».
- 10.Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / А. Р. Валиев, Р. М. Низамов, Р. И. Сафин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 1(65). С. 97-107. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.

References

1. Osadchaya SM. [Social and ethical marketing in the practice of enterprise management in agro-industrial complex: implementation experience and efficiency]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 3(75). 146-153 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-146-153.
2. Philip Kotler, Waldemar Pfoertsch and Uwe Sponholz. H2H Marketing: The genesis of human-to-human marketing. 2021; 259 p.
3. Gazetdinov ShM. [Rural territory as a system of interaction of economic and social processes]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 4(64). 82-87 p. doi: 10.26726/1812-7096-2023-1-56-61.
4. Ulezko AV. [Ensuring balanced development of rural areas]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025; Vol.18. 3(86). 92-103 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2025_3_92.
5. Medvedeva Yu, Konkin V, Krayevsky V, Osadchaya S. Revolutionizing agro-industrial business models through sustainable marketing strategies. BIO Web of Conferences. Current state, problems and prospects for the development of agricultural science. Les Ulis. 2024; 04051 p. doi: 10.1051/bioconf/202414104051
6. Levitt T. The globalization of markets. [cited 2025, December 12]. Available from: <https://hbr.org/1983/05/the-globalization-of-markets/>.
7. Corporate website of Agro-Belogore Group of companies. [cited 2025, December 12]. Available from: <https://agrobela.ru/>.
8. Corporate website of EFKO Group of Companies. [Internet]. EFKO.ru. [cited 2025, December 12]. Available from: <https://efko.ru/> / Gruppy kompanii «EFKO» (EFKO.ru)
9. Postanovlenie Pravitelstva Belgorodskoy oblasti ot 11.07.2023 № 371-pp "Ob utverzhdenii Strategii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Belgorodskoy oblasti na period do 2030 goda". [Resolution of Belgorod region Government dated July 11, 2023, No. 371-pp "On approval of Strategy for social and economic development of Belgorod region up to 2030"].
10. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI. [Priorities for agro-industrial complex development and objectives of agricultural science and education]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1 (65). 97-107 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторе:

Осадчая Светлана Михайловна - кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и маркетинга Белгородского государственного национального исследовательского университета (308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, д. 85), e-mail: osad_star@inbox.ru, ORCID 0000-0002-1413-4072

Автор ознакомился и одобрил окончательный вариант рукописи.

Поступила 11.01.2026; одобрена после рецензирования 08.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Author:

Osadchaya Svetlana Mikhaylovna – Ph.D. of Economics, Associate Professor, Associate Professor of Management and Marketing Department Belgorod State National Research University (85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russian Federation), e-mail: osad_star@inbox.ru, ORCID 0000-0002-1413-4072

The author have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 11.01.2026; revised 08.06.2026; accepted 25.06.2026.



**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АГРАРНОЙ ПОЛИТИКИ:
ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

© 2026 Петрушина О. В. ✉, Жилияков Д. И., Кошман Н. Н.

*Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова
(г. Курск, Российская Федерация)
✉ petao@yandex.ru*

Реферат. Цель исследования состоит в выявлении ключевых факторов эффективности аграрной политики и структурных диспропорций распределения государственной поддержки путем комплексного анализа нормативно-правовой базы, механизмов реализации аграрной политики, институциональной архитектуры управления, финансовых инструментов. Информационно-эмпирическую базу исследования составили нормативно-правовые акты, научные издания, официальные источники национальной и международной статистики, материалы личных наблюдений авторов. В исследовании реализован системный подход с применением методов институционального анализа и количественной оценки экономических показателей. Для наглядного представления выявленных взаимосвязей использован метод графической визуализации. Подробно проанализированы ключевые экономические показатели динамики объема производства в АПК, экспорта сельхозпродукции, уровня импортозамещения, производительности труда, архитектура и инструменты аграрной политики, показана их связь с макропоказателями. Охарактеризована многоуровневая система управления и диверсифицированные финансовые инструменты государственной аграрной политики, в том числе субсидии, льготные кредиты, инфраструктурные инвестиции. Подтверждено, что архитектура аграрной политики эффективна, что выражается в росте уровня поддержки производителей (PSE), объема экспорта продукции сельского хозяйства, индекса импортозамещения. С помощью авторской матрицы выявлено, что инструменты аграрной политики имеют разнонаправленное воздействие. Обозначены вызовы, обусловленные территориальным дисбалансом и необходимостью дальнейшего совершенствования механизмов мониторинга и оценки эффективности. Выявлены ключевые факторы успеха: адаптация программ к региональным условиям, развитие экспортной ориентации, технологическая модернизация отрасли. Обоснована необходимость усиления дифференциации государственной поддержки с учетом особенностей и приоритетов регионального развития.

Ключевые слова: аграрная политика, государственная поддержка, сельское хозяйство, субсидии, льготное кредитование, импортозамещение, экспорт, институциональная архитектура, экономическая эффективность.

Для цитирования: Петрушина О.В., Жилияков Д.И., Кошман Н.Н. Функциональный анализ государственной аграрной политики: институциональные механизмы и экономическая эффективность // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 165-174. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-165-174

**FUNCTIONAL ANALYSIS OF STATE AGRARIAN POLICY: INSTITUTIONAL
MECHANISMS AND ECONOMIC EFFICIENCY**

© 2026 Petrushina O. V. ✉, Zhilyakov D. I., Koshman N. N.

*Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov
(Kursk, Russian Federation)
✉ petao@yandex.ru*

Abstract. The aim of this study is to identify key factors in the effectiveness of agricultural policy and structural imbalances in the distribution of state support through a comprehensive analysis of the regulatory framework, agricultural policy implementation mechanisms, institutional governance architecture and financial instruments. The empirical data base for this study included regulatory acts, scientific publications, official sources of national and international statistics, and the authors' personal observations. The study implements a systems approach using methods of institutional analysis and quantitative assessment of economic indicators. Graphical visualization was used to visualize the identified relationships. This article provides a detailed analysis of key economic indicators, including agricultural production dynamics, agricultural exports, import substitution levels, labor productivity, architecture and instruments of agricultural policy, demonstrating their relationship with macroeconomic indicators. A multi-level governance system and diversified financial instruments of state agricultural policy, including subsidies, concessional loans and infrastructure investments, are described. The effectiveness of agricultural policy architecture is confirmed, as reflected in the growth of producer support levels (PSE), agricultural export volumes and the import substitution index. Using the author's matrix, it is revealed that agricultural policy instruments have a multidirectional impact. Challenges arising from territorial

imbalances and the need to further improve monitoring and performance evaluation mechanisms are identified. Key success factors are identified: adapting programs to regional conditions, developing an export orientation and technological modernization of the industry. The need to strengthen the differentiation of state support, taking into account the specific characteristics and priorities of regional development, is substantiated.

Key words: agricultural policy, state support, agriculture, subsidies, preferential lending, import substitution, export, institutional architecture, economic efficiency.

For citation: Petrushina OV, Zhilyakov DI, Koshman NN. [Functional analysis of state agrarian policy: institutional mechanisms and economic efficiency]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 165-174 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-165-174

Введение. Аграрная политика Российской Федерации занимает центральное место в системе государственного управления, являясь составной частью общей социально-экономической политики страны. В условиях глобальных вызовов, включая санкционное давление, изменение климата и трансформацию мировых продовольственных рынков, аграрный сектор приобретает стратегическое значение для обеспечения национальной безопасности и экономической устойчивости государства [1]. Федеральный закон от 29 декабря 2006 года №264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» определяет аграрную политику как комплекс мер, направленных на обеспечение продовольственной безопасности, устойчивое развитие сельских территорий и повышение конкурентоспособности агропромышленного комплекса.

Современная аграрная политика характеризуется многоуровневой структурой, включающей федеральный, региональный и муниципальный уровни. Эффективность реализации аграрной политики напрямую влияет на социально-экономическое развитие сельских территорий, уровень жизни сельского населения и национальную продовольственную безопасность [2]. В последние годы наблюдается значительный рост объемов государственной поддержки: в 2024 году на реализацию аграрных программ было выделено 682 миллиарда рублей, что свидетельствует о приоритетном внимании государства к развитию АПК. В тоже время, в истории России не было опыта осуществления аграрной политики в условиях длительных внешних шоков и повышенных военно-политических рисков на приграничных территориях. Затяжной характер санкционной политики и геополитической напряженности обуславливают формирование новых вызовов и угроз развития сельскохозяйственного производства на всё большей территории, соседствующей с районами проведения СВО. Действующие инструменты аграрной политики преимущественно направлены на развитие приоритетных направлений сельского хозяйства или на компенсацию ущерба от разовых событий в виде стихийных бедствий, что не вполне отвечает современным условиям хозяйствования.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексной оценки функциональных элементов аграрной политики, включая цели, объекты, субъекты, механизмы

и инструменты реализации, с точки зрения их экономической эффективности. Понимание этих аспектов необходимо для разработки обоснованных рекомендаций по совершенствованию государственной аграрной политики и повышению ее результативности в условиях меняющейся внешней и внутренней среды.

Целью настоящего исследования является выявление ключевых факторов эффективности аграрной политики и структурных диспропорций распределения государственной поддержки путем анализа нормативно-правовой базы, механизмов реализации, институциональной структуры, финансовых инструментов государственной аграрной политики.

Условия, материалы и методы. Исследование основано на анализе нормативно-правовых актов Российской Федерации, включая Федеральный закон №264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» (ред. от 31.07.2025), Постановление Правительства РФ №1778 от 30.12.2024, а также данных официальной статистики Министерства сельского хозяйства РФ, Росстата и международных организаций (ОЭСР).

Методологическую основу исследования составили системный подход для анализа функциональных элементов аграрной политики; институциональный анализ для оценки структуры управления и взаимодействия субъектов; количественный анализ экономических показателей эффективности. Для наглядного представления выявленных взаимосвязей использованы методы графической визуализации. Для обработки количественных данных использованы метод средних, графический метод, индексный метод, группировки.

Для оценки сбалансированности регионального развития использован разработанный авторами интегрированный показатель – индекс эффективности развития сельскохозяйственного производства. Соизмерителем индекса эффективности развития сельскохозяйственного производства в исследовании является рентабельность производства сельскохозяйственной продукции. Параметры группировки субъектов Российской Федерации по уровню экономической эффективности развития сельскохозяйственного производства обоснованы проверкой на нормальность распределения тестом Колмогорова-Смирнова, количество интервалов и шаг группировки определены по формуле Стерджерса.

Эмпирической базой исследования послужили данные о динамике производства АПК (2020–2024 годы), объемах государственной поддержки, показателях импортозамещения, экспорте сельхозпродукции, уровне производительности труда в аграрном секторе.

Результаты и обсуждение. С 2006 года нормативная база аграрной политики представляет собой эволюционирующую систему,

в которой федеральные законы, постановления правительства, государственные программы и ведомственные инструкции образуют структуру правового регулирования. Визуально эта эволюция может быть представлена в виде хронологической шкалы, где федеральные законы выделены синим цветом, постановления правительства — зелёным, а ведомственные документы — серым (рис. 1).



Рис. 1 – Эволюция нормативно-правовой базы аграрной политики РФ (2006–2025 годы)

Fig. 1 – Evolution of the regulatory and legal framework of the agrarian policy of the Russian Federation (2006–2025)

На шкале прослеживается переход от акцентирования на внутреннюю стабильность, характерного для 2006–2014 годы, к активной экспортной стратегии и технологической автономии, особенно после введения продовольственного эмбарго и последующих санкций [3].

Аграрная политика Российской Федерации, как закреплено в статье 5 Федерального закона от 29 декабря 2006 года № 264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства», представляет собой неотъемлемую часть общей социально-экономической политики государства и направлена на обеспечение продовольственной безопасности, устойчивого развития сельских территорий и повышение конкурентоспособности агропромышленного комплекса (АПК). Данный законодательный акт определяет цели, задачи, принципы и направления государственной поддержки АПК, формируя нормативную основу для долгосрочного планирования и реализации отраслевых программ. В редакции 2025 года, вступившей в силу с 7 июля, в закон были внесены существенные изменения, направленные на усиление механизмов финансовой поддержки производителей через Фонд развития сельских территорий, а также на закрепление приоритетов импортозамещения и экспортной ориентации аграрного сектора. Эти изменения

отражают стратегический сдвиг в аграрной политике — от внутренней самодостаточности к активному включению в глобальные аграрные рынки, что соответствует целям, обозначенным в Государственной программе развития сельского хозяйства до 2030 года.

Фонд развития сельских территорий стал ключевым институциональным механизмом распределения бюджетных средств на модернизацию инфраструктуры, развитие малых форм хозяйствования и поддержку инновационных проектов в сельской местности. Дополнением к законодательной базе выступает Постановление Правительства РФ № 1778 от 30 декабря 2024 года, которое детализирует порядок распределения субсидий между субъектами Российской Федерации. Критерии распределения включают уровень продовольственной самообеспеченности регионов, их экспортный потенциал, а также показатели социально-экономического развития сельских территорий. В 2024 году на реализацию этих мер было выделено 682 миллиарда рублей, из которых 42% (что составляет около 286,4 млрд руб.) направлено на компенсацию транспортных издержек в отдаленных и логистически сложных регионах — преимущественно в Дальневосточном и Северо-Западном федеральных округах [4]. Такая структура финансирования направлена на

снижение барьеров для выхода производителей из этих регионов на внутренний и внешний рынки, однако одновременно вызывает дискуссии о региональной справедливости распределения ресурсов. Неравномерность распределения государственной поддержки между регионами наглядно продемонстрирована на рисунке 2.

Наибольшее финансирование получили регионы-лидеры по экспорту сельскохозяйственной продукции — Краснодарский край и Ростовская область. Эти субъекты традиционно доминируют в производстве зерна,

подсолнечника и продукции растениеводства, что обеспечивает им высокую конкурентоспособность на мировых рынках [5]. Например, в 2024 году Краснодарский край экспортировал 40,1% зерновых, 14,5% масла подсолнечного и 7,5% масла рапсового от общероссийского объема экспорта данных продуктов. Такая концентрация поддержки на уже развитых аграрных центрах способствует росту объемов экспорта, который в 2024 году достиг рекордных 109 млн тон — на 5,3% больше, чем в предыдущем году [6].



Рис. 2 – Территориальное распределение государственной поддержки АПК в 2024 году
Fig. 2 – Territorial distribution of state support for the agro-industrial complex in 2024

Россия укрепила свои позиции как ведущий экспортер пшеницы, замороженной рыбы, растительного и рапсового масла, а также демонстрирует стремительный рост поставок ячменя, сахара и муки. Однако подобная региональная политика сопряжена с риском усиления территориального дисбаланса. Регионы Сибири, Дальнего Востока, Северного Кавказа, несмотря на значительные природно-ресурсные потенциалы, сталкиваются с системными проблемами: высокими транспортными издержками, слабой инфраструктурой, дефицитом квалифицированных кадров и ограниченным доступом к льготным кредитам. Хотя 42% субсидий направлены на логистику, их распределение не всегда учитывает специфику местных аграрных цепочек. Например, в Республике Саха (Якутия) стоимость доставки сельхозтехники и семян может превышать рыночную цену продукции, что делает многие проекты экономически невыгодными даже при наличии государственной поддержки [7]. Приграничные регионы, такие как Курская, Белгородская, Брянская области начиная с 2022 года находятся в новых

геополитических условиях, вызванных усилением международной конфронтации. Все это указывает на необходимость более дифференцированного подхода к распределению субсидий, учитывающего многообразие особенностей регионального развития и актуальности совершенствования механизма реализации аграрной политики [8].

Механизм реализации аграрной политики Российской Федерации представляет собой иерархически организованную систему, включающую федеральное, региональное и муниципальное звенья управления, взаимодействующие через нормативно-правовые, финансовые и институциональные каналы [9]. Эта система обеспечивает согласованное функционирование государственной поддержки сельского хозяйства, охватывая разработку стратегических целей, адаптацию программных решений к региональным условиям и непосредственную реализацию мер на местах.

Институциональная архитектура механизма аграрной политики представлена на рисунке 3.



Рис. 3 – Институциональная архитектура механизма аграрной политики РФ
Fig. 3 – Institutional architecture of the agrarian policy mechanism of the Russian Federation

Синим цветом обозначены нормативные акты, составляющие правовую основу аграрной политики. Зеленый цвет использован для обозначения финансовых потоков, включая общий объем финансирования (682 млрд руб. в 2024 году), распределения средств по программам и направлениям, а также структуру льготного кредитования. Оранжевым цветом изображены институциональные взаимодействия между федеральными, региональными и муниципальными органами, а также между государственными структурами и сельхозпроизводителями. Уделено внимание и обратным связям. Мониторинг уровня защиты национальных товаропроизводителей АПК на основе динамической оценки показателя поддержки производителей (Producer Support Estimate, PSE) используется для оценки эффективности мер аграрной политики и последующей корректировки субсидиарной политики. Данные об экспорте сельскохозяйственной продукции возвращаются в систему как индикаторы успеха экспортной стратегии и служат основанием для перераспределения ресурсов в пользу экспортно-ориентированных регионов и культур.

На федеральном уровне ключевую роль играет Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, которое формирует правовую основу аграрной политики, определяет цели, приоритеты и методы государственной поддержки.

Региональный уровень включает 85 субъектов Российской Федерации (включая республики, края, области, автономные округа и города федерального значения). На региональном уровне органы власти субъектов Российской Федерации осуществляют адаптацию федеральных программ к специфике местных аграрных условий, включая климатические особенности, структуру сельхозпроизводства и инфраструктурные потребности. Эта адаптация включает разработку региональных программ поддержки сельского хозяйства, которые определяют приоритетные направления поддержки, устанавливают дополнительные критерии отбора получателей средств.

Муниципальный уровень является ключевым звеном в цепочке реализации политики, насчитывающий более 1700 сельских поселений. На этом уровне осуществляется непосредственное взаимодействие с сельхозпроизводителями, включая малые и средние формы хозяйствования. Муниципальные администрации отвечают за формирование реестров получателей поддержки, мониторинг выполнения условий предоставления субсидий, организацию технической инспекции и контроль за использованием средств. Важной функцией муниципалитетов является координация инфраструктурных проектов, таких как строительство и ремонт автомобильных дорог местного значения, создание хранилищ для зерна и овощей, а также модернизация систем орошения и

водоснабжения. Эти объекты играют значимую роль в повышении устойчивости сельского хозяйства и развитии инфраструктуры сельских территорий. Эффективность реализации аграрной политики во многом зависит от качества координации и взаимодействия между уровнями управления, которые обеспечиваются через систему вертикальных финансовых потоков, административных отчётов, механизмов обратной связи. Взаимодействия между субъектами управления включают регулярные совещания, мониторинговые отчёты, плановые проверки и работу цифровых платформ, таких как АИС «Меркурий» и ГИС АПК, обеспечивающих прозрачность и контроль на всех этапах реализации программ. Обратные связи в системе реализуются

через ежегодную отчётность регионов перед Минсельхозом, анализ ключевых экономических показателей (рост производства, экспорт, заработная плата, импортозамещение) и корректировку стратегических целей.

В числе негативных характеристик действующего механизма в научной литературе упоминается доминирование федеральных квот и жёстких целевых показателей, которые могут подавлять инициативу регионов и приводить к формальному исполнению программ без учёта локальных приоритетов [10]. Усиление региональных диспропорций и устойчивый негативный характер тенденций регионального развития подтверждают результаты индексного анализа (рис. 4).

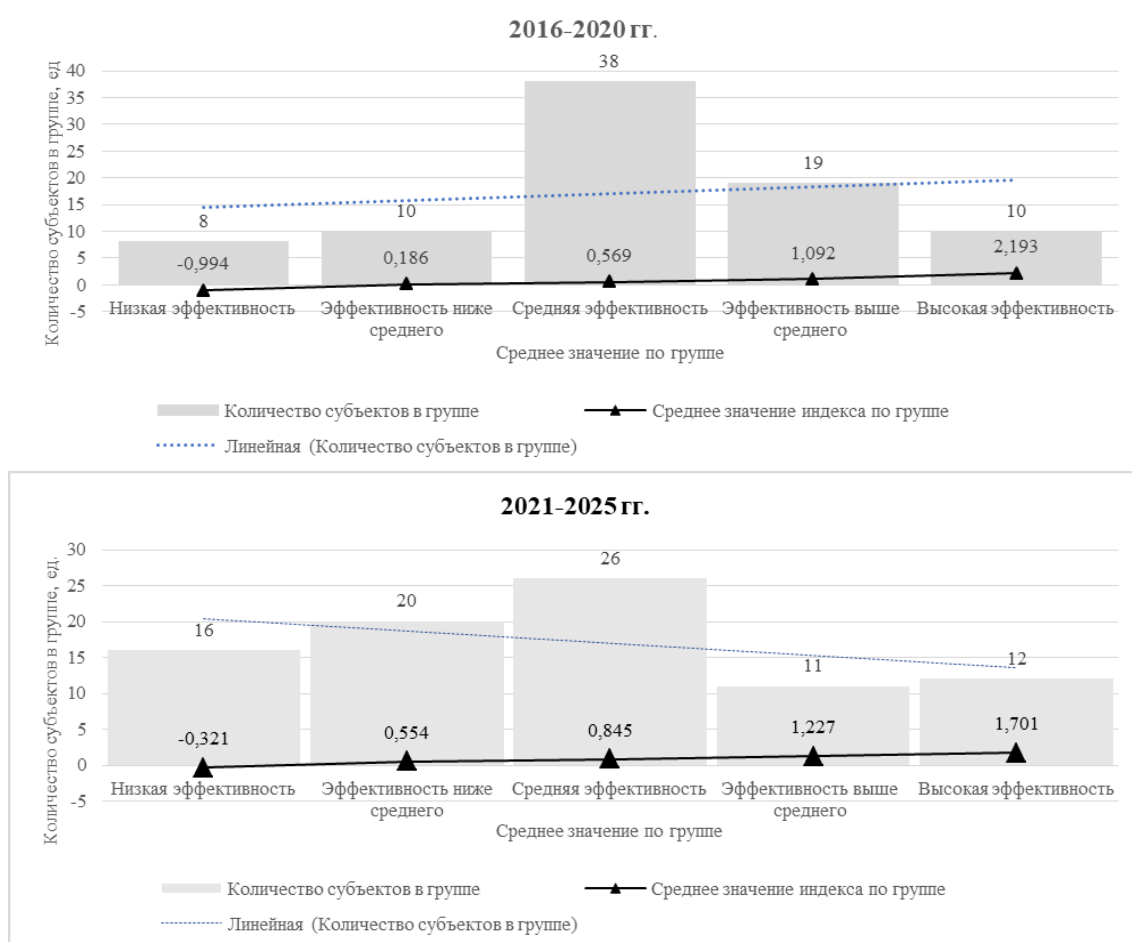


Рис. 4 – Ранжирование субъектов РФ по индексу экономической эффективности развития сельскохозяйственного производства в 2016-2020 годы и 2021-2025 годы

Fig. 4 – Ranking of the constituent entities of the Russian Federation by the index of economic efficiency of agricultural production development in 2016–2020 and 2021–2025

В 2016-2020 годы 67 из 85 субъектов Российской Федерации имели среднюю (38), выше средней (19) и высокую (10) эффективность развития сельскохозяйственного производства. В 2021-2025 гг. численность регионов в указанных классификационных группах сократилась до 49 (26, 11 и 12 соответственно). Таким образом, количество регионов со средним уровнем экономической эффективности

развития сельскохозяйственного производства сократилось на 10 единиц, количество субъектов групп положительной динамики (эффективность выше среднего и высокая) уменьшилось на 6 регионов (с 29 до 23) за счет сокращения на 8 единиц группы регионов с эффективностью выше среднего. Количество регионов с низкой эффективностью и эффективностью ниже среднего увеличилось в 2 раза

(с 8 до 16 и с 10 до 20 в 2016-2020 годы и в 2021-2025 годы соответственно). Усиление межрегионального дисбаланса обосновано увеличением среднего значения индекса экономической эффективности развития сельскохозяйственного производства с 0,569 в 2016-2020 годы до 0,845 в 2021-2025 годы в связи с ростом рентабельности производства продукции сельского хозяйства в РФ с 19,67% до 23,32% [11]. Среднее значение индекса в каждой из классификационных групп также увеличилось, что, свидетельствует о повсеместном повышении экономической эффективности сельскохозяйственного производства. Таким образом, действующие унифицированные меры аграрной политики позволили достичь положительных результатов в аграрной сфере, но, в тоже время, стимулировали усиление региональной дифференциации. Нивелированию выявленных негативных тенденций будет способствовать разработка и реализация типологического инструментария аграрной политики, учитывающего особенности и приоритеты регионального развития.

Финансовое обеспечение аграрной политики осуществляется посредством программного финансирования. Финансовые инструменты аграрной политики Российской Федерации можно структурировать по трем основным категориям: прямые финансовые выплаты (субсидии), кредитные инструменты и инфраструктурные инвестиции, каждая из которых выполняет специфическую функцию в обеспечении устойчивого развития агропромышленного комплекса (АПК) и сельских территорий.

Эффективность прямых субсидий проявляется в достижении конкретных производственных целей: например, за счет целевых выплат удалось увеличить производство сельскохозяйственной продукции в растениеводстве на 15%, что стало одним из ключевых факторов роста общего объема производства на 10,2% по сравнению с базовым 2020 годом. В 2024 году объем федеральных субсидий, перечисленных субъектам РФ, составил 682 миллиарда рублей, что отражает значительное увеличение финансирования по сравнению с 2020 годом (на 41,2%). Эти средства распределяются по принципу софинансирования, при котором регионы должны обеспечить не менее 10–15% от общего объема расходов, что стимулирует ответственность региональных бюджетов.

Доминирующим инструментом финансовой поддержки являются кредитные механизмы, включающие льготные займы с пониженными процентными ставками. Эта форма поддержки оказалась особенно эффективной в стимулировании капитальных вложений: именно за счет льготного кредитования было обеспечено около 60% роста инвестиций в основной капитал, что позволило достичь 103,3% исполнения плана по капитальным вложениям, превысив 1 трлн рублей. Высокая

эффективность кредитных механизмов объясняется их рыночной ориентированностью: в отличие от безвозмездных субсидий, льготные займы требуют от аграрных предприятий соблюдения условий кредитования, что повышает дисциплину использования средств и способствует реализации проектов с положительной экономической отдачей. Льготные кредиты, предоставляемые через АО «Россельхозбанк» и другие уполномоченные банки, имеют пониженные процентные ставки (до 3–5% годовых при ключевой ставке ЦБ РФ в 2024 году на уровне 16-21%) и субсидируются за счет федерального бюджета. Общий объем льготного кредитования в 2024 году достиг 1,3 триллиона рублей, что позволило агропредприятиям реализовать крупные инвестиционные проекты без чрезмерной долговой нагрузки.

Инфраструктурные инструменты включают прямые капитальные вложения государства в развитие производственной базы АПК. Эти вложения имеют долгосрочный характер и формируют предпосылки для устойчивого роста производительности труда, которая с 2020 года увеличилась на 14,3%. Инфраструктурная поддержка также включает строительство хранилищ, дорог и объектов мелиорации, что снижает логистические издержки и повышает конкурентоспособность сельскохозяйственной продукции на внутреннем и внешнем рынках [11].

В мировой практике эффективность аграрной политики оценивается по комплексу показателей: росту ВВП сельского хозяйства, уровню продовольственной самообеспеченности, объемам экспорта, коэффициенту государственной поддержки (PSE — Producer Support Estimate) и рентабельности производства [12].

В российской практике, оценка экономической эффективности финансовых инструментов, как правило, осуществляется через систему макроэкономических мультипликаторов, отражающих прямое и косвенное воздействие на ключевые показатели развития АПК.

Одним из центральных индикаторов является индекс импортозамещения [13]. В 2024 году индекс составил 117% по сравнению с уровнем 2023 года за счет сокращения импортных поставок в таких секторах, как семеноводство, ветеринарные препараты и сельскохозяйственная техника. Однако уровень импортозамещения по отрасли сельского хозяйства в 2024 году составил 21%, что все еще ниже, чем по другим отраслям экономики. Индекс роста заработной платы в сельском хозяйстве, 1,23 в 2024 году, один из самых высоких в экономике страны. Эффект обусловлен как ростом производительности, так и увеличением капиталоемкости производства, что повышает спрос на квалифицированный труд.

Россия укрепила свои позиции как ведущий экспортер пшеницы, замороженной

рыбы, растительного и рапсового масла, а также демонстрирует стремительный рост поставок сахара (в три раза), растительного масла (на 50%) и муки (более 1 млн тонн, рост на 25% в год). Все это обусловило положительную динамику экспортного мультипликатора.

Сравнительный анализ эффективности различных инструментов позволяет выявить их дифференцированное воздействие. Льготные кредиты, несмотря на их доминирующий объем, демонстрируют наибольшую отдачу в сфере капитальных вложений и модернизации производственных мощностей, тогда как прямые субсидии оказались более эффективными в стимулировании текущего производства, особенно в растениеводстве. Инфраструктурные инвестиции имеют более длительный

временной лаг, формируют фундаментальные предпосылки для долгосрочного роста и повышения устойчивости сельских территорий. Эффективность инструментов варьируется в зависимости от региональных условий, уровня развития кооперации и доступа к рынкам, что требует дифференцированного подхода в распределении ресурсов.

Критика финансовых механизмов, в первую очередь, связана с вопросами фискальной устойчивости и потенциальной перекрестной субсидии между секторами. Для оценки эффективности инструментов аграрной политики, нами разработана диагностическая матрица, отражающая отношение объема финансирования и экономического воздействия (рис.5).

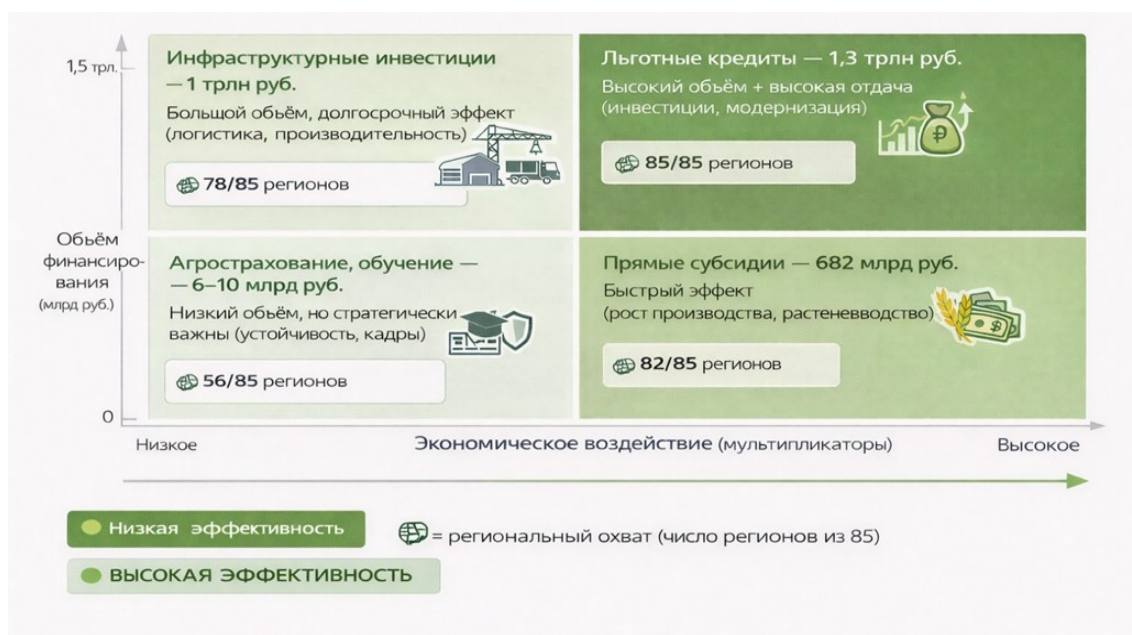


Рис. 5 – Матрица оценки эффективности инструментов аграрной политики в 2024 году
Fig. 5 – Matrix for assessing the effectiveness of agrarian policy instruments in 2024

Матрица представляет собой квадрант, где по вертикальной оси отражается финансовый масштаб инструмента в миллиардах рублей, а по горизонтальной — охват и экономическое воздействие. Интенсивность цвета в ячейках матрицы указывает на степень охвата инструмента по регионам: например, льготные кредиты имеют высокую интенсивность (охват всех 85 субъектов РФ), в то время как отдельные субсидии сосредоточены в 40–50 регионах. В матрице также отражены траектории развития ключевых инструментов до 2030 годы, основанные на прогнозах, заложенных в Госпрограмму развития АПК, включая цели роста производства на 25%, экспорта — на 50% и инвестиций — на 60%.

Приведенные положительные тенденции в развитии АПК в целом свидетельствуют об эффективности действующих механизма и инструментов аграрной политики. Однако сохраняются вызовы, связанные с неравномерностью распределения ресурсов между

регионами, недостаточной прозрачностью распределения субсидий и зависимостью от централизованных решений в условиях быстро меняющейся внешней среды.

Выводы. Подтверждено, что архитектура аграрной политики эффективна, что выражается в росте PSE, экспорта, индекса экономической эффективности развития сельскохозяйственного производства в РФ.

С помощью авторской матрицы выявлено, что инструменты аграрной политики имеют разнонаправленное воздействие: кредиты — на капиталовложения, субсидии — на текущее производство, агрострахование — на устойчивость деятельности, инфраструктурные инвестиции — на повышение эффективности сельскохозяйственного производства. Более высоким экономическим воздействием обладают льготные кредиты и прямые субсидии. Агрострахование и инфраструктурные инвестиции обеспечивают долгосрочный эффект и носят стратегический характер для устойчивого развития

сельского хозяйства и сельских территорий.

Путем индексного анализа с использованием авторского подхода, основанного на расчете индекса экономической эффективности развития сельскохозяйственного производства, подтвержден вывод о достижении положительных результатов в аграрной сфере: индекс экономической эффективности развития сельскохозяйственного производства в РФ в 2016-2025 годы увеличился с 0,569 до 0,845 в связи с ростом рентабельности производства продукции сельского хозяйства в РФ с 19,67% до 23,32%.

Установлено, что 14% регионов получают основной объем государственной поддержки. Дисбаланс распределения средств государственной поддержки негативно отражается на показателях регионального развития: в 2016-2025 годы количество регионов,

имеющих средний, выше среднего и высокий уровень эффективности развития сельскохозяйственного производства сократилось с 67 до 49. Выявленный дисбаланс требует нормативного и институционального совершенствования аграрной политики, в том числе корректировки нормативно-правовой базы в части критериев предоставления государственной поддержки; актуализации актов стратегического планирования с учетом современных геополитических особенностей регионального развития; совершенствования методологии оценки эффективности распределения субсидий, включая оценку добавленной стоимости на рубль бюджетных средств и проведение комплексных кост-бенефит анализов по каждому типу инструмента с использованием методов панельной эконометрики и пространственной статистики.

Литература

1. Кибиров А. Я. Механизм адаптации организаций АПК к условиям экономических санкций: вызовы и пути их преодоления // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2023. № 7. С. 12-18. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-7-12-18.
2. Improving the environmental management system to ensure sustainable development of the agricultural sector in a circular economy / A. I. Solodovnik, V. I. Savkin, O. V. Sidorenko, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2021 года. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. P. 022038. doi: 10.1088/1755-1315/981/2/022038.
3. Нечаев В. И., Санду И.С., Михайлушкин П.В. Особенности реализации стратегических направлений инновационного развития аграрного сектора экономики России в современных геополитических условиях // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 1. С. 24-34. doi: 10.32651/231-24.
4. Видеоотчет об итоговом заседании коллегии Министерства сельского хозяйства от 27 мая 2025 года. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации офиц.сайт - URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/videos/itogovoe-zasedanie-kollegii-minselkhoza-rossii-2025/> (Дата обращения 05.02.2026)
5. Экспорт как этап дальнейшей реализации политики импортозамещения / О. В. Святова, Д. И. Жилияков, Ю. В. Плахутин и др. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5(383). С. 41-45. doi: 10.24412/2587-6740-2021-5-41-45.
6. Аграрный экспорт регионов России - 2024. Отчет федерального центра «Агроэкспорт» офиц.сайт - URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2025/04/agrarnyj-eksport_regionov_rf_2024.pdf (Дата обращения 16.05.2026)
7. Ретроспективный анализ интенсификации технологического развития предприятий АПК / А. Ф. Дорофеев, Д. И. Жилияков, О. В. Петрушина и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 103. С. 35-44. doi: 10.21515/1999-1703-103-35-44.
8. Кибиров А. Я. Межотраслевые отношения в АПК: вопросы теории и практики // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2024. № 4(110). С. 36-43. doi: 10.33938/244-36.
9. Санду И. С., Кулов А. Р., Рыженкова Н. Е. Стратегические направления совершенствования институтов инвестиционно-инновационного развития АПК // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 6(100). С. 178-186. doi: 10.33938/236-178.
10. Стратегические подходы и методы отраслевого и территориального планирования аграрного сектора / Н. Г. Барышников, Д. Ю. Самыгин, Д.И. Жилияков и др. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2025. № 1(403). С. 90-94. – doi: 10.55186/25876740_2025_68_1_90.
11. Единая межведомственная информационно-статистическая система ЕМИСС офиц.сайт - URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/43008> (Дата обращения 05.02.2026)
12. Мониторинг и оценка сельскохозяйственной политики в 2024 году [Электронный ресурс] - URL: https://www.oecd.org/en/publications/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation-2024_74da57ed-en/full-report/component-7.html#chapter-d1e15204-a8ada77817 (Дата обращения 05.02.2026)
13. Sidorenko O., Buraeva E., Shabannikova N. Fixed assets reproduction and efficiency of their use in the context of the development of innovative and investment activities in the agrarian sector of the economy // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 279. P. 03016. doi: 10.1051/e3sconf/202127903016.

References

1. Kibirov AYa. [Mechanism of adaptation of agricultural organizations to the conditions of economic sanctions: challenges and ways to overcome them]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii*. 2023; 7. 12-18 p. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-7-12-18.
2. Solodovnik AI, Savkin VI, Sidorenko OV. Improving the environmental management system to ensure sustainable development of the agricultural sector in a circular economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18-20 noyabrya 2021 goda*. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd. 2022; 022038 p. doi: 10.1088/1755-1315/981/2/022038.
3. Nechaev VI, Sandu IS, Mikhaylushkin PV. [Features of implementation of strategic directions of innovative development of agricultural sector of the Russian economy in modern geopolitical conditions]. *Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii*. 2023; 1. 24-34 p. doi: 10.32651/231-24.

4. Video report on the final meeting of Ministry of Agriculture Board on May 27, 2025. [Internet]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. [cited 2026, February 05]. Available from: <https://mcx.gov.ru/press-service/videos/itogovoe-zasedanie-kollegii-minselkhoza-rossii-2025/>
5. Svyatova OV, Zhilyakov DI, Plakhutina YuV. [Export as a stage in the further implementation of import substitution policy]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2021; 5(383). 41-45 p. doi: 10.24412/2587-6740-2021-5-41-45.
6. Agricultural Exports of Russian Regions - 2024. [Internet]. Report of "Agroexport" federal center. [cited 2026, May 16]. Available from: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2025/04/agrarnyj-eksport_regionov_rf_2024.pdf
7. Dorofeev AF, Zhilyakov DI, Petrushina OV. [A retrospective analysis of the intensification of technological development of agricultural enterprises]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; 103. 35-44 p. doi: 10.21515/1999-1703-103-35-44.
8. Kibirov AY. [Intersectoral relations in agriculture: theoretical and practical issues]. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2024; 4(110). 36-43 p. doi: 10.33938/244-36.
9. Sandu IS, Kulov AR, Ryzhenkova NE. [Strategic directions for improving the institutions of investment and innovative development of agro-industrial complex]. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2023; 6(100). 178-186 p. doi: 10.33938/236-178.
10. Baryshnikov NG, Samygin DY, Zhilyakov DI. [Strategic approaches and methods of sectoral and territorial planning of agricultural sector]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2025; 1(403). 90-94 p. – doi: 10.55186/25876740_2025_68_1_90.
11. Unified interdepartmental information and statistical system. [Internet]. EMISS. [cited 2026, February 05]. Available from: <https://www.fedstat.ru/indicator/43008>
12. Monitoring and evaluation of agricultural policy in 2024. [Internet]. OECD. [cited 2026, February 05]. Available from: https://www.oecd.org/en/publications/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation-2024_74da57ed-en/full-report/component-7.html#chapter-d1e15204-a8ada77817
13. Sidorenko O, Buraeva E, Shabannikova N. Fixed assets reproduction and efficiency of their use in the context of the development of innovative and investment activities in the agrarian sector of the economy. *E3S Web of Conferences*. 2021; Vol.279. 03016 p. doi: 10.1051/e3sconf/202127903016.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Петрушина Ольга Вячеславовна - кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов Курского государственного аграрного университета имени И.И. Иванова (305021, Российская Федерация, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70), e-mail: petao@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7550-8173

Жиляков Дмитрий Иванович - доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры бухгалтерского учета и финансов Курского государственного аграрного университета имени И.И. Иванова (305021, Российская Федерация, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70), e-mail: zhilyakov@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4190-7015

Кошман Никита Николаевич - аспирант кафедры бухгалтерского учета и финансов Курского государственного аграрного университета имени И.И. Иванова (305021, Российская Федерация, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70), e-mail: koshman.nickita718@gmail.com, ORCID 009-02-4300-8750

Вклад авторов:

О.В. Петрушина – разработка концепции исследования, описание ключевых результатов и описание выводов;

Д.И. Жиляков – общее руководство исследованием;

Н.Н.Кошман – сбор и обработка статистической информации, редактирование текста.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 06.02.2026; одобрена после рецензирования 10.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Petrushina Olga Vyacheslavovna – Ph.D. of Economics Sciences, Associate Professor of Accounting and Finance Department Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov (70 Karl Marx Street, Kursk, 305021, Russian Federation), e-mail: petao@yandex.ru, ORCID 0000-0001-7550-8173

Zhilyakov Dmitriy Ivanovich - Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of Accounting and Finance Department Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov (70 Karl Marx Street, Kursk, 305021, Russian Federation), e-mail: zhilyakov@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4190-7015

Koshman Nikita Nikolaevich – post-graduate student of Accounting and Finance Department Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov (70 Karl Marx Street, Kursk, 305021, Russian Federation), e-mail: koshman.nickita718@gmail.com, ORCID 009-02-4300-8750

Contribution of the authors:

O.V. Petrushina – Development of the research concept, Description of the key results, and formulation of the conclusions;

D.I. Zhilyakov – General research supervision;

N.N. Koshman – Collection and processing of statistical data, Text editing.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 06.02.2026; revised 10.06.2026; accepted 25.06.2026.



ВЛИЯНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В РЕГИОНАХ РФ

© 2026 Сафиуллин М. Р.¹, Ельшин Л. А.^{1,2,3} ✉, Колесникова Ю. С.¹, Кулагин Р. В.¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет
(г. Казань, Российская Федерация)

²Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан
(г. Казань, Российская Федерация)

³Университет управления ТИСБИ
(г. Казань, Российская Федерация)

✉ Leonid.Elshin@tatar.ru

Реферат. Развитие технологического уровня сельского хозяйства Российской Федерации определяет не только эффективность производства, но и возможность достижения независимости от импорта агропромышленного комплекса страны. Приоритетным также становится вопрос роста экономической эффективности сельского хозяйства. Новизна исследования заключается в установлении новых связей: влияние селекционных достижений на выпуск сельскохозяйственной продукции, с одной стороны, и влияние рентабельности продаж сельскохозяйственной продукции на применение селекционных достижений, с другой стороны. Рассмотрены данные по группе регионов, которые в значительной мере специализированы на сельскохозяйственном производстве, так и группе прочих регионов, в которых при этом регулярно регистрировали применение селекционных достижений за период 2017-2024 годы. Проведенный экономико-статистическими методами анализ указал на различия у двух групп регионов в структуре факторов, формирующих активность по внедрению новых селекционных достижений. Так, с помощью применения метода оценки казуальности Грэнджера, доказано наличие односторонней причинно-следственной связи динамики числа применений селекционных достижений и темпов роста выпуска сельскохозяйственной продукции в выборке аграрных регионов (при лаге 1 р-значение составило 0,0352, при лаге 2 – 0,0751). При этом для выборки не аграрных регионов было доказано отсутствие такой статистически значимой причинно-следственной связи. Рентабельность продаж животноводческих и растениеводческих предприятий оказывают статистически значимое влияние на активность по применению селекционных достижений в аграрных регионах (30,4 единицы на 1% дополнительный рентабельности), а характеристики общего исследовательского сектора региональных экономик оказывают значимое воздействие только в выборке не аграрных регионов, так дополнительный миллион рублей к фондовооруженности персонала исследований и разработок увеличивает применение селекционных достижений на 3,4 ед. Полученные результаты исследования позволяют уточнить направления государственной поддержки – необходимость сочетания селекционно-семеноводческих производств и научно-исследовательской базы в аграрных регионах, развитие механизмов трансферта научных результатов в производство.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, селекционное достижение, человеческий капитал, сельское хозяйство.

Для цитирования: Влияние селекционных достижений на развитие региональных программ импортозамещения в регионах РФ / М.Р. Сафиуллин, Л.А. Ельшин, Ю.С. Колесникова, Р.В. Кулагин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 175-183. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-175-183

IMPACT OF BREEDING ADVANCES ON THE DEVELOPMENT OF REGIONAL IMPORT SUBSTITUTION PROGRAMS IN THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

© 2026 Safiullin M. R.^a, Elshin L. A.^{a,b,c} ✉, Kolesnikova Yu. S.^a, Kulagin R. V.^a

^aKazan (Volga Region) Federal University
(Kazan, Russian Federation)

^bCenter for advanced economic research of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan
(Kazan, Russian Federation)

^cTISBI University of Management
(Kazan, Russian Federation)

✉ Leonid.Elshin@tatar.ru

Abstract. Development of technological advances in agriculture in the Russian Federation determines not only production efficiency, but also the potential for the country's agro-industrial complex to achieve import independence. Improving the economic efficiency of agriculture is also becoming a priority. The novelty of this study lies in the establishment of new relationships: the impact of breeding advances on agricultural output, on the one hand, and the impact of agricultural sales profitability on the

application of breeding advances, on the other. Data are examined for a group of regions that are largely specialized in agricultural production, as well as a group of other regions that regularly registered the application of breeding advances for the period 2017-2024. An analysis conducted using economic and statistical methods revealed differences in the structure of factors shaping the adoption of new breeding advances between the two groups of regions. Using Granger causality method, a one-way causal relationship was demonstrated between the dynamics of breeding advances' adoption and the growth rate of agricultural output in a sample of agricultural regions (at lag 1, the p-value was 0.0352; at lag 2, it was 0.0751). However, no such statistically significant causal relationship was demonstrated for the sample of non-agricultural regions. The profitability of livestock and crop production enterprises has a statistically significant impact on the application of breeding achievements in agricultural regions (30.4 units per 1% additional profitability). However, characteristics of the general research sector of regional economies have a significant impact only in the sample of non-agricultural regions, since an additional million rubles in the capital-labor ratio of research and development personnel increases the application of breeding achievements by 3.4 units. The obtained results of the study allow us to refine the focus of state support, including the need to combine breeding and seed production with a research base in agricultural regions and the development of mechanisms for transferring scientific results to production.

Key words: intellectual property, breeding achievement, human capital, agriculture.

For citation: Safiullin MR, Elshin LA, Kolesnikova YuS, Kulagin RV. [Impact of breeding advances on the development of regional import substitution programs in the regions of the Russian Federation]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol. 21. 2(82). 175-183 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-175-183

Введение. Традиционно аграрный сектор характеризуется ограниченным использованием результатов интеллектуальной деятельности. В сельском, лесном хозяйстве, охоте и рыболовстве доля нематериальных активов составляет только 6,1% от общего объема нематериальных активов по всей экономике РФ [1]. Так, на конец 2024 года в РФ было 2030 единиц используемых селекционных достижений [2]. Между тем, по нашему мнению, активизация использования селекционных достижений позволила бы повысить рентабельность растениеводства и животноводства регионов, а также частично решить вопрос зависимости, например, от импорта семенного материала. Для регионов с неблагоприятными климатическими условиями селекционные достижения становятся основой устойчивости агропроизводства. Существует ряд факторов, которые ограничивают внедрение и коммерциализацию селекционных достижений – большие временные лаги для разработки, долгая окупаемость, сложности с наследованием прав, нехватка квалифицированных кадров и др.

Исследования Велибекова Л.А., а также Саратцевой Е.А. и Дабахова М.В. указывают на то, что расширение агропромышленного производства требует наличия собственной селекционной, научно-технической базы, обеспечивающей интенсификацию сельского хозяйства при учете природно-климатических особенностей регионов Российской Федерации [3, 4].

При этом, исследование Сайфетдинова А.Р. и др. отмечает недостатки существующей системы вознаграждения селекционеров за использование репродукционных семян в производстве [5, 6]. Криничная Е.П., рассматривая эту проблему, предполагает, что низкая инвестиционная привлекательность селекционно-семеноводческой отрасли может быть причиной значительной зависимости от импорта семян зарубежной селекции. Автор также отмечает, что импорт семян создает

проблему для продовольственной безопасности из-за ввоза неакклиматизированного посадочного материала [7]. Это обуславливает зависимость развития сельского хозяйства от активного государственного участия.

Одним из важных изменений в этой области является принятие программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, включающей подпрограмму «Создание отечественного конкурентоспособного кросса мясных кур в целях получения бройлеров». Программа нацелена на: «обеспечение отраслей агропромышленного комплекса актуальными научными разработками и технологиями», что означает работу по стимулированию предприятий повышать технологический уровень сельскохозяйственных производств. Программа также имеет целью создание нового, собственного кросса мясных кур, отличающегося высокой продуктивностью и жизнеспособностью [8]. Этому предшествовало создание и введение в производство отечественного кросса мясных кур «Смена 9» в Московской области, в рамках Федеральной научно-технической программы сельского хозяйства на 2017-2025 годы [9].

Сеитов С.К. указывает на необходимость государственного участия, ввиду низкого уровня активности по разработке и регистрации селекционных достижений [10]. Автор также отмечает, что малые сельскохозяйственные предприятия отображают существенно более низкую инновационную активность, объясняя это недостатком квалификации и стратегического планирования. Эти два вывода вместе могут указывать на значительное влияние эффекта масштаба на уровень активности по адаптации и внедрению селекционных достижений в производство.

В части системы транзита результатов НИР от исследовательских организаций к производству, исследование Сайфетдинова А.Р. отмечает проблему, заключающуюся в том, что научно-исследовательские организации

ограничены в определении хозяйствующих субъектов, которые могли бы обеспечить наиболее эффективную реализацию селекционных достижений [11]. Это может увеличивать значение того, в каком регионе локализованы научно-исследовательские организации, селекционно-семеноводческие центры и предприятия сельского хозяйства. Алексеев К.И. и др. отмечают другую проблему, ограничивающую интенсивность внедрения селекционных достижений – это стоимость объектов интеллектуальной собственности (далее – ОИС) для сельскохозяйственных организаций и стоимость материально-технических средств для предприятий селекционной и семеноводческой отрасли [12]. Это также определяет значение финансового положения и уровня рентабельности предприятий агропромышленного комплекса. Исследования Дмитриева К.С., а также Солдатенко А.В. и Аварского Н.Д. отмечают необходимость государственного участия в области материально-технического обеспечения селекционных предприятий повышения эффективности их производственных процессов [13, 14].

Роль локализации в определении уровня активности по разработке и внедрению новых технологий в сельское хозяйство отмечается и в исследовании Херманс Т.Д. и др. Исследователи указывают на наличие линейной диффузии новшеств в организациях сельского хозяйства, формирующейся от внешних эффектов переливов знаний, наблюдаемых в близко локализованных фермерских сообществах [15]. Исследование Мэсай М. и др. дополняет представление о линейной диффузии знаний среди фермеров факторами ожидаемой простоты внедрения инноваций [16]. Исследования Риццо Г.,

Карри Дж. и др., а также Стронг Р. и др., также подчеркивают роль факторов локализации в обеспечении распространения знаний и их принятия предприятиями сельского хозяйства [17, 18, 19].

Региональная дифференциация по уровню указанной активности зависит не только от климатических условий ведения сельского хозяйства, но и от близкой локализации как организаций сельского хозяйства, так и научно-исследовательских организаций. Вместе с тем, человеческие и финансовые ресурсы НИР чаще концентрируются в крупных городских агломерациях, вне аграрных регионов. Мы предполагаем, что совокупность факторов, формирующих активность по внедрению селекционных достижений должна варьироваться в зависимости от масштаба сельскохозяйственного комплекса региона. В большей мере это должно проявляться в характере и интенсивности влияния затрат на сельскохозяйственные НИР.

Таким образом, целью предложенного далее исследования является выявление взаимосвязи между частотой применения селекционных достижений и изменений объемов производства сельскохозяйственной продукции в разных группах регионов (аграрных и не аграрных), а также оценка влияния рентабельности сельскохозяйственных производств, оснащенности региональных исследовательских секторов человеческими и финансовыми ресурсами, а также человеческого капитала региона.

Следует отметить наблюдаемую дифференциацию федеральных округов РФ распределения по показателю частоты применения селекционных достижений (рис.).

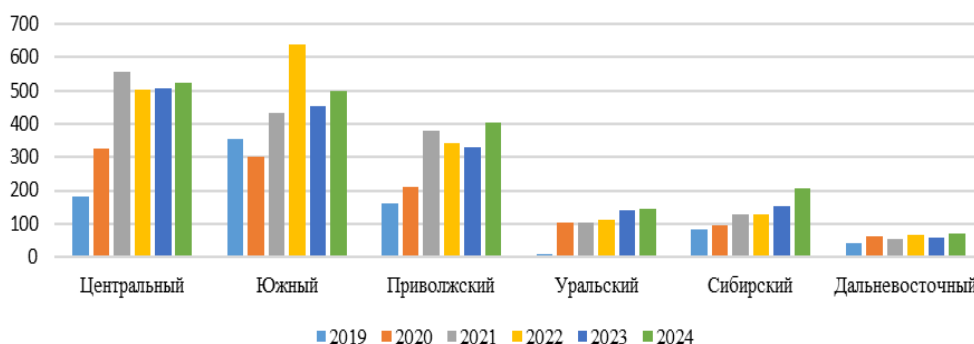


Рис. – Распределение селекционных достижений по федеральным округам

Fig. — Distribution of breeding achievements across federal districts

Составлено по данным источников [2]

Compiled based on data from sources [2]

Условия, материалы и методы. В статье исследуется совокупность факторов, описывающих технологическое изменение сельского хозяйства региона, аппроксимируемое двумя зависимыми переменными – это число применений селекционных достижений в регионе (Y), а также число применений селекционных достижений, приходящееся на каждый

млрд. руб. производства сельскохозяйственных продуктов (Y/Q) [2, 20]. Последний показатель позволяет оценить воздействие факторов, с исключением эндогенного воздействия масштабов отраслей сельскохозяйственного вида экономической деятельности (далее – ВЭД).

Число применений рассматриваемого вида

ОИС, регистрируется с 2017 года по 33 регионам. Исследуемый в моделях период включает временной интервал с 2017 по 2024 годы.

Для целей исследования регионы были разделены на 2 группы. В первую очередь – это условно аграрные регионы, в которых, в стоимостном выражении, в среднем за период с 2017 по 2024 годы, производилось более 1,5% всей сельскохозяйственной продукции. В эту группу вошли 16 регионов, это: Республика Башкортостан, Татарстан, а также Ростовская, Волгоградская, Тамбовская, Московская, Липецкая, Воронежская, Брянская, Челябинская, Омская, Саратовская области, Ставропольский, Алтайский, Красноярский и Краснодарский края. Группа не аграрных регионов включает: Сахалинскую, Амурскую, Кировскую, Томскую, Курганскую, Свердловскую, Тюменскую, Владимирскую, Рязанскую, Смоленскую, Тверскую и Астраханскую области, Республики Коми, Мордовия, Крым, Приморский, Хабаровский края.

Для оценки параметров было собрано 4 модели, описывающие динамику числа применений селекционных достижений. Источником данных для количественного анализа послужили статистические сборники, публикуемые Федеральной службой статистики и Федеральным институтом промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности «Роспатент». Были сформированы и оценены модели, описывающие факторы абсолютной (Y) и относительной (Y/Q) частоты применений селекционных достижений в аграрных регионах (модель 1 и модель 2, соответственно). Также, это модели, описывающие факторы в не аграрных регионах (модель 3 и модель 4, соответственно).

Проверка переменных на стационарность проведена методами Левина, Ли и Чу, а также АДФ-Фишера хи-квадрат и ПП-Фишера хи-квадрат. Для контроля межрегиональной дифференциации по рассматриваемым показателям, а также для устранения возможности воздействия от эндогенности, оценка параметров регрессии была проведена с помощью оценки 2-х шаговым методом наименьших квадратов с фиксированными эффектами, весами для кросс-секций и инструментальной оценкой факторов. Исследование распределения ошибок моделей проведено с помощью метода Джаркье-Беры.

Таблица 1 – Исследование причинно-следственной связи числа применений селекционных достижений и роста выпуска сельскохозяйственной продукции

Table 1 — Study of the cause-and-effect relationship between the number of applications of breeding achievements and the growth in agricultural output

Парный тест причинности Грэнджера					
1	2	3	4	5	6
	лаг	Набл.	F-стат.	p-знач.	
Выборка: аграрные регионы					
$d\ Q$ не является причиной Y	1	96	3,05851	0,0836	коэф. коррел. Пирсона: 0,283
Y не является причиной $d\ Q$			1,30618	0,2560	
$d\ Q$ не является причиной Y	2	80	1,03691	0,3596	
Y не является причиной $d\ Q$			2,58550	0,0821	
$d\ Q$ не является причиной Y	3	64	1,69740	0,1778	
Y не является причиной $d\ Q$			2,96391	0,0396	

Так как оцениваемые модели включают группы разных регионов, для аппроксимации воздействия факторов, были использованы объясняющие переменные, которые можно разделить на три группы.

Первая группа показателей описывает характеристики сельскохозяйственного комплекса – это уровень рентабельности растениеводства ($ROS1$, %) и животноводства ($ROS2$, %) [21]. Характер воздействия уровня рентабельности сельского хозяйства должен определить источник мотивации к усилиям по внедрению новых селекционных достижений. Обратное воздействие должен оказывать показатель нормы доходности капитала – это отношение валовых и смешанных доходов в экономике к стоимости основных фондов (K , %) [22, 23].

Другая группа факторов – это уровень человеческого капитала региона. Воздействие человеческого капитала региона аппроксимирует показатель средней заработной платы, очищенный от инфляционного влияния соотношением со стоимостью прожиточного минимума в регионе (Ern) [24, 25].

На примере выборки не аграрных регионов проверяется предположение о том, что в регионах с относительно более низкой вовлеченностью в сельское хозяйство, частота применений сельскохозяйственных ОИС зависит от факторов, характеризующих общее состояние исследовательского сектора региональной экономики. Воздействие этих факторов аппроксимируют показатели отношения внутренних затрат на исследования и разработки к численности персонала НИИ (RE , млн. руб. / чел.), а также относительный темп роста числа исследований (d_RDE) [26, 27].

Результаты и обсуждение. С помощью парного теста Грэнджера, отдельно для выборок аграрных и не аграрных регионов, было проведено соотнесение показателей логарифма числа применений селекционных достижений и изменения объемов производства сельскохозяйственной продукции, абсолютном выражении (табл. 1). Для минимизации воздействия корреляционной связи были использованы число применений селекционных достижений (Y) и первая разность объемов производства сельскохозяйственной продукции (d_Q , млн. руб.).

Продолжение таблицы 1 / Table 1 (continued)

1	2	3	4	5	6	7
Выборка: не аграрные регионы						
d_Q не является причиной Y	1	102	1,46009	0,2298		коэф. коррел. Пирсона: 0,058
Y не является причиной d_Q			3,28144	0,0731	*	
d_Q не является причиной Y	2	85	0,41039	0,6648		
Y не является причиной d_Q			1,00629	0,3702		
d_Q не является причиной Y	3	68	0,18817	0,9041		
Y не является причиной d_Q			0,65683	0,5818		

Рассчитано по данным источников [2, 20]

Calculated based on data from sources [2, 20]

Результаты указывают на то, что только в выборке аграрных регионов динамика частоты применений селекционных достижений существенным образом воздействует на изменение объемов сельскохозяйственных производств. При

этом, такое влияние является односторонним, и наиболее значимо в долгосрочной перспективе.

Результаты оценок параметров моделей, описывающих уровень инновационной активности представлены далее (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты оценок параметров моделей, описывающих частоту применений селекционных достижений

Table 2 — Results of parameter estimates for models describing the frequency of applications of breeding achievements

2-х шаговый обобщенный МНК (FE-GLS) с весами поперечного сечения и фиксированными эффектами				
Переменная:	1 Модель	2 Модель	3 Модель	4 Модель
	зав. пер: Y	зав. пер: Y/Q	зав. пер: Y	зав. пер: Y/Q
	набл: 128, пр.об.: 16	набл: 128, пр.об.: 16	набл: 119, пр.об.: 17	набл: 119, пр.об.: 17
const.	-16,535	0,229	-30,957	-0,093
	[7,803]	[0,062]	[13,145]	[0,112]
	(**)	(***)	(**)	(*)
K	-66,897	-0,580	-26,971	-1,183
	[28,011]	[0,108]	[25,191]	[0,426]
	(**)	(***)	(-)	(***)
ROS1	58,856			
	[34,869]			
	(*)			
ROS2	30,382			
	[10,703]			
	(***)			
Ern	18,738	0,023	8,631	0,075
	[4,227]	[0,013]	[3,272]	[0,036]
	(***)	(*)	(**)	(**)
RE			3,377	0,073
			[2,490]	[0,031]
			(**)	(**)
d_RDE			13,703	0,182
			[6,863]	[0,102]
			(*)	(*)
Взвешенная статистика:				
R ²	0,856	0,896	0,652	0,636
Исп. R ²	0,831	0,876	0,581	0,562
Не взвешенная статистика:				
R ²	0,758	0,687	0,573	0,594
Проверка стационарности распределения ошибок:				
Джаркье-Бера	0,09857	3,75442	1,95463	0,71500
P-Знач.	0,9519	0,1531	0,3763	0,6994

Прим.: [] – станд. ошибка, () – значимость на 1, 5 и 10% уровнях

Рассчитано по данным источников

Note: [] — standard error; () — significance at the 1 %, 5 %, and 10 % levels

Calculated based on data from sources

Положительное и значимое воздействие на частоту применений селекционных достижений уровня рентабельности сельского хозяйства (ROS1, ROS2) указывает на то, что изменение технологического уровня данного ВЭД в большей мере зависит от уровня финансового благосостояния предприятий, нежели стремлением к сохранению конкурентных преимуществ. Отрицательное воздействие общей нормы доходности (K) указывает на то, что инвестиции в адаптацию и применение новых селекционных достижений испытывает ограничивающее воздействие от издержек альтернативного выбора инвестиций.

На основе оцененного определяющего влияния на зависимую переменную в обеих группах регионов показателя человеческого капитала (Ern) и капиталовооруженности персонала НИР в не аграрных регионах (RE), можно сделать два альтернативных, но не противоречащих друг другу вывода. Применение селекционных достижений может быть точкой роста и развития сельскохозяйственных отраслей при развитии исследовательского сектора не аграрных регионов. Другой вывод вытекает из значимого влияния изменения числа исследователей (d_RDE) – применение селекционных достижений может быть основано на использовании данного ОИС для дальнейшей разработки новых технологий и способов производства. Таким образом, поддержка и стимулирование сферы сельскохозяйственных НИР в не аграрных регионах может способствовать как росту технологического уровня внутри регионов, так и передаче результатов НИР субъектам, за пределами регионов (в аграрные регионы).

Выводы. Результаты проведенного количественного анализа позволяют сделать несколько выводов, относящихся к вопросам развития импортозамещения продукции селекционно-семеноводческой отрасли и дальнейшего укрепления продовольственной безопасности страны.

Поддержка исследований и мероприятий, нацеленных на внедрение и адаптацию селекционных достижений должна быть в первую очередь направлена на аграрные регионы, где наблюдается взаимосвязь уровня экономической эффективности и внедрения новых технологий. В дополнение к этому, было установлено, что применение сельскохозяйственных ОИС значимым образом формируют объемы производства в аграрных регионах. Указанные взаимосвязи не наблюдаются в не аграрных регионах. Вместе с тем, только в не аграрных регионах частота применений селекционных достижений значимым образом эластична к показателям, характеризующим региональный исследовательский сектор. Все это вместе указывает на необходимость развития исследовательских секторов аграрных регионов и стимулирования роста человеческого капитала, для более близкой локализации исследовательских центров и предприятий агропромышленного комплекса.

При сохранении эндогенного влияния на частоту применений ОИС объемов выпуска сельскохозяйственной продукции значимую роль играют показатели финансового состояния производителей агропромышленного комплекса. Также необходимо указать на то, что в аграрных регионах, в отличие от других исследуемых в статье регионов, не наблюдается значимого влияния на частоту применения селекционных достижений факторов человеческого капитала и уровня развития регионального исследовательского сектора. Это может быть вызвано недостатком уровня развития исследовательских секторов аграрных регионов. Государственная политика по стимулированию внедренческой активности в сельском хозяйстве должна включать не только точечную поддержку отдельных исследовательских программ и селекционно-семеноводческих предприятий, но и усилия по комплексному развитию сферы исследований и разработок в аграрных регионах.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики. Нематериальные активы с 2017 г. Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://fedstat.ru/indicator/58245> (дата обращения: 11.06.2026).
2. Статистическая информация об использовании объектов интеллектуальной собственности. Федеральный институт промышленной собственности. Статистическая база данных Федеральной службы по интеллектуальной собственности «Роспатент». URL: <https://new.fips.ru/about/deyatelnost/sotrudnichestvo-s-regionami-rossii/statisticheskaya-informatsiya-ob-ispolzovanii-intellektualnoy-sobstvennosti.php> (дата обращения: 11.06.2026).
3. Велибекова Л.А. Повышение эффективности производства и промышленной переработки плодово-ягодной продукции на основе интенсификации // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. №5 (389). С.511-516. doi: 10.55186/25876740_2022_65_5_511.
4. Саратцева Е.А., Дабахов М.В. Органическое сельское хозяйство: перспективы развития в России с учетом международного рынка // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2024. №2. С.136-146. doi: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-136-146.
5. Сайфетдинов А.Р., Бершицкий Ю.И., Сайфетдинова П.В. Проблемы и пути повышения эффективности механизмов распределения доходов от использования отечественных селекционных достижений в растениеводстве // АПК: экономика, управление. 2023. №11. С.78-89. doi: 10.33305/2311-78.
6. Сайфетдинов А.Р. Теоретические аспекты организации инновационного развития сельского хозяйства при восстановлении отраслевого технологического суверенитета // АПК: экономика, управление. 2024. №7. С.46-56. doi: 10.33305/247-46.
7. Криничная Е.П. Современное состояние отрасли селекции и семеноводства в России: ключевые проблемы и направления их решения // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т.11. №4. С.245-265. doi:

10.31774/2712-9357-2021-11-4-245-265.

8.Постановление Правительства РФ от 30 сентября 2023 г. № 1614 «О внесении изменений в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017 - 2030 годы». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407687870/?ysclid=mfc0lp35ko432202167> (дата обращения: 11.06.2026).

9.Воронин Б.А., Чулина И.П., Воронина Я.В. Инновационная деятельность в современном агропромышленном комплексе: теория и практика // Аграрное образование и наука. 2022. №2. С.4.

10.Сеитов С.К. Инновационное развитие сельского хозяйства России: современное состояние и меры поддержки // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. №5. С.134-150. doi: 10.26897/0021-342X-2023-5-134-150.

11.Сайфетдинов А.Р. и др. Структурно-функциональный анализ и обоснование направлений развития системы селекции и семеноводства в России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. №1 (937). С.67-73. doi: 10.55186/25876740_2024_67_1_67.

12.Алексеев К.И. и др. Современное состояние технико-технологического обеспечения селекции и семеноводства овощных культур и картофеля // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2024. №7 (113). С.43-55. doi: 10.33938/247-43.

13.Дмитриев К.С. Экспериментальные исследования параметров макетного образца электротранспортного средства для зерноуборочных работ в селекции и семеноводстве // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. №5 (77). С.428-438. doi: 10.32786/2071-9485-2024-05-48.

14.Солдатенко А.В., Аварский Н.Д. Техничко-технологическая оснащенность производства овощных культур в России // Овощи России. 2025. №1. С.92-101. doi: 10.18619/2072-9146-2025-1-92-101.

15.Hermans T.D.G. et al. Why we should rethink ‘adoption’ in agricultural innovation: Empirical insights from Malawi // Land Degradation & Development. 2021. vol.32. №4. P.1809-1820. doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.3833>.

16.Masi M. et al. The long way to innovation adoption: insights from precision agriculture // Agricultural and Food Economics. 2022. vol.10. №1. P.27. doi: 10.1186/s40100-022-00236-5.

17.Rizzo G. et al. Key factors influencing farmers’ adoption of sustainable innovations: a systematic literature review and research agenda // Organic Agriculture. 2024. vol.14. №1. P.57-84. doi: 10.1007/s13165-023-00440-7.

18.Curry G.N. et al. Disruptive innovation in agriculture: Socio-cultural factors in technology adoption in the developing world // Journal of Rural Studies. 2021. vol.88. P.422-431. doi: 10.1016/j.jrurstud.2021.07.022.

19.Strong R. et al. Evaluating Brazilian agriculturalists’ IoT smart agriculture adoption barriers: Understanding stakeholder salience prior to launching an innovation // Sensors. 2022. vol.22. №18. P.6833. doi: 10.3390/s22186833.

20.Производство сельского хозяйства. Статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели». Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 11.06.2026).

21.Основные финансовые показатели организаций, осуществляющих деятельность в растениеводстве и животноводстве. Статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели». Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 11.06.2026).

22.Валовая прибыль экономики и валовые смешанные доходы по регионам Российской Федерации. Федеральная служба государственной статистики. Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/37398> (дата обращения: 11.06.2026).

23.Стоимость основных фондов. Статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели». Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 11.06.2026).

24.Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций. Статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели». Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 11.06.2026).

25.Величина прожиточного минимума, установленная в целом по российской федерации и в субъектах Российской Федерации. Статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели». Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 11.06.2026).

26.Внутренние затраты на научные исследования и разработки. Статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели». Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 11.06.2026).

27.Численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками. Статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели». Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 11.06.2026).

References

1. Intangible assets since 2017. Unified Interdepartmental Information and Statistical System. [Internet]. Federal State Statistics Service. [cited 2026, June 11]. Available from: <https://fedstat.ru/indicator/58245>.

2. Statistical information on the use of intellectual property. [Internet]. Federal Institute of Industrial Property. Statistical database of Federal Service for Intellectual Property “Rospatent”. [cited 2026, June 11]. Available from: <https://new.fips.ru/about/deyatelnost/sotrudnichestvo-s-regionami-rossii/statisticheskaya-informatsiya-ob-ispolzovani-intellektualnoy-sobstvennosti.php>.

3. Velibekova LA. [Improving the efficiency of production and industrial processing of fruit and berry products through intensification]. Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal. 2022; 5(389). 511-516 p. doi: 10.55186/25876740_2022_65_5_511.

4. Sarattseva EA, Dabakhov MV. [Organic agriculture: development prospects in Russia taking into account the international market]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie. 2024; 2. 136-146 p. doi: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-136-146.

5. Sayfetdinov AR, Bershtskiy YuI, Sayfetdinova PV. [Problems and ways to improve the efficiency of income distribution mechanisms from the use of domestic breeding achievements in crop production]. APK: ekonomika, upravlenie. 2023; 11. 78-89 p. doi: 10.33305/2311-78.
6. Sayfetdinov AR. [Theoretical aspects of organizing innovative development of agriculture while restoring sectoral technological sovereignty]. APK: ekonomika, upravlenie. 2024; 7. 46-56 p. doi: 10.33305/247-46.
7. Krinichnaya EP. [Current state of breeding and seed production industry in Russia: key problems and directions for their solution]. Melioratsiya i gidrotekhnika. 2021; Vol.11. 4. 245-265 p. doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-245-265.
8. Government resolution of the Russian Federation of September 30, 2023 No. 1614 "On amendments to Federal scientific and technical program for agriculture development for 2017-2030". [Internet]. Garant. [cited 2026, June 11]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407687870/?ysclid=mfc0lp35ko432202167>.
9. Voronin BA, Chupina IP, Voronina YaV. [Innovative activity in the modern agro-industrial complex: theory and practice]. Agrarnoe obrazovanie i nauka. 2022; 2. 4 p.
10. Seitov SK. [Innovative development of agriculture in Russia: current state and support measures]. Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2023; 5. 134-150p. doi: 10.26897/0021-342Kh-2023-5-134-150.
11. Sayfetdinov AR. [Structural and functional analysis and substantiation of development directions of breeding and seed production system in Russia]. Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal. 2024; 1(937). 67-73 p. doi: 10.55186/25876740_2024_67_1_67.
12. Alekseev KI. [Current state of technical and technological support for breeding and seed production of vegetable crops and potatoes]. Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve. 2024; 7(113). 43-55 p. doi: 10.33938/247-43.
13. Dmitriev KS. [Experimental studies of parameters of a prototype electric vehicle for grain harvesting in breeding and seed production]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2024; 5 (77). 428-438 p. doi: 10.32786/2071-9485-2024-05-48.
14. Soldatenko AV, Avarskiy ND. [Technical and technological equipment of vegetable crops production in Russia]. Ovoshchi Rossii. 2025; 1. 92-101 p. doi: 10.18619/2072-9146-2025-1-92-101.
15. Hermans TDG. Why we should rethink 'adoption' in agricultural innovation: Empirical insights from Malawi. Land Degradation & Development. 2021; Vol.32. 4. 1809-1820 p. doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.3833>.
16. Masi M. The long way to innovation adoption: insights from precision agriculture. Agricultural and Food Economics. 2022; Vol.10. 1. 27 p. doi: 10.1186/s40100-022-00236-5.
17. Rizzo G. Key factors influencing farmers' adoption of sustainable innovations: a systematic literature review and research agenda. Organic Agriculture. 2024; Vol.14. 1. 57-84 p. doi: 10.1007/s13165-023-00440-7.
18. Curry G.N. Disruptive innovation in agriculture: Socio-cultural factors in technology adoption in the developing world. Journal of Rural Studies. 2021; Vol.88. 422-431 p. doi: 10.1016/j.jrurstud.2021.07.022.
19. Strong R. et al. Evaluating Brazilian agriculturalists' IoT smart agriculture adoption barriers: Understanding stakeholder salience prior to launching an innovation // Sensors. 2022. vol.22. №.18. P.6833. doi: 10.3390/s22186833.
20. Agricultural production. [Internet]. Statistical digests "Regions of Russia. Social and Economic Indicators". Federal State Statistics Service (Rosstat). [cited 2026, June 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>.
21. Key financial indicators of organizations operating in crop production and livestock farming. [Internet]. Statistical digests "Regions of Russia. Social and economic indicators". Federal State Statistics Service (Rosstat). [cited 2026, June 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>.
22. Gross profit of economy and gross mixed income by regions of the Russian Federation. [Internet]. Federal State Statistics Service. Unified Interdepartmental Information and Statistical System. [cited 2026, June 11]. Available from: <https://www.fedstat.ru/indicator/37398>.
23. Value of fixed assets. [Internet]. Statistical digests "Regions of Russia. Social and economic indicators". Federal State Statistics Service (Rosstat). [cited 2026, June 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>.
24. Average monthly nominal accrued wages of employees of organizations. [Internet]. Statistical digests "Regions of Russia. Social and economic indicators". Federal State Statistics Service (Rosstat). [cited 2026, June 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>.
25. Subsistence minimum established for the Russian Federation as a whole and in the constituent entities of the Russian Federation. [Internet]. Statistical digests "Regions of Russia. Social and economic indicators". Federal State Statistics Service (Rosstat). [cited 2026, June 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>.
26. Domestic expenditure on research and development. [Internet]. Statistical digests "Regions of Russia. Social and economic indicators". Federal State Statistics Service (Rosstat). [cited 2026, June 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>.
27. Number of personnel engaged in research and development. [Internet]. Statistical digests "Regions of Russia. Social and economic indicators". Federal State Statistics Service (Rosstat). [cited 2026, June 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Сафиуллин Марат Рашитович - доктор экономических наук, профессор, проректор по вопросам экономического и стратегического развития ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (420008, Российская Федерация, г. Казань, Кремлёвская улица, 18, корп. 1), e-mail: Marat.Safiullin@tatar.ru, ORCID 0009-0009-7770-0711

Ельшин Леонид Алексеевич - заведующий кафедрой мировой и региональной экономики, ведущий научный сотрудник центра стратегических оценок и прогнозов, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (420008, Российская Федерация, г. Казань, Кремлёвская улица, 18, корп. 1);

директор, Центра перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан (420111, Российской Федерации, г. Казань, ул. Карла Маркса 23/6, пом. 1004); профессор кафедры экономики, Университета управления ТИСБИ (420012, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Муштары, д. 13), e-mail: Leonid.Elshin@tatar.ru, ORCID 0000-0002-0763-6453

Колесникова Юлия Сергеевна - доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры управления человеческими ресурсами ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (420008, Российская Федерация, г. Казань, Кремлёвская улица, 18, корп. 1), e-mail: JSKolesnikova@kpfu.ru, ORCID 0000-0003-3073-100X

Кулагин Роман Вадимович - аспирант Института управления, экономики и финансов, ассистент Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии кафедры технологического предпринимательства ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (420008, Российская Федерация, г. Казань, Кремлёвская улица, 18, корп. 1), e-mail: RoVKulagin@kpfu.ru, ORCID 0000-0002-6412-4761

Вклад авторов:

М.Р. Сафиуллин – постановка проблемы, разработка научной концепции (вклад автора 25%);

Л.А. Ельшин – обзор научной литературы (вклад автора 25%);

Ю.С. Колесникова – теоретическое обоснование (вклад автора 25%);

Р.В. Кулагин – сбор статистики и оценка моделей (вклад автора 25%).

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 22.09.2025; одобрена после рецензирования 17.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Safiullin Marat Rashitovich - Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Economic and Strategic Development of Kazan (Volga region) Federal University (18 Kremlyovskaya Street, Building 1, Kazan, 420008, Russian Federation), e-mail: Marat.Safiullin@tatar.ru, ORCID 0009-0009-7770-0711

Elshin Leonid Alekseevich - Head of Global and Regional Economy Department, leading researcher of Strategic Assessments and Forecasts Center, Kazan (Volga region) Federal University (18 Kremlyovskaya Street, Building 1, Kazan, 420008, Russian Federation); Director, Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (23/6 Karl Marx Street, Room 1004, Kazan, 420111, Russian Federation); Professor of Economics Department, TISBI University of Management (13 Mushtari St., Kazan, 420012, Russian Federation), e-mail: Leonid.Elshin@tatar.ru, ORCID 0000-0002-0763-6453

Kolesnikova Yuliya Sergeevna - Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of Human Resources Management Department of Kazan (Volga region) Federal University (18 Kremlyovskaya Street, Building 1, Kazan, 420008, Russian Federation), e-mail: JSKolesnikova@kpfu.ru, ORCID 0000-0003-3073-100X

Kulagin Roman Vadimovich – post-graduate student of Institute of Management, Economics and Finance, assistant of Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering of Technological Entrepreneurship Department, Kazan (Volga region) Federal University (18 Kremlyovskaya Street, Building 1, Kazan, 420008, Russian Federation), e-mail: RoVKulagin@kpfu.ru, ORCID 0000-0002-6412-4761

Contribution of the authors:

M.R. Safiullin — Problem statement, Development of the scientific concept (author's contribution: 25%);

L.A. Elshin — Review of the scientific literature (author's contribution: 25%);

Yu.S. Kolesnikova — Theoretical justification (author's contribution: 25%);

R.V. Kulagin — Collection of statistical data and model evaluation (author's contribution: 25%).

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 22.09.2025; revised 17.06.2026; accepted 25.06.2026.



Научный журнал

Вестник Казанского ГАУ
№ 2 (82), июль 2026 г.

Редактор – Михайлова Л.В.
Технический редактор – Салахова Г.Р.
Коррекция переводов – Исламова Л.Р.
Корректор – Барсукова Р.С.

ISSN 2073-0462



9 772073 046162 >

Формат 60x84/8. Тираж 500. Дата выхода в свет: 16.07.2026
Печать офсетная. Усл. п. л. 23 Заказ 28. Цена свободная.
Издательство Казанского ГАУ / 420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Лицензия на издательскую деятельность код 221 ИД № 06342 от 28.11.2001.
Отпечатано в типографии Казанского ГАУ.
420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Казанский государственный аграрный университет