

Агробιοтехнологии и цифровое земледелие



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (16) 2025 год





АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

AGROBIOTECHNOLOGIES AND DIGITAL FARMING

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 4 (16)



Казань, 2025

Агробιοтехнологии и цифровое земледелие

научный журнал

Институт агробιοтехнологий и землепользования

Казанского государственного аграрного университета



№ 4 (16)

2025 г.

Учредитель –
Казанский
государственный аграрный
университет



Учрежден Казанским
государственным аграрным
университетом, в 2022 г.

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

сайт:
www.agrobiotech.kazgau.ru
e-mail:
agrobiotech@kazgau.com

Зарегистрирован
Федеральной службой по надзору в
сфере связи,
информационных технологий и
массовых коммуникаций
(Роскомнадзор) -
свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-82684
от 18 января 2022 г.

С 10.06.2024 г. включен
в перечень рецензируемых научных
изданий, в которых должны быть
опубликованы основные результа-
ты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук, на
соискание ученой степени доктора
наук по специальностям:

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки);
- 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки);
- 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки);
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (сельскохозяйственные науки);
- 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки, биологические науки);
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки, биологические науки);
- 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки, биологические науки).

Публикуется
4 раза в год

За достоверность информации
в опубликованных материалах
ответственность несут
авторы публикаций

16+

Главный редактор:

Балиев А.Р. – доктор технических наук, профессор, первый проректор, член-корр. АН РТ, Казанский государственный аграрный университет

Заместители главного редактора:

Зиганшин Б.Г. – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, Казанский государственный аграрный университет

Сержанов И.М. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор Института агробιοтехнологии и землепользования, Казанский государственный аграрный университет

Шайдуллин Р.Р. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Казанский государственный аграрный университет

Члены редакционной коллегии:

Амиров М.Ф. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Казанский государственный аграрный университет

Ахметзянова Ф.К. – доктор биологических наук, профессор, Казанский государственный аграрный университет

Ахметов Т.М. – доктор биологических наук, профессор, Казанский государственный аграрный университет
Валидов Ш.З. – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ КазНЦ РАН

Васильев М.Н. – доктор ветеринарных наук, доцент, Казанский государственный аграрный университет

Гилязов М.Ю. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Казанский государственный аграрный университет

Захаров В.Г. – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства - филиал Самарского научного центра РАН

Кузьминых А.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Марийский государственный университет

Низамов Р.М. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Казанский государственный аграрный университет

Новоселов С.И. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Марийский государственный университет

Осинов Г.Е. – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ КазНЦ РАН

Панасюк М.В. – доктор географических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет

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

Сафин Р.И. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корр. АН РТ, Казанский государственный аграрный университет

Члены редакционного совета:

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

Асатурова А.М. – кандидат биологических наук, директор, Федеральный научный центр биологической защиты растений (Россия)

Барамова Ш.А. – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт (Казахстан)

Голохваст К.С. – доктор биологических наук, профессор, член-корр. РАО, профессор РАН, директор, Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН (Россия)

Исайчев В.А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ульяновский государственный аграрный университет (Россия)

Каракотов С.Д. – доктор химических наук, академик РАН, генеральный директор ЗАО «Щёлково Агрохим», Вице-президент Российского союза производителей химических средств защиты растений (Россия)

Кучинский М.П. – доктор ветеринарных наук, доцент, заместитель директора по научной работе и инновациям, НПЦ НАН Беларуси по животноводству, Институт экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Выхелесского (Белоруссия)

Надеждин С.М. – доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, заместитель директора, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Россия)

Марзанов Н.С. – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр животноводства - ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста (Россия)

Мумиджанов Х.А. – доктор биологических наук, профессор, Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), Субрегиональное отделение ФАО для Центральной Азии, Анкара, Турция (Турция, Таджикистан)

Партоев К. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт ботаники, физиологии и генетики растений АН Республики Таджикистан (Таджикистан)

Персикова Т.Ф. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (Белоруссия)

Рамазанов Р.Р. – генеральный директор ООО «Бионоватик» (Россия)

Сальников Э. – доктор биологических наук, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, Белградский университет - Институт междисциплинарных исследований, отдел растений, почвы и наносистем (Сербия)

Селивановская С.Ю. – доктор биологических наук, профессор, директор, Институт экологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет, ведущий научный сотрудник Учебно-научная лаборатория «Центр агро - и экобиотехнологий» (Россия)

Тайлан Аксу – доктор наук, профессор, Университет Ван (Турция)

Труфляк Е.В. – доктор технических наук, профессор, руководитель Центра прогнозирования и мониторинга научно-технологического развития АПК Кубанского государственного аграрного университета (Россия)

Фенг Чен – кандидат наук, профессор, Хэнаньский сельскохозяйственный университет, директор Китайского совместного исследовательского центра пшеницы и кукурузы (CIMMYT) (Китай)

Чекарчев П.А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, председатель Комитета по развитию агропромышленного комплекса Торгово-промышленной палаты РФ (Россия)



№ 4 (16)
2025 г.

Agrobiotechnologies and digital farming

scientific journal

Institute of Agrobiotechnology and Land Management
Kazan State Agrarian University

Chief Editor:

Valiev A.R. – Doctor of Technical Sciences, Professor, vice-rector, Corresponding Member Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan State Agrarian University

Deputies of Chief Editor:

Ziganshin B.G. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Kazan State Agrarian University

Serzhanov I.M. – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director Institute of Agrobiotechnology and Land Management, Kazan State Agrarian University

Shaidullin R.R. – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kazan State Agrarian University

Members of the Editorial Committee:

Amirov M.F. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University

Akhmetzyanova F.K. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University

Akhmetov T.M. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University

Validov Sh.Z. – PhD in biology, Senior Researcher, Tatar Research Institute of Agriculture

Vasilyev M.N. – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Kazan State Agrarian University

Gilyazov M.Yu. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kazan State Agrarian University

Zakharov V.G. – Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture - branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Kuzminykh A.N. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Mari State University

Nizamov R.M. – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kazan State Agrarian University

Novoselov S.I. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Mari State University

Osipov G.E. – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Tatar Research Institute of Agriculture

Panasnyuk M.V. – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Kazan Federal University

Ponomareva M.L. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Tatar Research Institute of Agriculture

Safin R.I. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan State Agrarian University

Members of the Editorial Board:

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

Asaturova A.M. – Candidate of Biological Sciences, Director, Federal Scientific Center for Biological Plant Protection (Russia)

Baramova Sh.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Kazakh Research Veterinary Institute (Kazakhstan)

Golokhvast K.S. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member, Russian Academy of Education, Professor of the Russian Academy of Sciences, Director, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Russia)

Isaichev V.A. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ulyanovsk State Agrarian University (Russia)

Karakotov S.D. – Doctor of Chemical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, General Director of CJSC Shchelkovo Agrokhim, Vice President of the Russian Union of Producers of Chemical Plant Protection Products (Russia)

Kuchinsky M.P. – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Research and Innovation, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry, Institute of Experimental Veterinary Medicine, named after S.N. Vyshelsky (Belarus)

Nadezhkin S.M. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director, Federal Scientific Center for Vegetable Growing (Russia)

Marzanov N.S. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Animal Husbandry - named after Academician L.K. Ernst (Russia)

Mumidzhanov Kh.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Subregional Office for Central Asia (Turkey, Tajikistan)

Partoev K. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Botany, Physiology and Plant Genetics of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan (Tajikistan)

Persikova T.F. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Belarusian State Agrarian Academy (Belarus)

Ramazanov R.R. – General Director of Bionovatik LLC (Russia)

Salnikov E. – Doctor of Biological Sciences, Candidate of Agricultural Sciences, Professor, University of Belgrade-Institute for Multidisciplinary Research, Department of Plant, Soil and Nano Systems (Serbia)

Selivanovskaya S.Yu. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, Institute of Ecology and Nature Management, Kazan Federal University, Leading Researcher Educational and Scientific Laboratory "Center for Agro- and Ecobiotechnologies" (Russia)

Taylan Aksu – Doctor of Sciences, Professor, Van University (Turkey)

Truflyak E.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Center for Forecasting and Monitoring of Scientific and Technological Development of the Agroindustrial Complex of the Kuban State Agrarian University (Russia)

Feng Chen – PhD, professor, Henan Agricultural University, Director of China Joint Research Center for Wheat and Maize (CIMMYT) (China)

Chekmarev P.A. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chairman of the Committee for the Development of the Agro-Industrial Complex of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation (Russia)

Founder -
Kazan
State Agrarian
University



Established by Kazan State Agrarian University, in 2022

Publisher and editorial address:
420015, Republic of Tatarstan, Kazan,
K. Marks st., 65
tel. (843) 598 - 40 - 52

website:
www.agrobiotech.kazgau.ru
e-mail:
agrobiotech@kazgau.com

Registered by
Federal Service for Supervision of
Communications, Information
Technology and Mass Media
registration certificate:
PI No. FS77-82684
January 18, 2022

Since 10/06/2024, it has been included in the list of peer-reviewed scientific publications in which the main results of dissertations for the scientific degree of Candidate of Sciences, for the scientific degree of Doctor of Science in the following specialties should be published:

- 4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences);
- 4.1.2. Breeding, seed production and biotechnology (agricultural sciences);
- 4.1.3. Agrochemistry; agro-soil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences);
- 4.1.4. Gardening, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (agricultural sciences);
- 4.2.3. Infectious diseases and animal immunology (veterinary sciences, biological sciences);
- 4.2.4. Private animal husbandry, feeding, technologies for preparing feed and producing livestock products (agricultural sciences, biological sciences);
- 4.2.5. Breeding, selection, genetics and biotechnology of animals (agricultural sciences, biological sciences).

Published
4 times a year
Authors of publications are
responsible for the accuracy
of information in published
materials

16+

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ

стр.

Амиров М. Ф., Цветков Т. С., Семенов П. Г. Влияние биостимуляторов Мегафол и Квантис на урожайность и качество зерна озимой мягкой пшеницы в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан.....	6
Долженко Н. Э., Сухоруков А. А., Долженко Д. О. Создание и комплексная оценка нового сорта озимой мягкой пшеницы для условий Среднего Поволжья.....	13
Маракаева Т. В., Яковлева В. С. Урожайность и качество семян сортов льна масличного при разных сроках посева в условиях южной лесостепи Западной Сибири.....	23
Орлов В. А., Лукьянов А. А., Михайловская О. И., Михайловский С. С. Методика оценки урожайности виноградного насаждения по спектральным индексам почвенных паттернов.....	30
Сабирова Р. М., Акеншаева А. Ж. Потенциал продуктивности сортов нута в Предкамье Республики Татарстан.....	40
Сафин Р. И., Медведев Н. А. Особенности развития и биологические приемы контроля гельминтоспориозных пятнистостей ярового ячменя.....	46
Фомин В. Н., Гайнутдинов И. Р., Хуснутдинов Р. Г. Влияние уровня минерального питания, микроудобрений и биопрепаратов на водопотребление и урожайность кукурузы.....	53
Шишков Д. Г., Олехов В. Р., Сафиуллина Д. Р. Изменение агрохимических показателей почвы по фазам развития озимой ржи в зависимости от применения минеральных удобрений.....	61

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ

Каримова Л. З., Загидуллин А. А., Серов Н. Ю., Валиев А. Р., Валидов Ш. З. Совместимость пеногасителей на силиконовой основе со штаммом <i>Bacillus velezensis</i> MGMM30	67
Нго Као К., Нгуен Тхи Ким Т., Нгуен Вьет К., Ле Ван Т., Сапармырадов К. А., Комиссаров Э. Н., Фролов М. Д., Суханов А. Ю., Трахтман Н. В., Валидов Ш. З. Выделение микроорганизмов из почв, загрязненных диоксинами.....	73

CONTENTS

AGRONOMY

	pages
Amirov M. F., Tsvetkov T. S., Semenov P. G. Effect of Megafol and Kvantis biostimulants on productivity and grain quality of winter soft wheat in Kama region of the Republic of Tatarstan.....	6
Dolzhenko N. E., Sukhorukov A. A., Dolzhenko D. O. Development and comprehensive evaluation of a new winter soft wheat variety for Middle Volga region.....	13
Marakaeva T. V., Yakovleva V. S. Yield and seed quality of oil flax varieties at different sowing times in the southern forest-steppe of Western Siberia.....	23
Orlov V. A., Lukyanov A. A., Mikhaylovskaya O. I., Mikhaylovskiy S. S. A method for assessing vineyard productivity based on spectral indices of soil patterns.....	30
Sabirova R. M., Akenshaeva A. Zh. Productivity potential of chickpea varieties in Kama region of the Republic of Tatarstan.....	40
Safin R. I., Medvedev N. A. Development characteristics and biological control methods for helminthosporium spots of spring barley.....	46
Fomin V. N., Gaynutdinov I. R., Khusnutdinov R. G. Influence of mineral nutrition, microfertilizers and bioproducts levels on water consumption and corn productivity.....	53
Shishkov D. G., Olekhov V. R., Safiullina D. R. Changes in soil agrochemical parameters across winter rye growth phases depending on the use of mineral fertilizers.....	61

AGRICULTURAL BIOLOGY

Karimova L. Z., Zagidullin A. A., Serov N. Yu., Valiev A. R., Validov Sh. Z. Compatibility of silicone-based antifoaming compositions with <i>Bacillus velezensis</i> MGMM30 strain.....	67
Ngo Cao C., Nguen Thi Kim T., Nguen Viet K., Le Van T., Saparmyradov K. A., Komissarov E. N., Frolov M. D., Sukhanov A. Yu., Trakhtman N. V., Validov Sh. Z. Isolation of microorganisms from soil contaminated with dioxins.....	73

ВЛИЯНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ МЕГАФОЛ И КВАНТИС НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ПРЕДКАМСКОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**М. Ф. Амиров, Т. С. Цветков, П. Г. Семенов**

Реферат. Целью проведённых исследований была оценка влияния биостимуляторов Мегафол и Квантис на формирование элементов продуктивности, урожайность и показатели качества зерна озимой мягкой пшеницы сортов Скипетр и Фотинья в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан. Полевые опыты проводили в 2022–2023 годы на серой лесной среднесуглинистой почве в УНПЦ «Агробiotехнопарк» Казанского ГАУ. Схема опыта включала четыре варианта: контроль (без опрыскивания), Мегафол 2 л/га, Квантис 2 л/га и комбинированную обработку Мегафол 1 л/га + Квантис 1 л/га в фазу флагового листа. На фоне основного удобрения $N_{32}P_{32}K_{32}$ и ранневесенней подкормки N_{34} при единой системе защиты растений. Установлено, что сортовые особенности преимущественно проявлялись в формировании массы 1000 зёрен и массы зерна с колоса: у сорта Скипетр отмечено более крупное зерно, тогда как Фотинья характеризовалась повышенной продуктивной кустистостью и более выраженной реакцией элементов структуры урожая на применение биостимуляторов. Наиболее результативной была комбинированная обработка Мегафол 1 л/га + Квантис 1 л/га, обеспечившая максимальную прибавку урожайности: у Скипетра — 7,39 т/га (+0,50 т/га; 7,3% к контролю), у Фотиньи — 7,14 т/га (+0,41 т/га; 6,1%). При этом у сорта Фотинья отмечено увеличение содержания сырой клейковины до 35,1–36,5% против 33,5% в контроле, тогда как у Скипетра исходный уровень клейковины сохранялся (32,8–32,9%) на фоне повышения урожайности. Результаты свидетельствуют о потенциальной эффективности применения биостимуляторов Мегафол и Квантис в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан.

Ключевые слова: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорта Скипетр и Фотинья, опрыскивание растений, урожайность, клейковина, биостимуляторы Мегафол и Квантис.

Для цитирования: Амиров М.Ф., Цветков Т.С., Семенов П.Г. Влияние биостимуляторов Мегафол и Квантис на урожайность и качество зерна озимой мягкой пшеницы в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан //Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2025. 4 (16). С. 6-12 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-6-12>

Введение. Урожайность культуры в значительной степени определяется сортовыми особенностями, в основе которых лежит генетически обусловленный потенциал продуктивности. Он является ключевым фактором, определяющим способность растений формировать высокий урожай [1, 2, 3]. Однако реализация этого потенциала возможна лишь при соблюдении комплекса условий, оптимально соответствующих биологическим требованиям конкретного сорта [4, 5]. К таким условиям относятся благоприятный температурный фон, достаточное и равномерное обеспечение влагой, а также наличие необходимых элементов минерального питания.

Не менее значимым является высокий физиологический отклик растений в период формирования зерна и интенсивного синтеза органических веществ [6, 7]. Поэтому при разработке технологии возделывания озимой пшеницы важно учитывать сортовые биологические особенности и создавать такую архитектуру агроценоза, которая обеспечивает наиболее полную реализацию потенциальной продуктивности растений. Особое внимание следует уделять формированию элементов структуры урожая — прежде всего колоса — и обеспечению растений питательными элементами, что является особенно критично во второй половине вегетации [8, 9, 10].

Технологические приёмы при возделывании озимой пшеницы ориентированы на формирование оптимальных условий для

реализации биологического потенциала культуры и одновременное повышение её устойчивости за счёт снижения риска негативного влияния абиотических и биотических факторов [11, 12]. При этом возможны различные варианты агротехнических решений, позволяющие достигать аналогичных целей разными способами [13, 14, 15]. С одной стороны, установлено, что рациональное сочетание агротехнических приёмов и средств химизации обеспечивает существенные и устойчивые прибавки урожайности; с другой — такие системы нуждаются в регулярной научной оценке и корректировке, направленной на повышение эффективности применяемых агротехнологий [16, 17, 18].

Целью исследования была оценка эффективности биостимуляторов Мегафол и Квантис в технологии возделывания озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Скипетр и Фотинья в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан.

В рамках работы были поставлены задачи по оценке влияния биостимуляторов Мегафол и Квантис на формирование показателей структуры урожая, а также по установлению уровня урожайности и параметров качества зерна сортов Скипетр и Фотинья при различных вариантах обработки.

Научная новизна исследований заключается в том, что впервые в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан дана сравнительная оценка эффективности биостимуляторов

Мегафол и Квантис, а также их совместного применения при возделывании озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Скипетр и Фотинья.

Условия, материалы и методы. Исследования выполнялись в Учебно-научно производственном центре «Агробиотехнопарк» ФГБОУ ВО Казанский ГАУ в 2022–2023 годы. Работы проводили на серых лесных почвах, характеризующихся содержанием гумуса 3,4%, запасами подвижного фосфора 250–270 мг/кг и обменного калия 170 мг/кг (по Кирсанову) и кислотностью почвенного раствора pH 6,6. В качестве объектов изучения использовали два сорта озимой мягкой пшеницы — Скипетр и Фотинья. В исследовании применяли биостимулятор Мегафол и препарат Квантис.

Полевые опыты закладывались в четырёхкратной повторности. Общая площадь делянки составляла 30 м², учётная — 25 м². Предшественником выступал чистый пар. Опрыскивание растений проводили в фазу флагового листа, календарные сроки обработки 21.05.2022 и 25.05.2023.

Схема опыта включала следующие варианты обработки:

1. Контроль;
2. Мегафол 2 л/га;
3. Квантис 2 л/га;
4. Комбинированная обработка: Мегафол 1 л/га + Квантис 1 л/га.

Технология возделывания озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Скипетр и Фотинья соответствовала общепринятым для зоны нормам. Норма высева составляла 5,5 млн всхожих семян на 1 га; посев выполняли рядовым способом зерновой сеялкой (междурядья 15 см) в оптимальные для Предкамской зоны Республики Татарстан сроки: 2022 год — 02 сентября; 2023 год — 06 сентября 2023. При предпосевной обработке почвы вносили комплексное удобрение N₃₂P₃₂K₃₂,

ранней весной проводили подкормку аммиачной селитрой (N₃₄).

Система защиты растений и питания посевов включала гербицидную, фунгицидную, инсектицидную защиты. Для контроля двудольных сорняков применяли гербицид Кама-ро, СЭ (флорасулам + 2,4-Д (эфир)) в норме 0,5 л/га, для подавления злаковых сорняков — Аксил (пиноксаден + антидот клоксинтоцет-мексил) в норме 0,7 л/га; обработки выполняли в фазу кушения культуры. Фунгицидную защиту проводили по вегетации: в фазу кушения применяли Амистар Трио, КЭ (пропиконазол + азоксистробин + ципроконазол) в норме 0,75 л/га в баковой смеси с регулятором роста Моддус, КЭ (тринексапак-этил) 0,3 л/га, а в фазу флагового листа — Амистар Экстра, СК (азоксистробин + ципроконазол) 0,5 л/га. Для защиты от комплекса вредителей использовали инсектициды: Карате Зеон (лямбда-цигалотрин) 0,1 л/га в фазу кушения и Эфория (лямбда-цигалотрин + тиаметоксам) 0,2 л/га по флаговому листу. Расход рабочей жидкости при опрыскиваниях составлял 200 л/га.

Мегафол, Ж характеризуется антистрессовым действием и содержит специфические аминокислоты и бетаины; Квантис, Ж включает аминокислоты, пептиды, а также макро- и микроэлементы (K, P, Ca, B, Zn, Mg, сульфаты).

Уборку урожая осуществляли прямым комбайнированием в начале фазы полной спелости зерна. Учёт урожайности проводили по каждой делянке с пересчётом на стандартную влажность 14% и 100%-ную чистоту зерна. Количество сырой клейковины определяли по ГОСТ Р 54478–2011 (методы определения количества и качества клейковины в пшенице). Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову («Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)»).

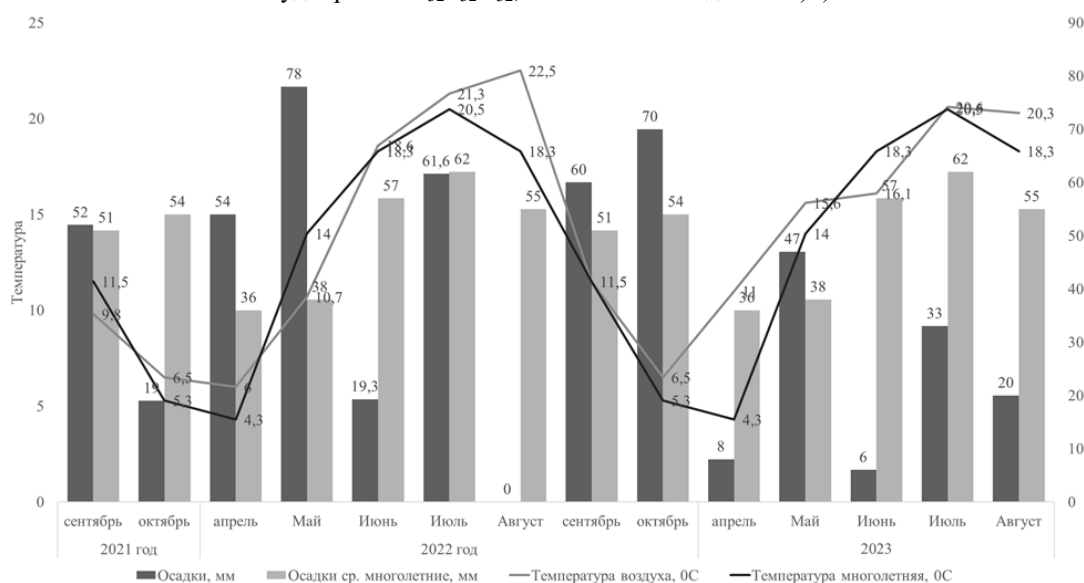


Рис. 1 – Метеорологические условия в период вегетации озимой пшеницы, 2021-2023 годы

В 2021 году распределение осадков отличалось выраженной неравномерностью: максимальное их количество отмечено в мае (78 мм), тогда как в июле осадки практически отсутствовали (0 мм). Температурный режим в июне и августе характеризовался превышением средних многолетних значений. В 2022 году осадки в среднем были ниже, особенно в июле (6 мм), а температура в основном соответствовала многолетним значениям. В 2023 году осадки были снова низкими в июле (6 мм), а температура была немного выше нормы, особенно в июле и августе (рис. 1).

Результаты и обсуждения. По данным рисунка 2 установлено, что сортовой фактор в большей степени определял массу 1000 зёрен, тогда как опрыскивание биостимуляторами в основном влияло на её варьирование; это подтверждается результатами дисперсионного анализа, где выявлено достоверное влияние фактора А (сорт) и менее выраженное, но статистически значимое влияние фактора В (обработка биостимуляторами). В оба года исследований сорт Скипетр достоверно превосходил сорт Фотинья по массе

1000 зёрен. Число колосков в колосе у Скипетра оставалось практически постоянным (15,1–15,3 шт.), при этом существенных различий между вариантами обработки по данному показателю не отмечено.

У сорта Фотинья биостимуляторы оказывали более выраженное действие как на элементы структуры урожая, так и на массу 1000 зёрен. В 2022 году опрыскивание Мегафолом увеличивало число колосков с 15,1 до 15,4 шт., а в 2023 году все варианты обработки повышали показатель с 14,1 в контроле до 14,6–15,0 шт. Масса 1000 зёрен у Фотиньи в среднем за 2022–2023 годы возрастала с 38,9 г на контроле до 41,0–41,6 г при применении биостимуляторов; максимальное значение отмечено при совместной обработке Мегафол 1 л/га + Квантис 1 л/га (41,6 г). В целом сочетание Мегафола и Квантиса в большей степени повышало выполненность зерна и структурную продуктивность колоса у сорта Фотинья, тогда как у Скипетра действие препаратов проявлялось преимущественно через увеличение массы 1000 зёрен (на вариантах с Квантисом и его смесью с Мегафолом).

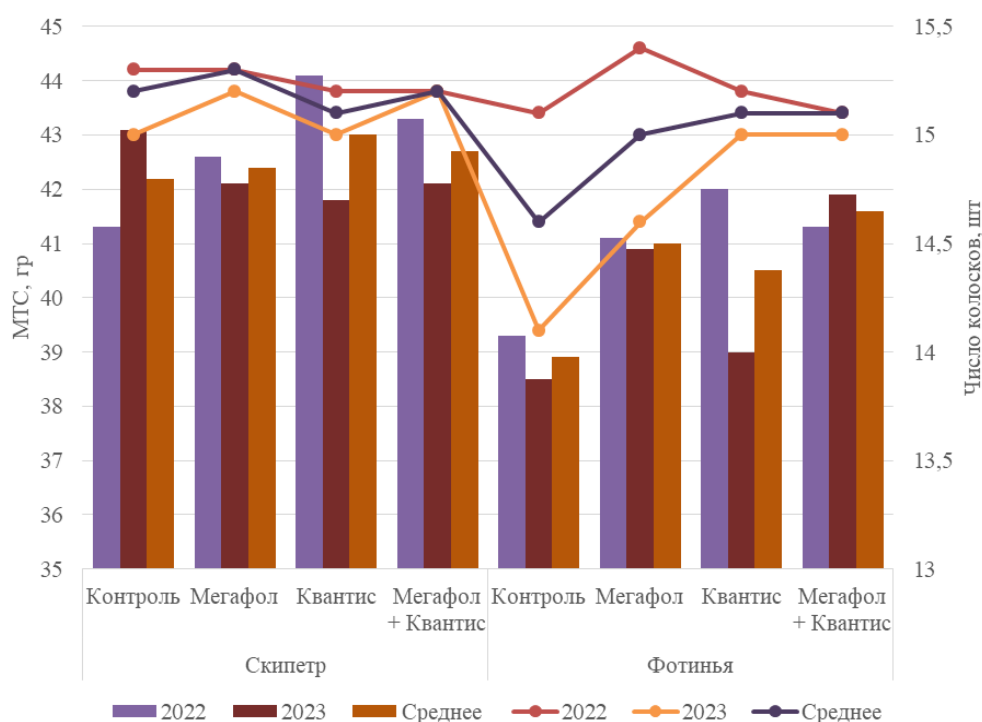


Рис. 2 - Изменение числа колосков в колосе и массы 1000 зёрен озимой мягкой пшеницы в зависимости от обработки биостимуляторами

Сорт Фотинья достоверно превосходил сорт Скипетр по количеству продуктивных стеблей (в среднем 510–527 против 421–488 шт./м), тогда как Скипетр имел более высокую массу зерна с одного колоса (1,51–1,65 против 1,29–1,42 г), что отражает различия в типе продуктивности сортов (рис. 3). У Скипетра опрыскивание Мегафолом, Квантисом и их смесью существенно

увеличивало густоту стеблестоя, в отдельные годы сопровождаясь некоторым снижением массы зерна с колоса на фоне загущения посевов. У Фотиньи биостимуляторы, напротив, более устойчиво повышали массу зерна с одного колоса (до 1,42 г при совместном применении Мегафол + Квантис против 1,29 г в контроле), при незначительном изменении количества продуктивных стеблей.

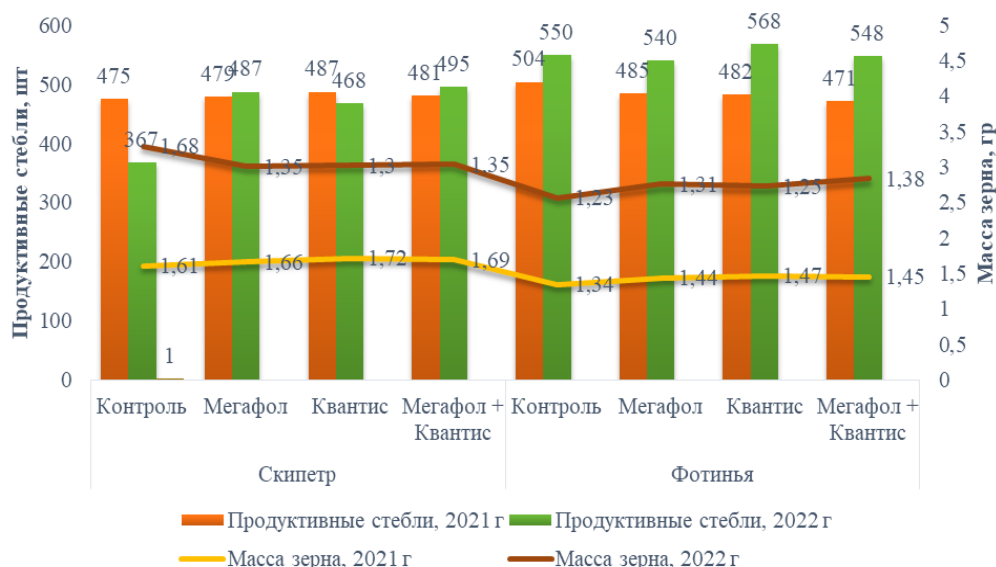


Рис. 3 - Элементы структуры урожая сортов озимой пшеницы в зависимости от опрыскивания биостимуляторами

Опрыскивание посевов биостимуляторами обеспечило устойчивый рост урожайности озимой пшеницы обоих сортов (табл.1). У сорта Скипетр средняя за 2022–2023 годы урожайность на контроле составила 6,89 т/га, тогда как при применении Мегафола и Квантиса она возрастала до 7,23–7,39 т/га, что соответствует прибавке 0,34–0,50 т/га (4,9–7,3%). У сорта Фотинья средняя урожайность

увеличивалась с 6,73 т/га на контроле до 6,99–7,14 т/га на вариантах с обработкой (прибавка 0,26–0,41 т/га, или 3,9–6,1%). Наиболее эффективным для обоих сортов оказалось совместное применение Мегафол 1 л/га + Квантис 1 л/га, обеспечившее максимальную среднюю урожайность и наибольшую относительную прибавку по сравнению с контролем.

Таблица 1 – Урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от использования биостимуляторов, 2022-2023 годы

Сорт (А)	Опрыскивание (В)	Урожайность зерна, т/га			± от контроля	
		2022 г.	2023 г.	Средняя	т/га	%
Скипетр	1.Контроль	7,62	6,15	6,89	-	-
	2.Мегафол	7,92	6,54	7,23	0,34	4,9
	3.Квантис	8,35	6,22	7,29	0,40	5,8
	4.Мегафол + Квантис	8,12	6,65	7,39	0,50	7,3
Фотинья	1.Контроль	6,71	6,74	6,73	-	-
	2.Мегафол	6,97	7,01	6,99	0,26	3,9
	3.Квантис	7,05	7,05	7,05	0,32	4,8
	4.Мегафол + Квантис	6,79	7,49	7,14	0,41	6,1

НСР_{0,05}: для фактора А — 0,208 т/га (2022 год) и 0,173 т/га (2023 год); для фактора В и взаимодействия АВ — 0,120 т/га (2022 год) и 0,106 т/га (2023 год); для частных средних — 0,207 т/га (2022 год) и 0,184 т/га (2023 год)

Опрыскивание посевов по-разному влияло на содержание клейковины у сортов Скипетр и Фотинья. У сорта Скипетр в среднем за 2022–2023 годы содержание клейковины на контроле составило 32,8%, тогда как при использовании Мегафола и Квантиса по отдельности показатель несколько снижался до 32,5 и 31,9%. Совместное применение Мегафол 1 л/га + Квантис 1 л/га позволило не только сохранить, но и незначительно повысить уровень клейковины до 32,9% (+0,1 п.п. к контролю), то есть улучшить качество зерна без его заметного снижения на фоне роста урожайности.

У сорта Фотинья отмечена более

выраженная положительная реакция на применение биостимуляторов. Среднее содержание сырой клейковины на контроле составило 33,5%, тогда как при опрыскивании Мегафолом показатель увеличивался до 36,5% (+3,0 п.п.), а при совместном применении Мегафол + Квантис — до 35,1% (+1,6 п.п.). Вариант с применением Квантиса отдельно (33,0%) был близок к контролю (–0,5 п.п.). Таким образом, для сорта Фотинья использование Мегафола, в том числе в сочетании с Квантисом, обеспечивало одновременное повышение урожайности (табл. 1) и улучшение показателей качества зерна за счёт увеличения содержания сырой клейковины.

Таблица 2 – Количество клейковины в зерне озимой пшеницы (%) в зависимости от использования биостимуляторов, 2022-2023 годы

Сорт (А)	Опрыскивание (В)	Количество клейковины, %			± от контроля %
		2022 г.	2023 г.	Среднее за 2022-2023 гг.	
Скипетр	1.Контроль	36,0	29,6	32,8	-
	2.Мегафол	34,1	30,8	32,5	-0,3
	3.Квантис	34,8	28,9	31,9	-0,9
	4.Мегафол + Квантис	35,9	29,8	32,9	0,1
Фотинья	1.Контроль	38,6	28,3	33,5	-
	2.Мегафол	39,0	33,9	36,5	3,0
	3.Квантис	36,0	29,9	33,0	- 0,5
	4.Мегафол + Квантис	37,6	32,5	35,1	1,6

НСР_{0,05}, т/га: в 2022 год для фактора А — 0,20; для фактора В — 0,16; для взаимодействия АВ — 2,38; в 2023 год для фактора А — 0,08; для фактора В — 0,10; для взаимодействия АВ — 2,91.

Выводы. По результатам двухлетних наблюдений (2022–2023 годы) установлено, что применение биостимуляторов Мегафол и Квантис при опрыскивании посевов озимой мягкой пшеницы сортов Скипетр и Фотинья способствовало более полноценному формированию элементов структуры урожая и повышению выполненности зерна, вследствие чего урожайность статистически значимо увеличивалась относительно контроля. Прибавка урожайности по вариантам обработки составила у сорта Скипетр 0,34–0,50 т/га (4,9–7,3%), у сорта Фотинья — 0,26–0,41 т/га (3,9–6,1%).

Наиболее продуктивной оказалась комбинированная схема Мегафол 1 л/га + Квантис 1 л/га: средняя урожайность достигала 7,39 т/га у Скипетра и 7,14 т/га у Фотиньи при

6,89 и 6,73 т/га в контроле соответственно. Влияние биостимуляторов на качество зерна носило сортоспецифический характер: у Фотиньи на вариантах с Мегафолом (в том числе в смеси с Квантисом) отмечено увеличение содержания сырой клейковины до 35,1–36,5% по сравнению с 33,5% в контроле, что может указывать на более выраженное влияние обработки на белково-азотистый обмен. У сорта Скипетр содержание клейковины в среднем сохранялось на уровне контроля (32,8–32,9%) при одновременном росте урожайности, что свидетельствует об отсутствии негативного «разбавляющего эффекта» и позволяет рассматривать применение биостимуляторов как приём, повышающий продуктивность без ухудшения технологических показателей зерна.

Литература

1. Сравнительная оценка нового высокопродуктивного сорта мягкой озимой пшеницы Южанка на сортоучастках Ростовской области, Адыгеи и Кабардино-Балкарии / Х. А. Малкандуев, А. М. Ашхотов, А. Х. Малкандуева и др. // Аграрный вестник Урала. 2012. № 7. С. 11–13.
2. Урожайность и качество зерна сортов озимой мягкой пшеницы селекции «ФИЦ «Немчиновка» / Б. И. Сандухадзе, Р. З. Мамедов, В. В. Бугрова и др. // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 54–59. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-54-59>
3. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы в засушливых условиях Поволжья / О. И. Горянин, Е. В. Мадякин, Б. Ж. Джангабаев и др. // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(1). С. 52–56. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-52-56>
4. Косенко С. В. Конкурсное сортоиспытание озимой мягкой пшеницы в условиях Пензенской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 3. С. 36–41. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-36-41>
5. Новые сорта озимой мягкой пшеницы — итог реализации разработок по селекции на продуктивность и адаптивность / А. И. Грабовец, М. А. Фоменко, Т. А. Олейникова и др. // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 19–23. doi: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/2/19-23>
6. Агротехника возделывания озимой пшеницы сортов селекции Северо-Кавказского ФНАЦ / Л. Р. Оганян, Ф. В. Ерошенко, В. И. Ковтун и др. // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 3. С. 80–86. DOI: [10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86](https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86).
7. Канцуров М. В., Ильинская И. Н., Рычкова М. И. Влияние агротехнических приемов на урожайность новых сортов озимой пшеницы на черноземах обыкновенных // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 5. С. 88–94. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-94-5-88-94>
8. Роль флаговых листьев в формировании продуктивности растений озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Г. Г. Голева, Т. Г. Ващенко, Т. И. Крюкова и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 2(49). С. 31–42.
9. Уткин А. А., Лукьянов С. Н. Влияние азотной подкормки на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Аграрный вестник Верхневолжья. 2021. № 3(36). С. 30–35. doi: <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-36-3-30-35>
10. Давидянц Э. С. Влияние регуляторов роста растений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на фоне ранневесенней азотной подкормки // Агрохимия. 2022. № 6. С. 45–50. doi: <https://doi.org/10.31857/S0002188122060047>
11. Долгополова Н. В., Бабаскина А. А. Влияние стимуляторов роста на развитие и продуктивность озимой пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 34–41.
12. Borill P., Fahy B., Smith A. M., Uaya C. Wheat grain filling is limited by grain filling capacity rather than

the duration of flag leaf photosynthesis: a case study using NAM RNAi plants // PLoS ONE. 2015. Vol. 10. No. 8. e0134947. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134947>

13. Фетюхин И. В., Баранов А. А. Интегрированная защита озимой пшеницы от сорняков // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1(61). С. 6–9.

14. Фитосанитарное состояние и урожайность озимой пшеницы в севооборотах лесостепной зоны Поволжья / А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсёвалов, И. А. Тойгильдина и др. // Аграрная наука. 2021. № 11–12(354). С. 82–87.

15. Влияние органической, органо-минеральной и минеральной систем удобрения на свойства почвы и урожайность озимой пшеницы в Среднем Поволжье / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, А. Е. Яшин и др. // Агрохимия. 2022. № 2. С. 13–21.

16. Оценка эффективности предпосевной обработки семян и посевов биологически активными веществами на яровой пшенице в условиях Предкамья Республики Татарстан / М. Ф. Амиров, А. Я. Сафиуллин, М. Ю. Гилязов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 5–12.

17. Эффективность применения элементов технологии точного земледелия при возделывании озимой пшеницы в производственных условиях / Н. П. Мишуров, Д. А. Петухов, Е. В. Бондаренко и др. // Техника и оборудование для села. 2020. № 5(275). С. 12–15. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-5-12-15>

18. Влияние удобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы / Р. В. Мимонов, В. Ф. Шаповалов, Е. В. Смольский и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 8. С. 6–12.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Амиров Марат Фуатович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru

Цветков Тимур Сергеевич – аспирант кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: cvetkovtimyr@mail.ru

Семенов Павел Геннадьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

EFFECT OF MEGAFOL AND KVANTIS BIOSTIMULANTS ON PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF WINTER SOFT WHEAT IN KAMA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

M. F. Amirov, T. S. Tsvetkov, P. G. Semenov

Abstract. The aim of this study was to evaluate the effect of the Megafol and Kvantis biostimulants on the development of productivity factors, yield and grain quality indicators of Skipetr and Fotinya winter soft wheat varieties in Kama region of the Republic of Tatarstan. Field experiments were conducted in 2022–2023 on gray forest medium loam soil of Agrobiotechnopark Scientific and Production Center of Kazan State Agrarian University. The experimental scheme included four options: control (without spraying), Megafol (2 l/ha), Kvantis (2 l/ha) and a combined treatment of Megafol (1 l/ha + 1 l/ha Kvantis) per flag leaf phase. This was combined with a base fertilizer of $N_{32}P_{32}K_{32}$ and an early spring top dressing of N_{34} under a single plant protection system. It was found that the varietal features were mainly manifested in the formation of the mass of 1000 grains and the mass of grain from the ear: Skipetr variety had larger grains, while Fotinya was characterized by increased productive tillering and a more pronounced response of crop structure elements to the application of biostimulants. The most effective treatment was the combined Megafol (1 l/ha) + Kvantis (1 l/ha), providing the maximum yield increase: 7.39 t/ha (+0.50 t/ha; 7.3% compared to the control) for Skipetr and 7.14 t/ha (+0.41 t/ha; 6.1%) for Fotinya. Moreover, Fotinya variety showed an increase in wet gluten content to 35.1–36.5% compared to 33.5% in the control, while Skipetr maintained its initial gluten level (32.8–32.9%) despite increased yield. The results demonstrate the potential effectiveness of using Megafol and Kvantis biostimulants in winter wheat cultivation technology in Kama zone of the Republic of Tatarstan.

Key words: winter wheat (*Triticum aestivum* L.), Skipetr and Fotinya varieties, plant spraying, yield, gluten, Megafol and Kvantis biostimulants.

For citation: Amirov M.F., Tsvetkov T.S., Semenov P.G. Effect of Megafol and Kvantis biostimulants on productivity and grain quality of winter soft wheat in Kama region of the Republic of Tatarstan. Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 4 (16). 6–12 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-6-12>

References

1. Malkanduev KhA, Ashkhotov AM, Malkandueva AKh. [Comparative evaluation of a new highly productive variety of soft winter wheat Yuzhanka on variety testing plots in Rostov, Adygea and Kabardino-Balkaria regions]. Agrarnyy vestnik Urala. 2012; 7. 11–13 p.
2. Sandukhadze BI, Mamedov RZ, Bugrova VV. [Grain productivity and quality of winter soft wheat varieties bred by Nemchinovka Research Center]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2023; Vol.15. 3. 54–59 p. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-54-59>
3. Goryanin OI, Madyakin EV, Dzhangabaev BZh. [Improving of winter wheat cultivation technology in arid conditions of Volga region]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2021; 1(1). 52–56 p. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-52-56>
4. Kosenko SV. [Competitive variety testing of winter soft wheat in Penza region]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2023; Vol.15. 3. 36–41 p. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-86-3-36-41>
5. Grabovets AI, Fomenko MA, Oleynikova TA. [New varieties of winter soft wheat as a result of implementation achievements for productivity and adaptability]. Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki. 2021; 2. 19–23 p. doi: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/2/19-23>
6. Oganyan LR, Eroshenko FV, Kovtun VI. [Agricultural technology for winter wheat varieties cultivation bred by North Caucasus Federal Scientific Center]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2023; Vol.15. 3. 80–86 p. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86.
7. Kantsurov MV, Ilinskaya IN, Rychkova MI. [Influence of agrotechnical practices on the yield of new varieties of winter wheat on ordinary chernozems]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2024; Vol.16. 5. 88–94 p. doi: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-16-5-88-94>

doi.org/10.31367/2079-8725-2024-94-5-88-94

8. Goleva GG, Vashchenko TG, Kryukova TI. [Role of flag leaves in the formation of productivity of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.) plants]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; 2(49). 31-42 p.

9. Utkin AA, Lukyanov SN. [Effect of nitrogen fertilization on productivity and grain quality of winter wheat]. Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. 2021; 3(36). 30-35 p. doi: <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2021-36-3-30-35>

10. Davidiyants ES. [Effect of plant growth regulators on productivity and grain quality of winter wheat under early spring nitrogen fertilization]. Agrokimiya. 2022; 6. 45-50 p. doi: <https://doi.org/10.31857/S0002188122060047>

11. Dolgoplova NV, Babaskina AA. [Effect of growth stimulants on development and productivity of winter wheat]. Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2022; 1. 34-41 p.

12. Borill P, Fahy B, Smith AM, Uaya C. Wheat grain filling is limited by grain filling capacity rather than the duration of flag leaf photosynthesis: a case study using NAM RNAi plants. PLoS ONE. 2015; Vol.10. No.8. e0134947. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134947>

13. Fetyukhin IV, Baranov AA. [Integrated protection of winter wheat from weeds]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2019; 1(61). 6-9 p.

14. Toygildin AL, Podsevalov MI, Toygildina IA. [Phytopathological condition and winter wheat productivity in crop rotations of forest-steppe zone of Volga region]. Agrarnaya nauka. 2021; 11-12(354). 82-87 p.

15. Kulikova AKh, Yashin EA, Yashin AE. [Effect of organic, organomineral and mineral fertilization systems on soil properties and winter wheat productivity in Middle Volga region]. Agrokimiya. 2022; 2. 13-21 p.

16. Amirov MF, Safiullin AY, Gilyazov MYu. [Evaluation of the efficiency of pre-sowing treatment of seeds and crops with biologically active substances on spring wheat in Kama Region of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 5-12 p.

17. Mishurov NP, Petukhov DA, Bondarenko EV. [Efficiency of applying elements of precision farming technology in cultivating winter wheat under production conditions]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2020; 5(275). 12-15 p. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-5-12-15>

18. Mimonov RV, Shapovalov VF, Smolskiy EV. [Effect of fertilizers on winter wheat grain quality indicators]. Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2020; 8. 6-12 p.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Amirov Marat Fuatovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru

Tsvetkov Timur Sergeevich – post-graduate student of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: cvetkovtimyr@mail.ru

Pavel Gennadievich Semenov – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior lecturer of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

СОЗДАНИЕ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НОВОГО СОРТА ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Н. Э. Долженко, А. А. Сухоруков, Д. О. Долженко

Реферат. В статье представлена селекционная работа с озимой мягкой пшеницей в Самарском НИИСХ – филиале СамНЦ РАН, завершившаяся созданием сорта Скирда, и приведены результаты многолетнего (2019...2025 годы) испытания его в сравнении со стандартами Безенчукская 380, Бирюза и Базис. Целью исследований было создание полуинтенсивного среднераннего сорта озимой мягкой пшеницы для условий Самарской области. Годы исследований характеризовались различным комплексом агрометеорологических условий. Сорт Скирда создан методом ступенчатой внутривидовой гибридизации со скрещиванием на последнем этапе линии Эритроспермум 880 с образцом мировой коллекции к-62371 (Siouxland 89, США). По средней урожайности зерна (5,03 т/га) новый сорт превышает стандарты Безенчукская 380, Бирюза и Базис соответственно на 0,98; 0,28 и 0,12 т/га, или 24; 6 и 2%. Максимально реализованная урожайность – 8,77 т/га (2022 год). Прибавка урожайности складывается благодаря увеличению числа зёрен в колосе и массы 1000 зёрен. Сорт среднеранний, вегетационный период 295...313 суток. Высота растения 70...113 см (в среднем 95 см), при этом сорт был среднеустойчив к полеганию в год с избыточным увлажнением. Слабовосприимчив к листовой ржавчине. Доказано присутствие в генотипе кластера генов возрастной устойчивости к стеблевой и листовой ржавчине (Lr34/Yr18/Sr57/Rm38). Зимостойкость и засухоустойчивость сорта Скирда высокие. Качество зерна на уровне ценной пшеницы. Скирда формирует зерно с натурой до 800 г/л, содержанием белка в среднем 14%, клейковины – 31%, валориметрическим числом 64 е. в., числом падения 252 с, объёмным выходом хлеба 784 мл. Сорт Скирда рекомендуется для выращивания на зерно в Средневолжском регионе. Необходима дальнейшая селекционная работа в направлении повышения устойчивости к болезням и качества зерна озимой мягкой пшеницы данного морфотипа.

Ключевые слова: пшеница мягкая озимая (*Triticum aestivum* L.), сорт, урожайность, качество зерна, адаптивность.

Для цитирования: Долженко Н.Э., Сухоруков А.А., Долженко Д.О. Создание и комплексная оценка нового сорта озимой мягкой пшеницы для условий Среднего Поволжья // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 4(16). С. 13-22 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-13-22>

Введение. Озимая пшеница – главная продовольственная культура в России, являющаяся основой продовольственной безопасности страны. При этом качество зерна пшеницы, собираемого в стране, остаётся низким. По данным предварительной оценки качества зерна урожая 2023 года, проведённой ФГБУ «Россельхозцентр», первому классу соответствовало 0,004% от обследованного зерна пшеницы, второму классу – 0,02%, третьему – 19,7%, четвёртому – 59,8% и пятому – 20,5% [1].

Задача повышения устойчивости валовых сборов высококачественного зерна мягкой пшеницы может быть решена путём как совершенствования агротехнологий [2, 3], так и расширения площадей посева новых сортов отечественной селекции, хорошо реализующих генетически заложенный потенциал урожайности и качества зерна [4, 5]. При селекции в конкретных условиях происходит пирамидирование ценных аллелей, которое целенаправленно закрепляется искусственным отбором [6].

В условиях дефицита высококлассного зерна особенно важно создавать сорта мягкой пшеницы с генетически закреплённой способностью формировать сильное и ценное зерно. Хорошо известна отрицательная связь между урожайностью мягкой пшеницы и показателями качества зерна [7, 8, 9]. Тем не менее,

лучшие достижения отечественной селекции сочетают высокую потенциальную и реальную продуктивность с хорошими качествами зерна и муки [10, 11].

Успешной селекции на качество зерна способствует объединение методов маркеропосредованной и традиционной селекции [6]. Маркерами могут служить отдельные компоненты запасных белков [12] или генетические маркеры, ассоциированные с локусами, контролирующими параметры качества [6, 13]. При этом результаты по-прежнему приносит и селекция на качество с использованием лишь оценки непосредственно отдельных показателей качества зерна [12, 14, 15].

В Самарском НИИСХ – филиале СамНЦ РАН селекция озимой мягкой пшеницы ведётся на совмещение в генотипе адаптивности к сложному комплексу агрометеорологических условий Среднего Поволжья и высокому качеству зерна. Среди 11 созданных в институте и допущенных к использованию сортов один сорт (Безенчукская 380) отнесён ФГБУ «Госсорткомиссия» к сильным пшеницам и четыре сорта (Безенчукская 616, Бирюза, Вьюга и Эстафета) – к ценным по качеству [16]. Все эти сорта имеют безостый колос и относятся к различным морфотипам, от экстенсивного высокорослого сорта Безенчукская 380 до интенсивных короткостебельных Вьюги и

Эстафеты. Однако в то же время среди селекционных достижений имеется целый ряд среднерослых сортов с крупным продуктивным остистым колосом – Малахит, Ресурс, Светоч, Базис [17, 18]. Они отличаются высоким достигнутым уровнем адаптивности и урожайности зерна, но не всегда стабильны по качеству. Так, у данных сортов отмечалась значительная вариабельность по годам признака «число падения» [14].

Цель исследований – создать полуинтенсивный среднеранний сорт озимой мягкой пшеницы с качеством зерна не ниже ценного, хорошо приспособленный к условиям Самарской области.

Условия, материалы и методы. Селекционные исследования проведены в 2014–2025 годы на экспериментальном поле Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН, расположенном в южной степной зоне Самарской области.

В качестве материала для исследований использовали коллекционные сортообразцы, гибридные популяции и селекционные линии озимой мягкой пшеницы. В работе применяли метод внутривидовой гибридизации, пересев гибридных популяций, индивидуальный отбор, испытание потомств. Селекционную работу вели по стандартной схеме селекционного процесса, принятой для зерновых культур и модифицированной в Самарском НИИСХ.

В 2014–2018 годы проводили гибридизацию, отбор, размножение и первичное испытание линий в селекционных питомниках, в 2019 году перспективные линии изучались в малом сортоиспытании, в 2020–2025 годы сорт Скирда изучался в питомнике конкурсного сортоиспытания. Стандартами в конкурсном сортоиспытании служили сорта Безенчукская 380, Бирюза и Базис селекции Самарского НИИСХ. Безенчукская 380 – сорт сильной пшеницы, допущенный к использованию в Волго-Вятском, Центральном, Центрально-Чернозёмном, Средневолжском и Уральском регионах. Бирюза – короткостебельный сорт ценной пшеницы, допущенный к использованию по Средневолжскому, Волго-Вятскому и Центрально-Чернозёмному регионам. Базис – среднерослый полуинтенсивный сорт, включённый в Госреестр по Среднему Поволжью [16].

Почва опытного участка – чернозём обыкновенный с содержанием в слое почвы 0–30 см гумуса 3,8–4,0% (ГОСТ 26213-91), легкогидролизующего азота – 44,8 мг/кг почвы (ГОСТ 26951-86), подвижного фосфора – 270 мг/кг почвы, обменного калия – 150 мг/кг почвы (ГОСТ 29205-91). Предшественник – чистый пар. Посев, обмолот, очистку зерна проводили с использованием специализированной селекционной техники. Учётная

площадь делянок 25 м². Повторность четырёхкратная. Удобрения в дозе N₃₀ вносили ранней весной.

Исследования проводили согласно методике Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [19]. Массовая доля белка в зерне определена по ГОСТ 10846-91, количество и качество клейковины в зерне по ГОСТ Р 54478-2011, число падения по ГОСТ 30498-97, натура зерна по ГОСТ 54895-2012, стекловидность зерна по ГОСТ Р 51404-99. Реологические свойства теста определяли по ГОСТ Р 51404-99 (ИСО 5530-1-97) и методическим указаниям Госкомиссии по сортоиспытанию [20]. Разделение зерна на классы (сильные, ценные по качеству, филлеры, слабые пшеницы) проводили по методике Всероссийского центра оценки качества сортов ФГБУ «Госсорткомиссия» [19], в отдельно оговорённых случаях – по Межгосударственному стандарту ГОСТ 34702-2020 «Пшеница хлебопекарная. Технические условия».

Статистическую обработку данных урожайности проводили методом дисперсионного анализа, значимость различий оценивали по НСР₀₅. [21]. Расчёты проводили в программной среде R версии 4.3.2. Коэффициент вариации *i*-го генотипа (CV_{*i*}) рассчитывали по T. R. Francis, L. W. Kanneberg (1978), коэффициент регрессии генотипа на среду (*b_i*) – по S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966) с использованием пакета *agrostab* для R [22, 23].

Условия периода вегетации озимой пшеницы в годы конкурсного испытания различались. Пять лет из семи удавалось получать хорошо развитые с осени посевы. Осенью 2018 года и особенно 2024 года дефицит продуктивной влаги перед посевом и отсутствие осадков привели к появлению изреженных всходов и слабо развитых к прекращению осенней вегетации посевов. Запасы продуктивной влаги на момент посева в 2018 году составляли 22 мм в слое почвы 0–20 см; 59 мм – в слое 0–50 мм и 115 мм – в слое 0–100 см (50–70% от оптимальных значений); в 2024 году данные показатели были равны 15; 36 и 61 мм соответственно (35–42% от оптимума). Температура почвы на глубине узла кущения во время перезимовки в годы исследований не достигала критических значений, зато в сезон 2022/23 годов проявилась ледяная корка, вызвавшая частичную гибель растений. Засушливым периодом от возобновления весенней вегетации до колошения характеризовались 2021 и 2023 годы, устойчивой засухой за весь весенне-летний отрезок вегетации озимой пшеницы – 2019 и 2024 годы. Гидротермический коэффициент (ГТК по Г. Т. Селянинову) периода «возобновление весенней вегетации – колошение» составил в 2019 году – 0,78, в 2020 году – 0,73, в 2021 году – 0,55,

в 2022 году – 2,16, в 2023 году – 0,52, в 2024 году – 0,36, в 2025 году – 1,49. ГТК за межфазный период «колошение–восковая спелость» составил: в 2019 году – 0,20, в 2020 году – 0,70, в 2021 году – 1,20, в 2022 году – 0,84, в 2023 году – 0,67, в 2024 году – 0,63, в 2025 году – 0,67 (при среднемноголетней норме 0,7). Наиболее благоприятными для роста и развития пшеницы условия сложились в наиболее влагообеспеченный сезон 2021/22 годов, когда была получена урожайность зерна 6,2...9,2 т/га, наименее благоприятными – засушливые сезоны 2018/19 и 2023/24 годы с урожайностью зерна 2,7...3,8 т/га, а также 2024/25 сезон, когда значительная часть посевов перезимовала на стадии coleoptile (итоговая урожайность – 2,3...3,0 т/га).

Результаты и обсуждения. На предыдущем этапе селекционного процесса с озимой мягкой пшеницей в Самарском НИИСХ были созданы несколько сортов разновидности erythrospermum, очень хорошо приспособленных к специфическим и разнообразным условиям Среднего Поволжья – Светоч, Ресурс и Базис. Им присущи высокая или выше среднего зимостойкость, способность формировать оптимальную густоту продуктивного стеблестоя в условиях осеннего и ранневесеннего дефицита влаги в почве, быстрые темпы прироста биомассы весной, срок колошения на 5–7 суток раньше стандартного сорта Безенчукская 380, высокая или средняя засухоустойчивость в период налива зерна. Все они формируют крупный продуктивный колос и хорошо выполненное зерно, имеют высокий потенциал продуктивности, отзывчивы на применение удобрений. При средней высоте растений (90–110 см) они имеют прочную соломинку и довольно устойчивы к полеганию.

По совокупности параметров качества зерна сорта Светоч, Базис и Ресурс уступали сорту сильной пшеницы Безенчукская 380, а по отдельным показателям, например, числу падения, оказались нестабильными по годам. Поэтому при дальнейшем развитии селекции данного морфотипа главной целью стало улучшение параметров качества зерна при сохранении уже достигнутого уровня адаптивности.

Другой важной задачей было повышение устойчивости к болезням, поскольку сорта Светоч, Ресурс и Базис, обладая относительной полевой устойчивостью к поражению листовой ржавчиной, в эпифитотийные годы поражались ею до 40...60%.

Селекция в данном направлении проводилась с использованием ступенчатой гибридизации. Как основу для скрещиваний использовали высокоадаптивные сорта и линии собственной селекции. В качестве источников качества зерна и устойчивости к болезням привлекали различные отечественные и зарубежные сортообразцы, выделенные в Самарском НИИСХ при изучении мировой

коллекции ВИР, поступлений из CIMMYT и других селекционных центров.

В числе использованных для селекции коллекционных образцов были Byrd (США; по литературным данным, источник аллелей Glu-A1b, Glu-B1b, Glu-D1a/d [24]), Century (США; Lr10, Lr24, Lr27; Sr2, Sr24, SrAmi; Pm5, Pm17; Glu-A1b, Glu-B1c, Glu-D1d; T1AL.1RS [25]), KS 92 WGRC-16 (США; Lr9, Lr41, Lr37, Lr39; T1AL.1RS; Sr24 [26]), Siouxland 89 (США; Lr3a, Lr10, Lr24, Lr26; Yr9; Pm8; Sr5, Sr24, Sr31, Sr42; T1BL.1RS [27]), Фантазия одесская (Lr30, Lr34; Glu-A1a/b, Glu-B1b, Glu-D1d; Gli-A1b, Gli-B1b, Gli-D1j/g, Gli-A2f, Gli-B2b, Gli-D2r [28]), Юнона (Краснодарский кр.; источник качества зерна [29]), T136/T812*2/Karl (США; источник качества зерна [30]) и многие другие. Цикл скрещиваний с данными сортами проведен в 2012–2020 годы.

При селекционной проработке наиболее результативными оказались комбинации с использованием в качестве материнской формы сестринских линий Эритроспермум 878 (впоследствии – сорт Базис) и Эритроспермум 880, отобранных из популяции от скрещивания Светоч/2/Безостая 1*3/Agent/3/к-63523 (Vista, США). У сорта Базис впоследствии был идентифицирован ген Lr34 [31], который обеспечивает возрастную устойчивость к листовой ржавчине и имеет плеiotропный эффект благодаря наличию в том же кластере генов Yr18, Sr57 и Pm38, отвечающих за устойчивость соответственно к желтой и стеблевой ржавчинам и мучнистой росе [31, 32]. Вполне вероятным было ожидать наличие этого кластера и в геноме линии Эритроспермум 880.

В 2014 году было проведено 10 скрещиваний линии Эритроспермум 880 с различными отцовскими формами, в том числе с образцами мировой коллекции ВИР к-62399 (Century, США), к-62371 (Siouxland 89, США), к-65055 (Turunchuk, Украина), а также образцами из CIMMYT. В 2016 году в гибридных популяциях поколения F₂ от этих скрещиваний выполнены индивидуальные отборы. Их потомство изучали в 2017 году в селекционном питомнике 1 года, в 2018 году – в селекционном питомнике второго года.

Среди номеров, выделившихся в селекционном питомнике второго года, оказались четыре сестринские линии от скрещивания Эритроспермум 880/Siouxland 89, которые характеризовались интенсивными темпами начального роста, формировали крупное, хорошо выполненное зерно, слабо поражались листовой ржавчиной. После этапа малого сортоиспытания в 2019 году одна линия с селекционным номером Эритроспермум 932 была переведена в конкурсное сортоиспытание.

В среднем за три года (2019–2021 годы, включая данные малого сортоиспытания) урожайность зерна перспективного сорта

Эритроспермум 932 составила 4,64 т/га, на 1,02 т/га больше урожая сорта-стандарта Безенчукская 380 и на 0,65 т/га выше урожая лучшего сорта Бирюза. В экологическом сортоиспытании в Поволжском НИИСС и Ульяновском НИИСХ Эритроспермум 932 при урожайности зерна соответственно 4,97 и 4,26 т/га превысил стандарт на 0,66 и 0,23 т/га (или 6...16%). Показатели качества зерна соответствовали требованиям, предъявляемым к сильным и ценным сортам пшеницы. На основании полученных данных было принято решение о передаче сорта на государственное сортоиспытание.

В 2021 году новый сорт под названием Скирда был передан на государственное сортоиспытание (заявка 7852988, дата приоритета 07.10.2021 г. Заявитель – Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СамНЦ РАН). Авторский коллектив – Сухоруков Александр Фёдорович, Сухоруков Андрей Александрович, Долженко Надежда Эдуардовна. Патент на селекционное достижение №14331 выдан 26.08.2025 г.

Сорт Скирда получен методом сложной ступенчатой гибридизации отдалённых эколого-географических форм, в том числе сортов Безостая 1, Кавказ (Краснодарский НИИСХ), Дон 85 (Донской селекционный центр), линий Лютесценс 14345 (Мироновский институт селекции и семеноводства пшеницы) и Безостая 1*3/Agent (Кубанская опытная станция ВИР), коллекционных сортообразцов к-63523 Vista и к-62371 Siouxland 89 (США) (рис. 1).

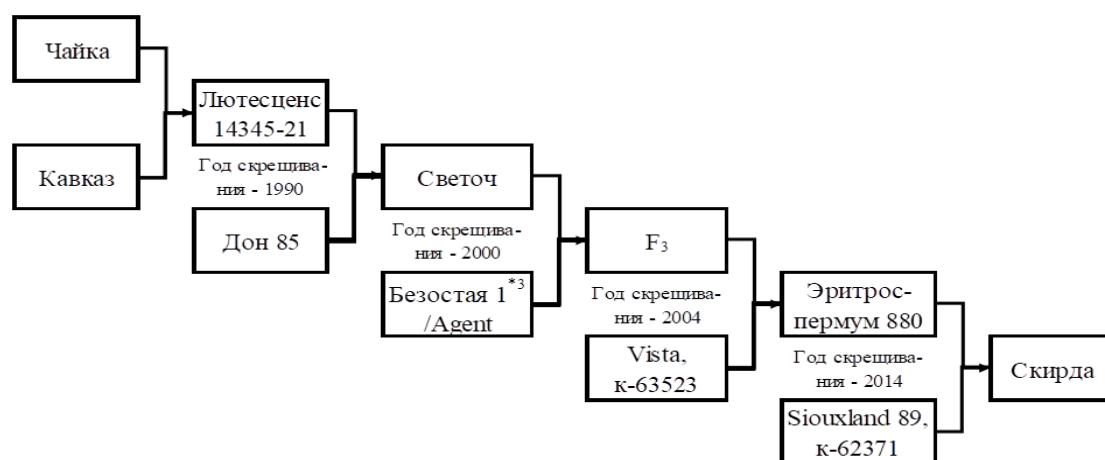


Рис. 1 – Генеалогия сорта озимой мягкой пшеницы Скирда

Сорт Скирда по комплексу морфологических признаков отличается от других сортов. Тип развития – озимый. Колеоптиле без антоциановой окраски. Куст в фазе полного кущения полупрямостоячий. Флаговый лист с окрашенными ушками, выраженность окраски от слабой до средней. Время колошения – среднераннее. Количество растений с наклонённым флаговым листом среднее. Восковой налёт на влагалище флагового листа средний, на колосе – слабый, на верхнем междоузлии – сильный. Стебель полый, растение средней длины–длинное. Колос пирамидальный, средней длины и плотности, белый. Ости средней длины. Плечо нижней колосковой чешуи средней ширины, закруглённое; зубец средней длины, умеренно изогнут, внутренняя сторона чешуи со слабым опушением. Зубец нижней цветковой чешуи от прямого до слегка изогнутого. Зерновка красная.

Урожайность зерна нового сорта за семь лет сортоиспытания приведена в таблице 1. Средняя урожайность зерна у сорта Скирда составила 5,03 т/га с колебаниями от 3,00 до 8,77 т/га. Превышение по отношению к сорту-стандарту Безенчукская 380 составило в среднем 0,98 т/га, к сорту Бирюза – 0,28 т/га, к сорту Базис – 0,12 т/га. При этом сорт Скирда

достоверно превзошёл по урожайности Безенчукскую 380 в пяти случаях из семи, Бирюзу – в трёх случаях, а Базис – лишь в одном. Статистически доказанных провалов у нового сорта не было. Максимальная урожайность зерна сорта Скирда была получена в наиболее благоприятном 2022 году – 8,77 т/га, минимальная – в 2025 году с поздно полученными всходами, 3,00 т/га. По коэффициенту регрессии на среду сорт Скирда следует отнести к среднеотзывчивым на изменение условий среды, наряду с сортом Базис ($b_1 \approx 1$), оба эти сорта занимают промежуточное положение между экстенсивным сортом Безенчукская 380 и интенсивным сортом Бирюза.

Сорт Скирда среднеранний. Вегетационный период 295...313 дней, в среднем 304 дня – на 5 дней короче, чем у Безенчукской 380. Выколашивается на 2...5 дней раньше, чем сорт Безенчукская 380, практически одновременно с сортами Бирюза и Базис (табл. 2).

По высоте растений новый сорт существенно не отличался от сорта Базис. Высота растений за годы исследований варьировала от 70 до 113 см, в среднем 95 см, что на 15 см (или на 13%) ниже, чем у сорта Безенчукская 380 и на 12 см (15%) выше, чем у полукарликового сорта Бирюза.

АГРОНОМИЯ

Таблица 1 – Урожайность зерна сорта озимой мягкой пшеницы Скирда в сравнении со стандартами (Самарский НИИСХ, 2019–2025 годы), т/га

Год	Урожайность				Отклонение от стандартов			НСР ₀₅
	Скирда	Безенчукская 380	Бирюза	Базис	± Безенчукская 380	± Бирюза	± Базис	
2019	3,32	2,78	2,66	3,33	0,54	0,66	-0,01	0,15
2020	6,34	4,65	5,69	5,77	1,69	0,65	0,57	0,25
2021	4,26	3,27	3,62	4,20	0,99	0,64	0,06	0,36
2022	8,77	6,17	9,23	8,56	2,60	-0,46	0,21	0,81
2023	5,73	5,79	5,75	5,93	-0,06	-0,02	-0,20	0,38
2024	3,79	3,33	3,71	3,80	0,46	0,08	-0,01	0,37
2025	3,00	2,34	2,61	2,78	0,66	0,39	0,22	0,76
сред.	5,03	4,05	4,75	4,91	0,98	0,28	0,12	
CV _i , %	38,7	35,2	46,8	38,5				
b _i	1,04	0,74	1,20	1,02				

Таблица 2 – Хозяйственно-биологические свойства сорта озимой мягкой пшеницы Скирда в сравнении со стандартами (Самарский НИИСХ, 2019–2025 годы)

Признак	Скирда	Безенчукская 380	Бирюза	Базис
Продолжительность вегетационного периода, сут.	<u>295...313</u> 304	<u>299...316</u> 309	<u>295...312</u> 304	<u>295...313</u> 304
Период "возобновление вегетации весной –колошение", сут.	<u>44...60</u> 53	<u>49...64</u> 57	<u>44...60</u> 53	<u>44...61</u> 53
Период "колошение-восковая спелость", сут.	<u>44...47</u> 45	<u>45...50</u> 47	<u>43...47</u> 45	<u>44...47</u> 46
Зимостойкость, балл	<u>4,3...5,0</u> 4,7	<u>4,9...5,0</u> 5,0	<u>4,0...5,0</u> 4,6	<u>4,5...5,0</u> 4,7
Устойчивость против полегания, балл	<u>3,3...5,0</u> 4,8	<u>2,2...5,0</u> 4,6	<u>5,0...5,0</u> 5,0	<u>3,9...5,0</u> 4,8
Высота растения, см	<u>70...113</u> 94,7	<u>88...132</u> 109,3	<u>67...102</u> 82,5	<u>74...117</u> 95,3
Длина колоса, см	<u>8,0...9,6</u> 8,7	<u>8,2...11,1</u> 9,6	<u>8,5...10,3</u> 9,1	<u>6,9...9,4</u> 8,6
Продуктивная кустистость	<u>2,4...3,7</u> 3,1	<u>2,7...3,2</u> 3,0	<u>2,2...3,3</u> 2,9	<u>2,9...3,6</u> 3,2
Число зёрен в колосе, шт.	<u>29...41</u> 36,5	<u>22...41</u> 32,3	<u>27...44</u> 37,5	<u>29...42</u> 37,4
Масса 1000 зёрен, г	<u>33,9...47,5</u> 41,4	<u>27,8...41,6</u> 36,5	<u>33,3...44,3</u> 38,7	<u>35,7...47,0</u> 42,1

Примечание: в числителе – размах варьирования по годам (минимум...максимум), в знаменателе – средняя величина признака

Полегание посевов озимой пшеницы за годы исследований наблюдалось только в 2022 году. При этом стандарт Бирюза не полегал, сорт Безенчукская 380 полёг в среднем на 2,2 балла по пятибалльной шкале, где 5 – полная устойчивость. Показатели сортов полунтенсивного острого морфотипа Скирда и Базис составили 3,3 и 3,9 баллов соответственно, что характеризует их как среднеустойчивые к полеганию.

Сорт Скирда проявляет умеренную устойчивость к листовой ржавчине. Максимальное поражение листьев *Puccinia triticea* Erikss. составило 25% (10...25% по годам) при типе реакции 2–3 по шкале Е. В. Mains, Н. S. Jackson. Поражение восприимчивого сорта Безенчукская 380 составило 10...60%, тип реакции 3–4, сорта Бирюза – 5...25% (тип 2–3), сорта Базис – 20...25% (тип 3–4). На основании генеалогии можно было ожидать присутствие в генотипе как минимум одного

или двух генов устойчивости – Lr24 и Lr34/Yr18/Sr57/Pm38. В 2022 году наличие гена Lr34/Yr18/Sr57/Pm38 в генотипе сорта Скирда было подтверждено методом ПЦР с использованием STS-маркера csLV34 [33]. В этом же исследовании проводили оценку устойчивости пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины на стадии проростков. К популяции *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* из Республики Татарстан сорт Скирда проявил устойчивость, к популяции из Саратова – восприимчивость. Такая же реакция была у сортов Базис, Бирюза, Малахит, Светоч. Сорта Безенчукская 380 и Ресурс проявили восприимчивость к обоим популяциям ржавчины [33].

Зимостойкость сорта Скирда высокая, на уровне сортов-стандартов. Засухоустойчивость и жаростойкость – на уровне сорта Базис.

Высокая урожайность сорта Скирда обуславливается главным образом крупным

многозёрным колосом и большой массой зерновки, как и у родственного сорта того же морфотипа Базис. По длине колоса новый сорт даже уступает более раннему сорту Безенчукская 380, но за счёт более плотного колоса формирует больше колосков и зёрен в колосе (на 4,2 шт., или 13%). Масса 1000 зёрен нового сорта варьировала от 33,9 до 47,5 г, в среднем – 41,4 г. Преимущество по средней массе 1000 зёрен составило 4,9 г по сравнению с

Безенчукской 380 и 2,7 г – с сортом Бирюза, или 14% и 7% соответственно.

Отмечено преимущество сорта Скирда по продуктивной кустистости по сравнению со стандартами Безенчукская 380 и Бирюза на 0,1 и 0,2 продуктивного побега на растение, или на 4% и 7% соответственно.

Показатели качества зерна и муки нового сорта приведены в таблице 3 в сравнении со стандартами.

Таблица 3 – Показатели качества зерна сорта озимой мягкой пшеницы Скирда (Самарский НИИСХ, 2019–2025 годы)

Признак	Скирда	Безенчукская 380	Бирюза	Базис
Натура зерна, г/л	<u>758...805</u> 782	<u>762...811</u> 783	<u>754...802</u> 787	<u>746...803</u> 776
Стекловидность, %	<u>55...89</u> 71,6	<u>59...97</u> 74,6	<u>57...85</u> 71,6	<u>51...85</u> 67,4
Содержание клейковины в зерне, %	<u>22,4...43,2</u> 31,0	<u>28,4...47,6</u> 33,8	<u>22,4...45,0</u> 31,4	<u>19,7...42,2</u> 30,5
Содержание белка в зерне, %	<u>11,9...16,6</u> 14,0	<u>13,4...16,6</u> 14,9	<u>11,8...17,1</u> 14,1	<u>10,4...16,4</u> 13,8
Разжижение теста, е.ф.	<u>20...160</u> 64,2	<u>20...120</u> 73,3	<u>40...180</u> 78,3	<u>40...160</u> 86,7
Валориметрическая оценка, е. вал.	<u>48...80</u> 62,8	<u>48...90</u> 68,7	<u>42...90</u> 66,0	<u>33...98</u> 60,5
Число падения, с	<u>116...413</u> 252	<u>256...413</u> 347	<u>281...428</u> 357	<u>74...414</u> 238
Объёмный выход хлеба, мл	<u>655...890</u> 784	<u>630...975</u> 769	<u>650...835</u> 710	<u>570...890</u> 720
Общая оценка качества, балл	<u>4,2...4,9</u> 4,53	<u>4,1...4,6</u> 4,44	<u>4,4...4,6</u> 4,48	<u>3,8...4,5</u> 4,23

Если сравнивать с сортом сильной пшеницы Безенчукская 380, новый сорт превосходит его по показателю фаринографа «разжижение теста», в среднем на 9 е.ф., или 13%, но уступает по стекловидности (на 3% абс. или 4% отн.), содержанию в зерне белка (на 0,9% абс. или 6% отн.) и клейковины (на 2,8% абс. или 8% отн.), валориметрическому числу (на 5,8 е.в. или 9%) и числу падения (на 95 с, или 27%). По натуре зерна, объёмному выходу хлеба и общей хлебопекарной оценке Безенчукская 380 и Скирда похожи.

Если сравнивать сорт Скирда с ранее созданным сортом того же морфотипа Базис, то обнаруживается преимущество нового сорта по показателям стекловидности, разжижению теста, объёму хлеба и общей оценке качества хлеба – на 4,2%, 22,5 е.ф., 64 мл и 0,3 балла соответственно, или на 6; 26; 9 и 7%. Проявление остальных измеренных признаков качества у этих двух сортов было почти одинаковым.

В целом следует отметить, что сорт Скирда имеет потенциал сильной пшеницы по классификационным нормам ФГБУ «Госсорткомиссия». Средние значения стекловидности зерна, содержания белка и клейковины в зерне, разжижения теста, хлебопекарной оценки превышают соответствующие пороговые значения на сильную пшеницу, валориметрической оценки – на ценную пшеницу. Снижение содержания клейковины до

значений филлера наблюдалось лишь в 2022 году при уровне урожайности зерна 8,77 т/га, снижение белковости – в 2022, 2023 и 2024 годы, при высокой урожайности или засушливом весенне-летнем периоде вегетации. Лимитирующим показателем является объёмный выход хлеба – по методике ФГБУ «Госсорткомиссия» он только четыре года из семи достигал значений филлера. Хотя если брать в расчёт нормы Межгосударственного стандарта ГОСТ 34702-2020 «Пшеница хлебопекарная. Технические условия», то во все годы исследований объём хлеба у сорта Скирда и стандартов соответствовал норме на сильную пшеницу (не менее 400 см³).

Важнейший показатель – число падения – у сорта Скирда составил в среднем 252 с. Ниже границы для ценной пшеницы (200 с по ГОСТ 34702-2020) число падения опускалось два года из семи, в том числе в 2024 году – ниже границы для слабой пшеницы (120 с). Для сравнения, у сорта Базис среднее значение признака равнялось 238 с, причём два года число падения было ниже уровня слабой пшеницы, а один – ниже филлера. У сортов Безенчукская 380 и Бирюза ежегодно число падения соответствовало сильной пшенице, что отразилось и на средних значениях признака – 347 и 357 с соответственно. Сорт Скирда уступил этим сортам по числу падения 27% и 29% соответственно.

Можно сделать вывод, что в сорте Скирда

получил максимальное выражение полуинтенсивный среднеранний среднерослый остистый морфотип, формирующий урожайность за счёт крупного продуктивного колоса. Урожайность зерна новый сорт имеет на уровне родственного сорта того же морфотипа Базис, небольшое улучшение наблюдается по некоторым показателям качества зерна (число падения, стекловидность, разжижение теста по фаринографу). Дальнейшее улучшение данного морфотипа возможно за счёт привлечения в гибридизацию эффективных доноров устойчивости к листовым болезням и признаков качества зерна, особенно числа падения.

Сорт Скирда рекомендуется для возделывания в 7 (Средневолжском) регионе госреестра Российской Федерации. Предпочтительный предшественник – чистый пар. Срок посева – 25 августа – 5 сентября, норма высева 5 млн. всхожих семян на 1 га. Удобрения $N_{45}P_{45}K_{30}$. Обязательным является протравливание семян и защита посевов от клопа вредной черепашки.

Выводы. В результате проведённых в Самарском НИИСХ многолетних исследований создан полуинтенсивный среднеранний сорт

озимой мягкой пшеницы Скирда с урожайностью до 8–9 т/га и качеством зерна на уровне ценной пшеницы с отдельными показателями сильной в благоприятные годы». Сорт Скирда формирует зерно с натурой до 800 г/л, содержанием белка и клейковины в среднем 14% и 31% соответственно, валориметрическим числом 64 е.в., числом падения 252 с, объёмным выходом хлеба 784 мл. Основной недостаток сорта по качеству зерна – нестабильность числа падения, что требует дальнейшей селекции.

Новый сорт среднеустойчив к листовой ржавчине, показывает неоднозначные результаты по устойчивости к стеблевой ржавчине на стадии проростков, содержит распространённый среди озимых сортов мягкой пшеницы кластер $Lr34/Yr18/Sr57/Pm38$.

Сорт Скирда представляет интерес для производства и селекционных программ как высокоурожайный сорт с хорошим уровнем адаптации к засушливым условиям Среднего Поволжья. Сделан вывод о необходимости дальнейшей селекционной работы с данным морфотипом в направлении повышения устойчивости к болезням и качества зерна.

Литература

1. О качестве зерна нового урожая на 10 августа 2023 года [Электронный ресурс] – URL: <https://roselshoscenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/tsentralnyy-okrug/moskva/o-kachestve-zerna-novogo-urozhaya-na-10-avgusta-2023-goda/>. Дата обращения 15.09.2025 г.
2. Бакаева Н. П., Запрометова Л. В. Биологизация агротехнологии озимой пшеницы на повышение урожайности и углеводную направленность в условиях Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2. С. 11–18. doi: 10.55471/19973225_2022_7_2_11
3. Приемы повышения урожайности и качества зерна озимой мягкой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья / К. Е. Денисов, А. В. Кривохижин, А. Н. Никитин [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 22–25. doi: 10.28983/asj.y2023i6pp22-25
4. Система увеличения производства высококачественного зерна пшеницы / Е. В. Журавлева, Н. З. Милащенко, С. Н. Сапожников [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 3. С. 7–10. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10301
5. Сидорова Е. К. Результативность селекции пшеницы мягкой озимой на повышение урожайности на примере сортосмены в Орловской области // Вестник аграрной науки. 2022. № 2 (95). С. 165–170. doi: 10.17238/issn2587-666X.2022.2.165
6. Маркер-ориентированная селекция яровой мягкой пшеницы на повышение урожайности, качества зерна, устойчивости к болезням и засухе в условиях Западной Сибири / С. С. Шепелев, И. В. Потоцкая, А. С. Чурсин [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 2. С. 18–25. doi: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-18-25
7. Демина И. Ф. Корреляционная зависимость урожайности и показателей качества зерна образцов яровой пшеницы от агроэкологических условий // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 3 (387). С. 278–281. doi: 10.55186/25876740_2022_65_3_278
8. Горянин О. И., Мадякин Е. В. Урожайность и качество зерна новых сортов яровой пшеницы в Поволжье // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 26–32. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-26-32
9. Таранова Т. Ю., Роменская С. Е. Влияние агроклиматических условий на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Средневолжского региона // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. 2023. Т. 2. № 2 (6). С. 15–20. doi: 10.37313/2782-6562-2023-2-2-15-20
10. Урожайность и качество зерна новых сортов мягкой озимой пшеницы селекции "Северо-Кавказский ФНАЦ" / Н. А. Галушко, Н. И. Соколенко, Я. С. Крайнева [и др.] // Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 4 (16). С. 12–22. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/002.4.16.2023
11. Урожайность и качество зерна сортов озимой мягкой пшеницы селекции "ФИЦ "Немчиновка" / Б. И. Сандухадзе, Р. З. Мамедов, В. В. Бугрова [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 3. С. 54–59. doi: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-54-59
12. Чебатарева М. В., Лепехов С. Б. Роль аллельного состояния высокомолекулярных глютеинов мягкой пшеницы в улучшении качественных показателей её зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 5. С. 10–15. doi: 10.53083/1996-4277-2022-211-5-10-15
13. Идентификация генов качества зерна среди сортов озимой мягкой пшеницы / И. В. Потоцкая, С. С. Шепелев, А. С. Чурсин [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 2. С. 43–48. doi: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-43-48
14. Сухоруков А. Ф., Сухоруков А. А., Бугакова Н. Э. Адаптивный потенциал сортов пшеницы мягкой

мягкой озимой по качеству зерна в Среднем Поволжье // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 6 (78). С. 62-66. doi: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-62-66

15. Селекционное улучшение яровой шарозерной пшеницы *Triticum sphaerosossum* Percival в условиях Средневолжского региона / Д. Ф. Асхадуллин, Д. Ф. Асхадуллин, Н. З. Василова [и др.] // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. Т. 184. № 1. С. 21–32. doi: 10.30901/2227-8834-2023-1-21-32

16. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 620 с.

17. Сухоруков А. Ф., Сухоруков А. А. Методы и результаты селекции озимой мягкой пшеницы // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20. № 2-2 (82). С. 235–238.

18. Сухоруков А. Ф., Сухоруков А. А. Сорт пшеницы мягкой озимой Базис // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 12. С. 48–51. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11209

19. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под ред. М. А. Федина. М.: Без издательства, 1989. Выпуск 2. 193 с.

20. Методика государственного сортоиспытания. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / Под ред. М. А. Федина. М.: «Колос». 1988. 121 с.

21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.

22. Package 'agrostab': Stability Analysis for Agricultural Research. Version: 0.1.0 / Anna Cheshkova. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/agrostab/index.html>, свободный доступ, дата обращения 01.03.2024. Требования: R (≥ 3.1)

23. Реализация методов оценки стабильности сортов сельскохозяйственных культур в пакете функций *agrostab* программной среды R / А. Ф. Чешкова, И. Г. Гребенникова, А. Ф. Алейников и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 7. С. 91-96. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10716

24. Registration of 'Byrd' Wheat / S. D. Haley, J. J. Johnson, F. B. Peairs, et al. // *J. Plant Registrations*. 2012. Vol. 6 (3). P. 302–305. doi:10.3198/jpr2011.12.0672erc

25. Century // GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale) [электронный ресурс]. URL: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/11985>. Дата обращения 15.09.2025 г.

26. KS 92 WGRC-16 // GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale) [электронный ресурс]. URL: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/33140>. Дата обращения 15.09.2025 г.

27. Siouxland 89 // GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale) [электронный ресурс]. URL: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/57745>. Дата обращения 15.09.2025 г.

28. Fantaziya-odesskaya // GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale) [электронный ресурс]. URL: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/19728>. Дата обращения 15.09.2025 г.

29. Селекционное улучшение озимой пшеницы по признаку "число падения" / А. Ф. Сухоруков, А. А. Сухоруков, Е. Н. Шаболкина [и др.] // *Зерновое хозяйство России*. 2017. № 3 (51). С. 40–43.

30. Сухоруков А. Ф., Сухоруков А. А., Моргунов А. И. Селекционная ценность образцов пшеницы мягкой озимой CIMMYT и ICARDA в Среднем Поволжье // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2015. № 4. С. 23–26.

31. Гульяева Е. И., Шайдаюк Е. Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // *Биотехнология и селекция растений*. 2021. Т. 4. № 2. С. 15–27. doi: 10.30901/2658-6266-2021-2-02

32. Introgression of the Bread Wheat D Genome Encoded Lr34/Yr18/Sr57/Pm38/Ltn1 Adult Plant Resistance Gene into *Triticum Turgidum* (Durum Wheat) / H. Li, P. Zhang, M. Luo, et al. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2023. V. 136. № 11. P. 226. doi: 10.1007/s00122-023-04466-z

33. Evaluation of Resistance to Stem Rust and Identification of Sr-Genes in Russian Spring and Winter Wheat Cultivars in the Volga Region / O. Baranova, V. Solyanikova, E. Kyrova, et al. // *Agriculture*. 2023. Т. 13. № 3. P. 635. doi: 10.3390/agriculture13030635

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБНУ Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (до 2019 г.), ФГБНУ Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (с 2020 г.). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Сведения об авторах:

Долженко Надежда Эдуардовна - младший научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы, e-mail: bugakova1987@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5029-6258>

Сухоруков Андрей Александрович - кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы, e-mail: samniish@mail.ru

Долженко Дмитрий Олегович - кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы, e-mail: ddolzenko75@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2004-329X>

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова, пгт. Безенчук, Самарская обл., Россия.

DEVELOPMENT AND COMPREHENSIVE EVALUATION OF A NEW WINTER SOFT WHEAT VARIETY FOR MIDDLE VOLGA REGION

N. E. Dolzhenko, A. A. Sukhorukov, D. O. Dolzhenko

Abstract. The article presents the breeding work with winter soft wheat at Samara Research Institute of Agriculture, a branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, culminating in the development of Skirda variety. The results of a long-term (2019-2025) trial are presented, comparing it with Bezenchukskaya 380, Biryuza and Bazis standards. The aim of the research was to develop a semi-intensive mid-early winter soft wheat variety for Samara region. The years of research were characterized by varying agrometeorological conditions. Skirda variety was created by step-wise intraspecific hybridization with the final crossing of *Erythrospermum* 880 line with the world collection sample k-62371 (Siouxland 89, USA). In terms of average grain yield (5.03 t/ha), the new variety exceeds Bezenchukskaya 380, Biryuza and Bazis standards by 0.98; 0.28 and 0.12 t/ha, respectively, or 24; 6 and 2%. The maximum realized yield is

8.77 t/ha (2022). The productivity increase is due to the increase in the number of grains per ear and the 1000-grain weight. The variety is mid-early, the vegetation period is 295-313 days. Plant height is 70-113 cm (average 95 cm), while the variety was moderately resistant to lodging in the year with excess moisture. Weakly susceptible to leaf rust. The presence of a gene cluster for age-related resistance to stem and leaf rust (Lr34/Yr18/Sr57/Pm38) in the genotype has been proven. The Skirda variety has high winter hardiness and drought resistance. Grain quality is on the level of valuable wheat. Skirda forms grain with a natural weight of up to 800 g/l, an average protein content of 14%, gluten - 31%, a vigorous value of 64 units of weight, a falling number of 252 sec and a volumetric yield of 784 ml of bread. The Skirda variety is recommended for growing grain in Middle Volga region. Further breeding work is needed to improve disease resistance and grain quality in this morphotype of winter soft wheat.

Key words: winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.), variety, productivity, grain quality, adaptability.

For citation: Dolzhenko N.E., Sukhorukov A.A., Dolzhenko D.O. Development and comprehensive evaluation of a new winter soft wheat variety for Middle Volga region. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4 (16). 13-22 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-13-22>

Reference

1. On the quality of grain of the new harvest as of August 10, 2023. [Internet]. [cited 2025, September 15]. Available from: <https://rosselhocenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/tsentralnyy-okrug/moskva/o-kachestve-zerna-novogo-turozhaya-na-10-avgusta-2023-goda/>.
2. Bakaeva NP, Zaprometova LV. [Biologization of winter wheat agrotechnology to increase yield and carbohydrate focus in the conditions of Middle Volga region]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 2. 11-18 p. doi: 10.55471/19973225_2022_7_2_11
3. Denisov KE, Krivokhizhin AV, Nikitin AN. [Methods for increasing the productivity and grain quality of winter soft wheat in lower Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2023; 6. 22-25 p. doi: 10.28983/asj.y2023i6pp22-25
4. Zhuravleva EV, Milashchenko NZ, Sapozhnikov SN. [System for increasing the production of high-quality wheat grain]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. Vol.34. 3. 7-10 p. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10301
5. Sidorova EK. [Effectiveness of soft winter wheat breeding to increase yield using the example of variety change in Orel region]. *Vestnik agrarnoy nauki*. 2022; 2 (95). 165-170 p. doi: 10.17238/issn2587-666X.2022.2.165
6. Shepelev SS, Pototskaya IV, Chursin AS. [Marker-assisted breeding of spring soft wheat to increase yield, grain quality, resistance to diseases and drought in Western Siberia]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2023; Vol.15. 2. 18-25 p. doi: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-18-25
7. Demina IF. [Correlation dependence of yield and grain quality indicators of spring wheat samples on agroecological conditions]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2022; 3 (387). 278-281 p. doi: 10.55186/25876740_2022_65_3_278
8. Goryanin OI, Madyakin EV. [Productivity and grain quality of new varieties of spring wheat in Volga region]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2023; 3 (63). 26-32 p. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-3-26-32
9. Taranova TYu, Romenskaya SE. [Influence of agroclimatic conditions on productivity and grain quality of spring soft wheat in Middle Volga region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Selskokhozyaystvennyye nauki*. 2023; Vol.2. 2 (6). 15-20 p. doi: 10.37313/2782-6562-2023-2-2-15-20
10. Galushko NA, Sokolov NI, Krayneva YaS. [Productivity and grain quality of new varieties of soft winter wheat bred by North Caucasus Federal Scientific Center]. *Selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2023; 4 (16). 12-22 p. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/002.4.16.2023
11. Sandukhadze BI, Mamedov RZ, Bugrova VV. [Productivity and grain quality of winter soft wheat varieties bred at Nemchinovka Research Center]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2023; Vol.15. 3. 54-59 p. doi: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-54-59
12. Chebatereva MV, Lepekhov SB. [The role of the allelic state of high-molecular glutenins of soft wheat in improving the quality indicators of its grain]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 5. 10-15 p. doi: 10.53083/1996-4277-2022-211-5-10-15
13. Pototskaya IV, Shepelev SS, Chursin AS. [Identification of grain quality genes among winter soft wheat varieties]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2024; Vol.16. 2. 43-48 p. doi: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-43-48
14. Sukhorukov AF, Sukhorukov AA, Bugakova NE. [Adaptive potential of winter soft wheat varieties for grain quality in Middle Volga region]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2021; 6 (78). 62-66 p. doi: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-62-66
15. Askhadullin DF, Askhadullin DF, Vasilova NZ. [Breeding improvement of spring ball wheat *Triticum sphaerococcum* Percival in the conditions of Middle Volga region]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2023; Vol.184. 1. 21-32 p. doi: 10.30901/2227-8834-2023-1-21-32
16. Gosudarstvennyy reestr sortov i gibridov selskokhozyaystvennykh rasteniy, dopushchennykh k ispolzovaniyu: ofitsialnoe izdanie. [State register of varieties and hybrids of agricultural plants, approved for use: official publication]. Moscow: FGBNU Rosinformagrotekh. 2024; 620 p.
17. Sukhorukov AF, Sukhorukov AA. [Methods and results of winter soft wheat breeding]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2018; Vol.20. 2-2 (82). 235-238 p.
18. Sukhorukov AF, Sukhorukov AA. [Soft winter wheat of Bazis variety]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019; Vol.33. 12. 48-51 p. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11209
19. Fedin MA. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Moscow: Bez izdatelstva. 1989; Vypusk 2. 193 p.
20. Fedin MA. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya. Tekhnologicheskaya otsenka zernovykh, krupyanykh i zernobobovykh kultur. [Methodology of state variety testing. Technological assessment of grain, cereal and leguminous crops]. Moscow: Kolos. 1988; 121 p.
21. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta. [Methodology of field experiments]. Moscow: Alyans. 2014; 351 p.
22. Package "agrostab": stability analysis for agricultural research. Version: 0.1.0 / Anna Cheshkova. [cited 2024, March 01]. Available from: <https://cran.r-project.org/web/packages/agrostab/index.html>, svobodnyi dostup. Trebovaniya: R (≥ 3.1)
23. Cheshkova AF, Grebennikova IG, Aleynikov AF. [Implementation of methods for assessing the stability of agricultural crop varieties in the agrostab function package of the R software environment]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020; Vol.34. 7. 91-96 p. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10716 (нумерацию 22, 23 поправила)
24. Haley SD, Johnson JJ, Peairs FB. Registration of "Byrd" Wheat. *J. Plant Registrations*. 2012; Vol.6 (3). 302-305 p. doi:10.3198/jpr2011.12.0672crc

25. Century. [Internet]. GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale). [cited 2026, September 15]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/11985>.
26. KS 92 WGRC-16. [Internet]. GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale). [cited 2026, September 15]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/33140>.
27. Siouland 89. [Internet]. GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale). [cited 2026, September 15]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/57745>.
28. Fantaziya-odesskaya. [Internet]. GRIS (Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale). [cited 2026, September 15]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net/sort/show/19728>.
29. Sukhorukov AF, Sukhorukov AA, Shabolkina EN. [Breeding improvement of winter wheat based on the “falling number” trait]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2017; 3 (51). 40-43 p.
30. Sukhorukov AF, Sukhorukov AA, Morgunov AI. [Breeding value of CIMMYT and ICARDA soft winter wheat accessions in Middle Volga region]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2015; 4. 23-26 p.
31. Gulyaeva EI, Shaydayuk EL. [Identification of leaf rust resistance genes in new Russian varieties of common wheat]. *Biotehnologiya i selektsiya rasteniy*. 2021; Vol.4. 2. 15-27 p. doi: 10.30901/2658-6266-2021-2-o2
32. Li H, Zhang P, Luo M. Introgression of the bread wheat D genome encoded Lr34/Yr18/Sr57/Pm38/Ltn1 adult plant resistance gene into *Triticum Turgidum* (Durum Wheat). *Theoretical and Applied Genetics TAG*. 2023; V.136. 11. 226 p. doi: 10.1007/s00122-023-04466-z
33. Baranova O, Solyanikova V, Kyrova E. Evaluation of resistance to stem rust and identification of sr-genes in Russian spring and winter wheat cultivars in Volga region. *Agriculture*. 2023; Vol.13. 3. 635 p. doi: 10.3390/agriculture13030635

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. The work was funded by the budget of Samara Research Institute of Agriculture (until 2019) and Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (since 2020). No additional grants were received for the conduct or management of this specific study.

Authors:

Dolzhenko Nadezhda Eduardovna - junior researcher of Common Wheat Breeding and Genetics Laboratory, e-mail: bugakova1987@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5029-6258>
 Sukhorukov Andrey Aleksandrovich - Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Common Wheat Breeding and Genetics Laboratory, e-mail: samniish@mail.ru
 Dolzhenko Dmitriy Olegovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, leading researcher of Common Wheat Breeding and Genetics Laboratory, e-mail: ddolzhenko75@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2004-329X>
 Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaykov, Bezenchuk urban-type settlement, Samara region, Russia.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН СОРТОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО ПРИ РАЗНЫХ СРОКАХ ПОСЕВА В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Т. В. Маракаева, В. С. Яковлева

Реферат. Лен масличный остается важной, востребованной и стабильно возделываемой сельскохозяйственной культурой практически во всех регионах Российской Федерации, ценящейся за высокое содержание масла и полезных веществ. Одним из важнейших агротехнических приемов возделывания культуры в нестабильных климатических условиях Западной Сибири считается подбор оптимального срока посева. При установлении срока посева учитываются конкретные факторы — от биологических особенностей сортов до погодных условий климатической зоны. Проведенные исследования показали, что наибольшее значение урожайности семян (от 1,74 до 2,54 т/га), количества коробочек на растении (в среднем 53,3 шт.), содержания масла (от 42,9 до 48,8%) и массы 1000 семян (от 4,9 до 6,8 г) отмечено в слабо засушливом 2024 году. Оптимальным для льна масличного в условиях южной лесостепи Западной Сибири является ранний срок посева (13 мая), при котором все изученные сорта сформировали высокий уровень урожая (1,81 - 2,43 т/га). Задержка с посевом на одну-две недели приводит к значительному снижению урожайности (до 66% от посева 13 мая), связанному с сокращением вегетационного периода и ухудшением условий для налива семян. Наибольшая масличность (42,9–48,8%) фиксируется при посеве в первую декаду мая, а более поздние сроки (20 и 27 мая) приводят к его снижению на 1–4%. Наибольшую среднюю урожайность за годы исследований показали сорта Итиль (2,14 т/га), Рашель (2,12 т/га) и Еруслан (2,21 т/га). Однако сорт Рашель наиболее резко реагирует снижением урожая на поздние сроки посева (до 66,0% от варианта 13 мая). Наибольшую устойчивость урожая к задержке посева проявил сорт Еруслан ($CV = 3\%$). Проведенный дисперсионный анализ показал, что на изменчивость количества коробочек на растении, количества семян в коробочке и массы 1000 семян наибольшее влияние оказывает взаимодействие трех факторов (генотип $\times$ срок посева $\times$ год) — 28,3%, 24,4% и 26,4% соответственно.

Ключевые слова: лен масличный, *Linum usitatissimum*, сорт, срок посева, структура урожая, урожайность, качество семян.

Для цитирования: Маракаева Т.В., Яковлева В.С. Урожайность и качество семян сортов льна масличного при разных сроках посева в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 4(16). С. 23-29 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-23-29>

Введение. На сегодняшний день лен масличный (*Linum usitatissimum*) продолжает занимать важное место среди технологических культур регионов Российской Федерации [1]. За последний год в стране отмечено увеличение его посевных площадей на

18,4% (на 259,6 тыс. гектаров), достигнув 1 669,9 тыс. га. При этом урожайность льна в массе после доработки снизилась на 6,3% и составила 8,38 центнера с гектара, тогда как в предыдущем году она равнялась 8,94 ц/га (рис. 1) [2].

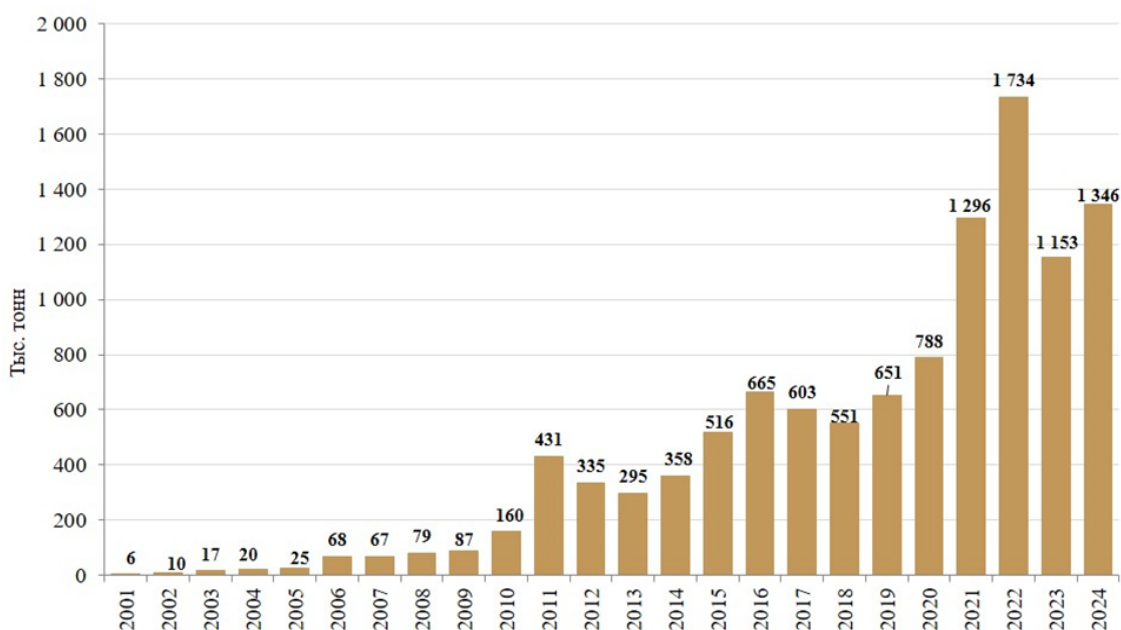


Рис. 1 – Валовые сборы льна масличного в весе после доработки в России в 2001-2024 годы

Эта культура сохраняет свою актуальность благодаря экологической ценности, широкому спектру применений и высоким экономическим показателям [3]. В 2024 году лидерами по урожаю льна стали пять

регионов: Алтайский край, Омская область, Курганская область, Ростовская область и Челябинская область. На эти регионы пришлось в совокупности 50,7% от общего сбора льна (рис. 2) [4].

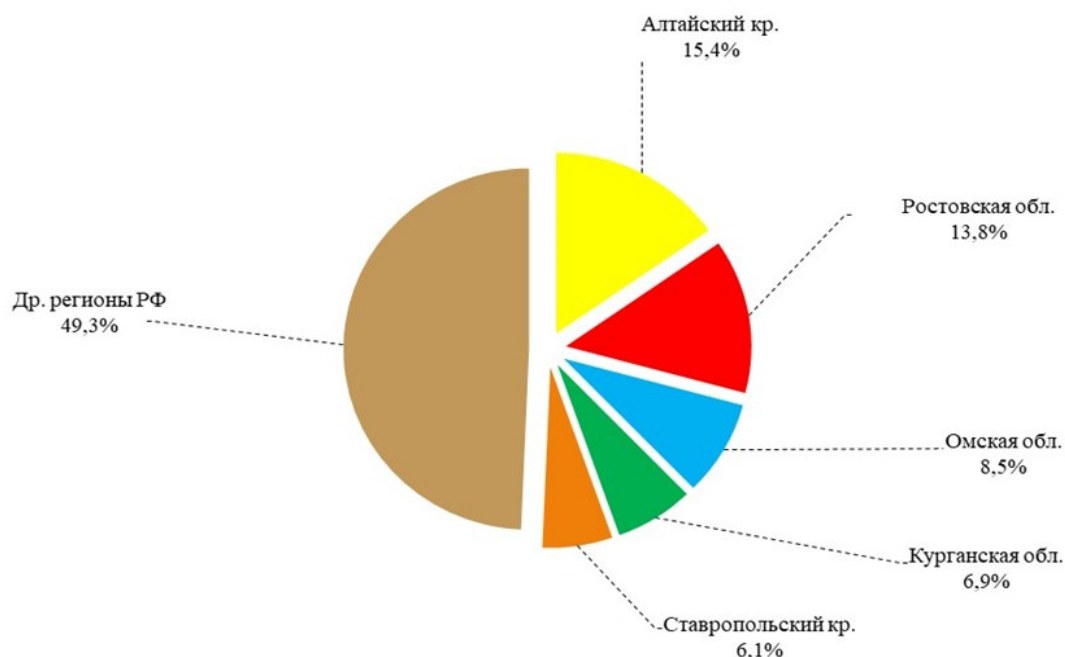


Рис. 2 – Доля ТОП-5 регионов в общем объеме валовых сборов льна масличного в России в 2024 году

В регионе Омской области посевные площади льна ежегодно составляют порядка 10–12 тысяч гектаров, что свидетельствует о стабильном интересе сельхозтоваропроизводителей к культуре [5]. Валовой сбор семян за год достиг 8,5–10 тысяч тонн, что отражает успешную реализацию потенциала урожая при соблюдении современных агротехнических рекомендаций [6].

С биохимической точки зрения, семена льна являются ценным источником масла, богатого полиненасыщенными жирными кислотами, такими как омега-3, омега-6 и олеиновая кислота [7]. Их содержание в масле достигает 15–21%, что делает лен одним из лучших источников омега-3 – важного компонента для здоровья и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний [8]. Помимо масла, семена содержат значительное количество белков (25–30%) и клетчатки (30–35%), повышая их ценность для здорового питания и диетотерапии [9].

Особое значение в условиях Омской области имеет правильный подбор сроков посева [10]. Короткий вегетационный период (обычно 78–90 дней в зависимости от сорта и климатической зоны) требует точного определения оптимальных сроков посева, что существенно влияет на развитие растения, урожайность и качество продукции [11]. Чрезмерно ранние сроки посева приведут к негативному воздействию поздних заморозков и низких температур, что снизит рост и развитие

культуры, а посев в слишком поздние сроки – приведет к укорочению вегетационного периода, снижению урожая и ухудшению качества семян [12]. Правильный подбор сроков посева позволяет максимально использовать климатические условия региона, обеспечить полноценное развитие растений, повысить урожайность и обеспечить стабильный результат при выращивании льна в регионе [13].

Цель исследований – определить влияние различных сроков посева на урожайность и качество семян сортов льна масличного в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Условия, материал и методы. Исследования проведены в течение трех вегетационных сезонов (2023–2025 годы) на территории учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омская обл.) [14]. Исследовали 5 сортов льна масличного российской селекции (Итиль, Рашель, Еруслан, Артем, Янтарь). Посев проведен в три срока: 13, 20 и 27 мая на делянках с учетной площадью 5 м² (1 x 5 м) рядовым способом на глубину 4 см и нормой высева 5 млн. всхожих семян на гектар. Повторность в опыте четырехкратная. Опытные делянки располагали систематически. В качестве контроля использовали посев 13 мая (первый срок). Опытный участок расположен на лугово-черноземной среднесуглинистой малогумусовой среднесуглинистой почве. По результатам агрохимического анализа она характеризуется

следующими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) составляет 3,95%, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 154 мг/кг и 236 мг/кг, кислотность почвы близка к нейтральной (рН_{сол.} 6,5), сумма обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ (по ГОСТ 26423-85) – соответственно 15,8 ммоль/100 г и 5,7 ммоль/100 г [15].

За предыдущие годы климатические условия региона характеризовались значительными колебаниями. Неравномерные осадки приводили к частым засухам и суховеям в первой половине вегетационного периода, а во второй, наоборот, к продолжительным, а местами ливневым дождям. Существенной агроклиматической проблемой региона являлись жаркие сезоны и почвенная засуха. Зимы становятся более тёплыми и менее снежными. Зачастую отмечается раннее наступление весны. Все это влияет на продолжительность вегетационного периода, увеличивая ее [16]. В рассматриваемые годы эти климатические явления подтверждаются следующими данными: за вегетационный период сумма активных температур ($t \geq 10^{\circ}\text{C}$) превысила среднемноголетнюю норму (2173°C) на 310°C в 2023 году, на 275°C – в 2024 году, и на 208°C – в 2025 году. Объем осадков также показал превышение над нормой (220 мм): в 2024 году – на 53,7%, в 2025 году – на 40,0%. В 2023 году зафиксировано недобор осадков на 8,5% по сравнению со среднемноголетним значением. Согласно классификации зон увлажнения по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова [17] в 2024 и 2025 годах были сформированы слабо засушливые климатические условия (ГТК=1,21 и 1,03 соответственно), а в 2023 – очень засушливые (ГТК=0,75).

Лабораторные и полевые исследования были выполнены в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [18].

Для анализа полученных результатов использовались рекомендации по статистической обработке, изложенные в учебнике Б.А. Доспехова [19], а также программные комплексы Microsoft Excel и SPSS PASW Statistics 20.0.

Обработка статистических данных проводилась с использованием методов дисперсионного анализа и описательной статистики.

Результаты и обсуждения. В результате изучения сортов льна масличного установлено, что благоприятные погодные условия для формирования отдельных элементов продуктивности сложились в 2024 году (табл. 1). Наибольшее количество коробочек на растении обеспечивает второй срок посева (20 мая) (52,6-66,5 шт.). При этом более ранний посев (13 мая) увеличивает число семян в коробочке (7,4-8,4 шт.). Это связано с тем, что второй срок посева (20 мая) обеспечивает более длительный вегетационный период, что способствует образованию большего количества коробочек, поскольку растение успевает развить больше цветочных завязей, а соответственно и плодов. Однако из-за продолжительных осадков в конце вегетации, характерных для последних лет в регионе, при посеве во второй срок (20 мая) растениям не удастся набрать достаточное время для полноценного формирования и налива большего количества семян внутри коробочек. В то время как ранний посев (13 мая) сопровождается стрессовыми условиями (низкая температура воздуха и почвы), что стимулирует растение формировать внутри коробочек больше семян, но при этом может снизить их общее количество и урожайность.

Масса 1000 семян изменялась в широком диапазоне (4,0-7,2 г). За весь период исследований наибольшее значение показателя отмечено при раннем сроке посева (6,1-6,8 г), наименьшее - при посеве 27 мая (4,6-5,8 г).

В среднем за три года изучения наиболее продуктивны сорта Еруслан и Артем. Они демонстрируют высокий выход количества коробочек на растении (50,31–57,89 шт.), количества семян в коробочке (7,10–7,37 шт.) и массу 1000 семян (5,62–5,82 г). Стоит отметить, что сорт Еруслан за все годы исследований показал себя как наиболее стабильный по количеству коробочек на растении ($CV=22\%$) и количеству семян в коробочке ($CV=10\%$), тогда как у остальных сортов вариабельность данных признаков составила 27-42% и 14-20% соответственно.

Таблица 1 – Элементы продуктивности сортов льна масличного в зависимости от сроков посева

Сорт	Срок посева	Количество коробочек на растении, шт.			Количество семян в коробочке, шт.			Масса 1000 семян, г		
		2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Итиль	13 мая	35,0	62,1	53,8	8,1	8,4	8,0	6,7	6,8	6,9
	20 мая	40,4	64,1	63,2	6,2	7,1	7,8	5,8	6,4	5,2
	27 мая	34,2	34,1	48,4	5,6	6,6	6,6	4,6	4,9	4,9
Янтарь	13 мая	28,6	46,8	42,4	7,0	7,3	8,8	5,6	6,0	6,9
	20 мая	35,8	66,3	65,0	6,0	6,9	7,8	5,0	5,6	5,9
	27 мая	23,6	24,6	25,6	5,8	6,1	6,2	5,0	5,0	4,9
Рашель	13 мая	29,0	33,4	40,4	7,0	7,7	7,6	6,9	6,7	6,4
	20 мая	37,4	59,8	60,6	6,0	6,6	7,2	5,3	5,8	5,9
	27 мая	18,6	29,5	29,4	5,8	6,3	6,6	5,1	5,0	5,4

АГРОНОМИЯ

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Артем	13 мая	30,8	61,1	54,8	7,6	8,2	9,4	5,2	6,0	7,2
	20 мая	61,2	66,8	71,4	5,8	7,0	8,8	4,9	5,8	6,7
	27 мая	24,6	49,7	32,4	4,6	6,9	8,0	4,8	5,2	6,6
Еруслан	13 мая	45,8	70,3	74,8	7,8	7,9	8,0	7,1	6,5	6,9
	20 мая	54,8	73,2	59,6	6,8	6,9	7,2	5,1	5,5	5,8
	27 мая	40,0	57,5	45,0	5,7	6,8	6,8	4,0	4,9	4,8
Доля фактора генотип, %		9,4			12,7			11,1		
Доля фактора срок посева, %		6,8			9,5			8,2		
Доля фактора год, %		7,8			10,3			9,1		
Доля взаимодействия генотип×срок посева, %		15,3			19,1			17,2		
Доля взаимодействия генотип×год, %		17,3			18,3			17,8		
Доля взаимодействия срок посева×год, %		10,2			5,0			7,6		
Доля взаимодействия генотип × срок посева × год, %		28,3			24,4			26,4		
Случайное отклонение, %		4,7			0,73			2,7		

Проведенный дисперсионный анализ показал, что на изменчивость количества коробочек на растении, количества семян в коробочке и массы 1000 семян наибольшее влияние оказывает взаимодействие трех факторов (генотип × срок посева × год) — 28,3%, 24,4% и 26,4% соответственно. При этом отдельно факторы вносят наибольший вклад в формирование количества семян в коробочке: генотип - 12,7%, срока посева — 9,5%, погодные условия 9,3%.

Наибольшая урожайность семян льна масличного зафиксирована за вегетационный период 2024 года, значения которой колебались от 1,74 т/га до 2,57 т/га (табл. 2).

Для достижения высоких урожаев наиболее оптимальным сроком посева является 13 мая, так как все сорта демонстрируют наибольшую урожайность именно в этот период, а задержка с посевом на одну или две недели приводит к значительному снижению урожайности до 66,0%.

Лучшими и стабильными по урожайности являются сорта Итиль, Рашель и Еруслан, поскольку в среднем за три года исследований именно у них отмечено наибольшее значение показателя (2,14, 2,12 и 2,21 т/га соответственно), а его вариабельность по годам не превышала 12-13%, тогда как у остальных сортов достигала 19 - 23%.

Таблица 2 – Урожайность семян сортов льна масличного, т/га

Сорт	Срок посева	Годы исследований			Среднее	Урожайность от контроля (13 мая)	
		2023	2024	2025		т/га	%
Итиль	13 мая	2,25	2,53	2,51	2,43	-	-
	20 мая	2,15	2,71	2,33	2,40	-0,03	98,7
	27 мая	1,78	1,84	1,82	1,81	-0,62	65,7
Янтарь	13 мая	2,01	2,33	2,25	2,20	-	-
	20 мая	2,16	2,16	1,96	2,09	-0,11	94,7
	27 мая	1,56	1,81	1,18	1,52	-0,68	55,3
Рашель	13 мая	2,54	2,57	2,51	2,54	-	-
	20 мая	2,29	2,42	2,15	2,29	-0,25	89,1
	27 мая	1,58	1,74	1,26	1,53	-1,01	34,0
Артем	13 мая	2,12	2,54	2,33	2,33	-	-
	20 мая	2,07	2,45	2,26	2,26	-0,07	96,9
	27 мая	1,53	1,75	1,30	1,53	-0,80	47,7
Еруслан	13 мая	2,45	2,36	2,41	2,41	-	-
	20 мая	2,25	2,33	2,29	2,29	-0,12	94,8
	27 мая	1,55	1,91	1,73	1,74	-0,67	61,5
НСР ₀₅		0,54	0,42	0,51	-	-	-

Результаты исследований показывают, что высокий процент содержания масла зафиксирован в 2024 году и варьировал в пределах 42,9–48,8%, а минимальный – в 2023 году (40,4–47,4%) (табл. 3).

У большинства сортов наибольшие показатели отмечены при первом сроке посева 45,8–47,2%. Более поздние сроки посева приводят к снижению содержания масла на 1–4%.

Таблица 3 – Содержание масла в семенах сортов льна масличного, %

Сорт	Срок посева	Годы исследований			Среднее
		2023	2024	2025	
Итиль	13 мая	45,3	48,8	47,6	47,2
	20 мая	42,6	45,6	44,6	44,3
	27 мая	42,8	44,7	42,3	43,3
Янтарь	13 мая	47,4	46,4	47,4	47,1
	20 мая	43,4	43,1	43,8	43,4
	27 мая	41,0	42,9	42,5	42,1
Рашель	13 мая	44,8	46,4	46,1	45,8
	20 мая	43,1	44,7	44,4	44,1
	27 мая	42,4	43,6	43,5	43,2
Артем	13 мая	43,2	48,2	46,2	45,9
	20 мая	42,2	45,9	44,6	44,2
	27 мая	40,4	44,3	42,9	42,5
Еруслан	13 мая	46,2	47,2	47,2	46,9
	20 мая	44,1	45,2	45,2	44,8
	27 мая	43,1	44,5	44,3	44,0
НСР ₀₅		1,02	2,13	1,92	-

Наименьшая масличность зафиксирована при третьем сроке посева (42,1–44,0%). Наиболее стабильные показатели отмечаются у сортов Янтарь (42,1–47,1%), Еруслан (44,0–46,9%) и Рашель (43,– 45,8%) при трех сроках посева, что делает их предпочтительными для получения льна с высоким содержанием масла. Вариатбельность масличности у данных сортов не превышала 3–5%.

В результате анализа взаимосвязей между изученными признаками установлено, что при формировании урожайности семян сортов льна масличного высокое значение имеет количество коробочек на растении ($r = 0,67$) и число семян в коробочке ($r = 0,64$). Кроме того, выявлена высокая корреляция между урожайностью и масличностью ($r = 0,76$). Это свидетельствует о том, что высокоурожайные сорта отличаются значительным содержанием масла. При этом отмечено отрицательное влияние сроков посева на урожайность семян ($r = -0,58$) и масличность ($r = 0,63$).

Выводы. 1. Наиболее благоприятные условия для формирования урожая сортов льна масличного наблюдались в 2024 году, что способствовало лучшим показателям по всем элементам продуктивности: урожайности семян (1,74–2,54 т/га), числу коробочек (в среднем 53,3 шт.), содержанию масла (в среднем 45%) и массе 1000 семян (4,9–6,8 г).

2. Ранний срок посева (13 мая) является оптимальным для достижения высокой урожайности. У всех изученных сортов отмечены

высокие показатели урожайности именно в этот период – от 1,81 до 2,43 т/га. Задержка с посевом на одну-две недели ведет к значительным потерям (до 66,0% от варианта 13 мая).

3. При посеве 20 мая (второй срок) наблюдается увеличение коробочек на растении (52,6–66,5 шт.), однако это не всегда приводит к увеличению урожайности из-за нестабильности погодных условий конца вегетации и недостаточного времени для налива семян. Ранний посев (13 мая) увеличивает число семян в коробочке (до 7,4–8,4 шт.) и тем самым повышает урожайность семян до 2,43 т/га.

4. Высокое содержание масла (42,9–48,8%) отмечается при первом сроке посева, а более поздние сроки (20 и 27 мая) приводят к снижению показателя на 1–4%.

5. Наибольшую среднюю урожайность за годы исследований показали сорта Итиль (2,14 т/га), Рашель (2,12 т/га) и Еруслан (2,21 т/га). Однако сорт Рашель наиболее резко реагирует снижением урожая на поздние сроки посева (до 66,0% от варианта 13 мая). Наибольшую устойчивость урожая к задержке посева проявил сорт Еруслан ($CV = 3\%$).

6. Дисперсионный анализ показал, что на изменчивость количества коробочек на растении, количества семян в коробочке и массы 1000 семян наибольшее влияние оказывает взаимодействие трёх факторов (генотип $\times$ срок посева $\times$ год), которое составляет 28,3%, 24,4% и 26,4% соответственно.

Литература

1. Совершенствование элементов технологии возделывания льна масличного в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии / В. Г. Сычев, И. М. Ханиева, А. Л. Бозиев [и др.] // Плодородие. 2025. № 4(145). С. 35–38. doi: 10.25680/S19948603.2025.145.09.
2. Продуктивность сортов льна масличного, их экологическая пластичность в Западной Сибири / Н. Н. Кудрявцева, А. В. Красовская, А. В. Банкрутенко [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2025. № 6(219). С. 102–117. doi: 10.36718/1819-4036-2025-6-102-117.

3. Першаков А.Ю., Белкина Р.И., Пороховинова Е.А. Урожайность и качество семян коллекционных образцов льна масличного // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 3. С. 338-347. doi: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-338-347.
4. Тимохин А.Ю., Бойко В.С., Михайлов В.В. Отзывчивость льна масличного на различный уровень минерального питания в лесостепи Западной Сибири // Аграрная наука. 2024. № 8. С. 168-172. doi: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-168-172.
5. Басова Н. В., Новиков Э.В. Анализ производства лубяных культур в России за период импортозамещения // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2023. Т. 3. № 2(8). С. 54-63. doi: 10.54016/SVITOK.2023.67.29.007.
6. Изучение сортов масличного льна в условиях подтаежной зоны Западной Сибири / Н. Н. Кудрявцева, А. В. Красовская, А. В. Банкрутенко [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2024. № 4(56). С. 66-74.
7. Колотов А. П., Сергеева Л. Б. Урожайность и биохимический состав семян новых сортов льна масличного в условиях Свердловской области // Вестник КрасГАУ. 2023. № 10(199). С. 114-120. doi: 10.36718/1819-4036-2023-10-114-120.
8. Косых Л. А. Лен масличный - культура пищевого использования (обзор) // Аграрная наука. 2021. № 10. С. 56-59. doi: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59.
9. Маслинская М. Е. Накопление масла в семенах льна масличного в зависимости от метеорологических условий года // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 70-79. doi: 10.5281/zenodo.7898468.
10. Мансапова А. И., Горбова М. А. Особенности технологий возделывания льна-долгунца на волокно и семена в подтаежной зоне Омской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 12(194). С. 24-30.
11. Влияние сроков посева и уборки на продуктивность сортов льна-долгунца в подтайге Западной Сибири / А. И. Мансапова, М. А. Горбова, С. Ю. Храмов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 12. С. 20-23. doi: 10.24411/0235-2451-2018-11205.
12. Подлинная А. А., Виноградов Д. В., Гогмачадзе Г. Д. Влияние сроков посева на урожайность льна масличного в условиях Московской области. АгроЭкоИнфо. 2023. № 2(56). doi: 10.51419/202132219.
13. Елисеев С. Л., Ренев Е. А., Бинияз М. Ф. Влияние срока посева на урожайность льна масличного в среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник. 2022. № 2(38). С. 65-70. doi: 10.47737/2307-2873_2022_38_65.
14. Маракеева Т.В. Фенотипическая изменчивость показателей пригодности к механизированной уборке образцов чечевицы (*Lens culinaris* L.) // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 10. С. 1266-1276. doi: 10.32417/1997-4868-2024-24-10-1266-1276.
15. Маракеева Т.В. Оценка образцов тарелочной чечевицы по хозяйственно-биологическим показателям // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4(76). С. 49-55. doi: 10.12737/2073-0462-2024-49-55.
16. Аксенова Ю. В., Шмидт А. Г. Оценка природно-ресурсного потенциала земель сельскохозяйственной территории Омской области // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 3. С. 8-14. doi: 10.31857/S2500262724030021.
17. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165-177.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. 2019. Вып. 1. 329 с. URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-po-ksi.php> (дата обращения: 23.03.2025).
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стереотип., перепеч. с 5-го изд. М.: Альянс, 2014. 352 с.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Маракеева Татьяна Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, e-mail: tv.marakaeva@omgau.org, <https://orcid.org/0000-0001-9384-8112>

Яковлева Валентина Сергеевна – магистрант кафедры агрономии, селекции и семеноводства, e-mail: vs.yakovleva2112@omgau.org

Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия.

YIELD AND SEED QUALITY OF OIL FLAX VARIETIES AT DIFFERENT SOWING TIMES IN THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

T. V. Marakaeva, V. S. Yakovleva

Abstract. Oil flax remains an important, popular and consistently cultivated agricultural crop in virtually all regions of the Russian Federation, valued for its high oil and nutrient content. Selecting the optimal sowing time is considered one of the most important agricultural practices for cultivating the crop in the unstable climatic conditions of Western Siberia. When determining the sowing time, specific factors are taken into account, ranging from the biological characteristics of the varieties to weather conditions of the climate zone. The conducted research has shown that the highest values of seed yield (from 1.74 to 2.54 t/ha), number of capsules per plant (on average 53.3 pcs.), oil content (from 42.9 to 48.8%) and 1000-seed weight (from 4.9 to 6.8 g) were observed in the slightly dry year of 2024. The optimal time for oil flax in the southern forest-steppe conditions of Western Siberia is early sowing (May 13), with all studied varieties achieving a high yield (1.81 - 2.43 t/ha). A delay in sowing by one to two weeks leads to a significant decrease in yield (up to 66% of sowing on May 13), associated with a shortened growing season and deteriorating conditions for seed filling. The highest oil content (42.9–48.8%) is recorded when sowing in the first ten days of May, while later sowing dates (May 20 and 27) lead to a decrease of 1-4%. The highest average yields over the years of research were demonstrated by Itil (2.14 t/ha), Rashel (2.12 t/ha), and Eruslan (2.21 t/ha) varieties. However, Rashel variety most sharply reacts to late sowing dates with a decrease in yield (up to 66.0% of the May 13 option). Eruslan variety demonstrated the greatest yield resistance to delayed sowing (CV = 3%). The conducted analysis of variance showed that the variability in the number of capsules per plant, the number of seeds per capsule and the weight of 1000 seeds is most influenced by the interaction of three

factors (genotype × sowing date × year) — 28.3%, 24.4%, and 26.4%, respectively.

Key words: oil flax, *Linum usitatissimum*, variety, sowing time, crop structure, yield, seed quality.

For citation: Marakaeva T.V., Yakovleva V.S. Yield and seed quality of oil flax varieties at different sowing times in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4(16). 23-29 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-23-29>

References

1. Sychev VG, Khanieva IM, Boziev AL. [Improving the elements of oil flax cultivation technology in the conditions of foothill zone of Kabardino-Balkaria]. *Plodorodie*. 2025; 4(145). 35-38 p. doi: 10.25680/S19948603.2025.145.09.
2. Kudryavtseva NN, Krasovskaya AV, Bankrutenko AV. [Productivity of oil flax varieties, their ecological plasticity in Western Siberia]. *Vestnik KrasGAU*. 2025; 6(219). 102-117 p. doi: 10.36718/1819-4036-2025-6-102-117.
3. Pershakov AYU, Belkina RI, Porokhovina EA. [Productivity and seed quality of collection samples of oil flax]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2024; Vol.24. 3. 338-347 p. doi: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-338-347.
4. Timokhin AYU, Boyko VS, Mikhaylov VV. [Responsiveness of oil flax to different levels of mineral nutrition in the forest-steppe of Western Siberia]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 8. 168-172 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-168-172.
5. Basova NV, Novikov EV. [Analysis of bast crops production in Russia during the import substitution period]. *Tekhnicheskie kultury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2023; Vol.3. 2(8). 54-63 p. doi: 10.54016/SVITOK.2023.67.29.007.
6. Kudryavtseva NN, Krasovskaya AV, Bankrutenko AV. [Study of oil flax varieties in the conditions of subtaiga zone of Western Siberia]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; 4(56). 66-74 p.
7. Kolotov AP, Sergeeva LB. [Productivity and biochemical composition of seeds of new varieties of oil flax in Sverdlovsk region]. *Vestnik KrasGAU*. 2023; 10(199). 114-120 p. doi: 10.36718/1819-4036-2023-10-114-120.
8. Kosykh LA. [Oil flax - a food crop (review)]. *Agrarnaya nauka*. 2021; 10. 56-59 p. doi: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59.
9. Maslinskaya ME. [Oil accumulation in flax seeds depending on meteorological conditions of the year]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2023; 1(33). 70-79 p. doi: 10.5281/zenodo.7898468.
10. Mansapova AI, Gorbova MA. [Features of flax cultivation technologies for fiber and seeds in the subtaiga zone of Omsk region]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 12(194). 24-30 p.
11. Mansapova AI, Gorbova MA, Khramov SYU. [Influence of sowing and harvesting timing on productivity of fiber flax varieties in the subtaiga of Western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018; Vol.32. 12. 20-23 p. doi: 10.24411/0235-2451-2018-11205.
12. Podlipnaya AA, Vinogradov DV, Gogmachadze GD. [Influence of sowing timing on oil flax productivity in Moscow region]. *AgroEkoInfo*. 2023; 2(56). doi: 10.51419/202132219.
13. Eliseev SL, Renev EA, Biniyaz MF. [Influence of sowing time on oil flax productivity in Middle Urals]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2022; 2(38). 65-70 p. doi: 10.47737/2307-2873_2022_38_65.
14. Marakaeva TV. [Phenotypic variability of suitability indicators for mechanized harvesting of lentil (*Lens culinaris* L.) samples]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2024; Vol.24. 10. 1266-1276 p. doi: 10.32417/1997-4868-2024-24-10-1266-1276.
15. Marakaeva TV. [Evaluation of plate lentil samples by economic and biological indicators]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 4(76). 49-55 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-49-55.
16. Aksenova YuV, Schmidt AG. [Assessment of natural resource potential of the agricultural territory of Omsk region]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2024; 3. 8-14 p. doi: 10.31857/S2500262724030021.
17. Selyaninov GT. [On agricultural climate assessment]. *Trudy po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii*. 1928; issue 20. 165-177 p.
18. Methodology of state variety testing of agricultural crops. [Internet]. State Commission for Variety Testing. 2019; issue 1. 329 p. [cited 2025, March 23]. Available from: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-po-ksi.php>.
19. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy)*. [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. 6th edition, stereotype, reprinted from 5th edition. Moscow: Alyans. 2014; 352 p.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest. This work was not funded.

Authors:

Marakaeva Tatyana Vladimirovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agronomy, Breeding and Seed Production Department, e-mail: tv.marakaeva@omgau.org, <https://orcid.org/0000-0001-9384-8112>
Yakovleva Valentina Sergeevna – Master's student of Agronomy, Breeding and Seed Production Department, e-mail: vs.yakovleva2112@omgau.org
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОЖАЙНОСТИ ВИНОГРАДНОГО НАСАЖДЕНИЯ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ИНДЕКСАМ ПОЧВЕННЫХ ПАТТЕРНОВ**В. А. Орлов, А. А. Лукьянов, О. И. Михайловская, С. С. Михайловский**

Реферат. В статье представлена методика дистанционной оценки продуктивности виноградных агроценозов, основанная на анализе устойчивых спектральных паттернов почвенно-растительного покрова. Исследование выполнено на виноградниках Анапского района Краснодарского края с использованием временных рядов мультиспектральных данных спутников Sentinel-2. Ключевой задачей являлась разработка автоматизированного подхода к выделению почвенных паттернов, отражающих неоднородность терруара, и установление их связи с фактической урожайностью. Методология включает комплексный анализ вегетационных индексов (NDVI, SAVI, NDWI, ELI) в ключевые фенологические фазы, их статистическую корреляцию с агрохимическими свойствами почвы (содержание органического вещества, подвижного калия и фосфора, pH, карбонатность) и метеорологическими факторами. С применением алгоритмов машинного обучения осуществлена классификация пикселей изображений, позволившая выделить три устойчивых типа спектральных паттернов, соответствующих зонам высокого, среднего и низкого продуктивного потенциала. Результаты показали высокую зависимость урожайности от почвенных условий и влагообеспеченности выраженную через спектральные индексы. Наибольшая продуктивность ассоциирована с паттерном, характеризующимся повышенными значениями NDVI ($>0,55$) и SAVI ($>0,8$), а также умеренным водным стрессом NDWI ($> -0,5$). Разработано регрессионное уравнение для прогноза урожайности на основе индексов ($R^2 = 0,86$). Точность автоматизированного выделения почвенных паттернов составила 85–90% (каппа 0,78–0,84). Методика позволяет перейти к прецизионному управлению виноградниками, оптимизируя агротехнические мероприятия дифференцированно для каждой выделенной микрозоны, что является основой для повышения эффективности и устойчивости виноградарства.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, виноградник, почвенные паттерны, спектральные индексы, урожайность, Sentinel, машинное обучение, точное земледелие, терруар, мониторинг.

Для цитирования: Методика оценки урожайности виноградного насаждения по спектральным индексам почвенных паттернов / В.А. Орлов, А.А. Лукьянов, О.И. Михайловская, С.С. Михайловский // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. № 4 (16). С. 30-39 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-30-39>

Введение. Исследования, направленные на дистанционную оценку почвенного покрова, морфометрии терруаров и состояния виноградных агроценозов, в последние годы формируют самостоятельное научное направление на стыке почвоведения, геоинформатики, спектрального анализа и цифрового сельского хозяйства. Международные и российские публикации демонстрируют возрастающее внимание к использованию спутниковых мультиспектральных данных и алгоритмов машинного обучения для анализа свойств почв и выявления внутриполевой неоднородности.

Ключевой технологической основой современного дистанционного анализа являются данные спутников Sentinel-2, Landsat 8/9, обеспечивающие высокую спектральную и пространственную детализацию. Показано, что спектральные характеристики каналов в красной и SWIR-областях демонстрируют высокую чувствительность к содержанию органического вещества, гранулометрическому составу, влажности и карбонатности почв [1, 2]. Ряд отечественных работ подтверждает перспективность использования Sentinel-2 для картирования контрастности пахотных почв и оценки дегумификации [3, 4]. Значительная часть международных исследований посвящена применению машинного обучения и глубинных

нейронных сетей для моделирования свойств почв. Использование алгоритмов Random Forest, SVM и ансамблевых моделей продемонстрировало высокую точность прогнозирования физических и химических параметров почвенного профиля [5]. Подходы, основанные на временных рядах спутниковых изображений, позволяют выделять устойчивые спектральные признаки почвенных паттернов и выявлять сезонную динамику показателей почв, а применение оптимизированных индексов и схем фильтрации заметно повышает точность классификации [6, 7].

Важное направление исследований связано с изучением морфометрии терруаров и влияния рельефа на пространственную неоднородность почвенно-растительного покрова. Многочисленные исследования показывают, что параметры рельефа — уклон, экспозиция, кривизна, длина склонов — существенно влияют на водный режим, развитие эрозии, распределение органического вещества и продуктивность виноградных кустов [8, 9]. Подтверждено, что интеграция данных цифровых моделей рельефа и мультиспектральной информации существенно повышает точность зонирования терруаров и выделения однородных участков [10].

Значительное внимание уделяется анализу

спектральных индексов. NDVI, SAVI, NDWI, BSI, а также специализированные почвенные индикаторы в SWIR-диапазоне позволяют оценивать степень деградации почв, динамику влажности, содержание органического вещества и солей [11], для виноградников эти показатели особенно важны. Исследования на территориях Южной Европы и Северной Африки демонстрируют высокую чувствительность мультиспектральных индексов к переувлажнению почв, деградации структуры и засолению [12, 13, 14]. Применение Sentinel-2 для оценки содержания гумуса и карбонатности также стало предметом ряда российских работ, что подтверждает актуальность подходов для условий Юга России [15].

В отечественной литературе отмечается рост публикаций, посвящённых дистанционной оценке состояния почв сельхозугодий. Это особенно важно для изучения терруаров, поскольку виноградные регионы юга России характеризуются карбонатными почвами, неоднородным рельефом и выраженными процессами деградации. Среди ключевых направлений выделяются:

1. Мониторинг дегумификации и почвенной контрастности. Исследования подтверждают, что мультиспектральные данные Sentinel-2 позволяют надёжно выделять участки с различным содержанием органического вещества [16, 17, 18];
2. Применение спектральных индексов для цифрового почвенного картографирования.



Рис.1 – Почвенные варианты участков №1-6, профиль рельефа: высоты участков №1 – 32 м, №2 – 26 м, №3 – 22 м, №4 – 22, №5 – 18 м, №6 – 31 м; расстояние 727 м; уклон средний 2,7%, максимальный 5,4%

В рамках исследования был сформирован репрезентативный массив данных, включающий 234 наблюдения агробиологических показателей с территории виноградника для метеорологической модели; специализированный

Использование NDVI, SAVI, NDWI и почвенных индексов демонстрирует высокую эффективность при определении почвенных типов и диагностике нарушений структуры почв [19, 20, 21].

Условия, материалы и методы. Объект исследования: виноградное насаждение 24 га Анапского района Краснодарского края (рис. 1). При анализе продуктивности виноградных насаждений использованы: фактическая урожайность (по данным полевого учёта); расчётная урожайность (по методике М. А. Лазаревского); метеорологические показатели — месячные и сезонные осадки (агрометеоро-логический бюллетень); вегетационные индексы: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - индекс здоровья растительности; SAVI - индекс, скорректированный на влияние почвы; NDWI - индекс водного стресса. Данные агрегированы по 2022-2025 годам и почвенным паттернам, сопоставлены между собой и проанализированы методом множественной регрессии.

Классификатор обучался на выборке почвенных проб, отобранных на участках с открытой, не покрытой растительностью почвой: гумус (по методу Тюрина), активный кальций (по методу Друино-Гале), реакция почвенной среды pH (ГОСТ 26423-85), подвижный фосфор и обменный калий (по методу Мачигина). Методика включает применение алгоритма машинного распознавания по спектральному паттерну, а также физико-химических параметров почвенных проб.

массив из 6 наблюдений по почвенным вариантам для модели спектральных индексов (510 наблюдений по 6 вариантам для каждого индекса за вегетационный период с 2022 по 2025 год).

Статистический анализ спектральных индексов для Варианта 1 (2022–2025 годы). Для демонстрации исходной динамики спектральных индексов, на основе которой были выведены их средние многолетние значения, в таблице представлена детальная статистика по Варианту 1 (почва). Аналогичные расчёты были проведены для всех шести почвенных вариантов. Усреднённые за многолетний период значения NDVI, NDWI и LAI (использованного при расчёте ELI) для каждого варианта приведены в сводной таблице 2 и были использованы в качестве константных предикторов в регрессионной модели урожайности (уравнение 2).

Первичная база данных включала

следующие параметры (табл. 1):

1. Зависимая переменная — урожайность виноградных кустов;
2. Независимые показатели: спектральные индексы (NDVI, NDWI, SAVI, ELI);
3. Метеорологические характеристики (осадки по месяцам);
4. Агрохимические показатели почв.

Урожайность: Статистика рассчитана по всем наблюдениям (кустам) за 4 года. Для вариантов 1–4 и 6 — по 10 кустов × 4 года = 50 наблюдений. Для Варианта 5 — 60 наблюдений (возможно, 15 кустов × 4 года).

Спектральные индексы (NDVI, NDWI, LAI): показана статистика, рассчитанная по данным дистанционного зондирования (Sentinel-2) за период 2022–2025 годы:

Таблица 1 – Описательная статистика вегетационных индексов NDVI, NDWI и LAI (как аналога/компонента ELI) для почвенного варианта 1 по ключевым фенологическим фазам

Год	Фаза (Месяц)	Параметр	NDVI	NDWI	LAI	Количество наблюдений (n)
2022	Июнь (пик вегетации)	Среднее	0.33	-0.22	0.72	3
		Ст. откл.	0.09	0.14	0.38	
		Min	0.24	-0.07	0.29	
		Max	0.41	-0.34	1.01	
	Июль (водный стресс)	Среднее	0.35	-0.31	0.89	10
		Ст. откл.	0.10	0.02	0.26	
		Min	0.04	-0.33	0.38	
		Max	0.40	-0.08	1.22	
2023	Июнь (пик вегетации)	Среднее	0.34	-0.19	0.83	6
		Ст. откл.	0.12	0.16	0.41	
		Min	0.17	-0.36	0.24	
		Max	0.47	0.03	1.18	
	Июль (водный стресс)	Среднее	0.29	-0.25	0.67	8
		Ст. откл.	0.16	0.11	0.47	
		Min	-0.05	-0.36	-0.23	
		Max	0.44	-0.02	1.24	
2024	Июнь (пик вегетации)	Среднее	0.42	-0.35	1.20	9
		Ст. откл.	0.05	0.04	0.21	
		Min	0.38	-0.44	0.96	
		Max	0.52	-0.31	1.61	
	Июль (водный стресс)	Среднее	0.34	-0.26	0.90	6
		Ст. откл.	0.12	0.15	0.36	
		Min	0.18	-0.38	0.32	
		Max	0.45	0.03	1.13	
2025	Июнь (пик вегетации)	Среднее	0.39	-0.32	1.07	11
		Ст. откл.	0.05	0.06	0.22	
		Min	0.33	-0.38	0.85	
		Max	0.45	-0.21	1.50	
	Июль (водный стресс)	Среднее	0.31	-0.28	0.80	16
		Ст. откл.	0.04	0.02	0.09	
		Min	0.28	-0.33	0.62	
		Max	0.40	-0.24	0.96	
2022 – 2025	Июнь (пик вегетации) (Сводная)	Среднее	0.38	-0.27	0.96	29
		Ст. откл.	0.08	0.10	0.33	
		Min	0.24	-0.44	0.24	
		Max	0.52	-0.07	1.61	
	Июль (водный стресс) (Сводная)	Среднее	0.32	-0.27	0.81	40
		Ст. откл.	0.10	0.08	0.31	
		Min	-0.05	-0.38	-0.23	
		Max	0.45	0.03	1.24	

Таблица 2 – Исходные данные для регрессионного анализа

Вариант	Вар. 1		Вар. 2		Вар. 3		Вар. 4		Вар. 5		Вар. 6	
Параметр	Сред	Ст. откл	Сред	Ст. откл	Сред	Ст. откл	Сред	Ст. откл	Сред	Ст. откл	Сред	Ст. откл
Урожайность (кг/куст)	3,04	0,94	2,59	1,11	2,57	1,15	3,15	1,49	2,46	1,04	3,37	1,05
NDVI (Июнь)	0,38	0,08	0,44	0,14	0,32	0,10	0,38	0,12	0,29	0,10	0,32	0,11
NDWI (Июль)	-0,27	0,08	-0,37	0,10	-0,30	0,08	-0,33	0,10	-0,27	0,08	-0,28	0,09
ELI	0,96	0,33	1,21	0,59	0,91	0,35	1,06	0,39	1,06	0,39	0,89	0,36
Осадки июнь (мм)	41	16	41	16	41	16	41	16	41	16	41	16
Осадки июль (мм)	22	8	22	8	22	8	22	8	22	8	22	8
Осадки август (мм)	28	14	28	14	28	14	28	14	28	14	28	14

Осадки: статистика рассчитана по (n=4) с июня по август для каждого года

Статистическая обработка данных проводилась с применением методов: множественной линейной регрессии, дисперсионного анализа, проверки мультиколлинеарности (VIF <10) тестов на нормальность распределения.

Качество построенных моделей подтверждается следующими показателями: коэффициент детерминации $R^2 = 0,86$ для модели спектральных индексов; $R^2 = 0,74$ для метеорологической модели. Значимость коэффициентов при $p < 0,05$. Достаточная мощность теста (0,92).

Результаты и обсуждения. Оценка урожайности виноградного насаждения по вариантам почвенных проб. Наиболее значимыми для урожайности виноградных растений, на исследованных шести почвенных участках, являются содержащийся в почве: подвижный калий, уровень pH почвы, подвижный фосфор, степень

карбонатности и содержание органического вещества. Химический состав почвы оказывает существенное влияние на растение винограда: подвижный калий ($r = +0,74$) — главный положительный фактор, подвижный фосфор ($r = +0,62$) — усиливает массу гроздей, карбонаты ($r = -0,58$) — снижают усвоение фосфора, pH 6,6–7,0 — оптимален для доступности питательных элементов. По уровню продуктивности почвенных паттернов выделены группы: А — с высокой урожайностью; стабильная продуктивность почв в группе В и наименее стабильные группа С — с дефицитом калия и фосфора, со средней или пониженной урожайностью. Группировка по продуктивности отражает потенциал почв в условиях климата юга России и может применяться при планировании агротехнических мероприятий (табл. 3).

Таблица 3 – Средняя урожайность по почвенным вариантам (слой 0-60 см)

Вариант почвенного участка	Фактическая ср. урожайность 2022-2025г.г., кг/куст	Расчётная ср. урожайность 2022-2025г.г., кг/куст	Группа продуктивности	pH	Содержание органического вещества %	Общие карбонаты %	Полуподвижный фосфор мг/100г почвы	Полуподвижный калий мг/100г почвы	Степень эродированности почв
«Вар. 6» ¹	3,37	4,32	А	7,5	1,7	9,1	2,6	27,3	слабосмытые
«Вар. 4» ²	3,15	3,72	В	6,9	1,4	0,0	3,8	9,0	средне- и слабосмытые
«Вар. 1» ³	3,04	3,45	В	6,4	1,9	0,0	6,4	28,7	слабосмытые
«Вар. 2» ⁴	2,59	3,22	С	6,6	1,0	3,3	3,5	8,0	сильносмытые
«Вар. 5» ⁵	2,46	3,20	С	7,4	1,5	2,8	2,6	13,3	сильносмытые
«Вар. 3» ⁶	2,57	3,09	С	7,5	1,6	5,3	1,6	18,7	средне-смытые

¹ Чернозем южный, переходный к чернозёму обыкновенному, сверхмощный, слабовыщелоченный, тяжелосуглинистый слабосмытый

² Чернозем южный выщелоченный мощный среднесуглинистый на лессовидных суглинках средне- и слабосмытый

³ Чернозем обыкновенный мощный глубоко солонцеватый, тяжелосуглинистый на гипсовых глинах слабосмытый

⁴ Чернозем южный карбонатный маломощный супесчаный на приморских песках сильносмытый

⁵ Чернозем южный карбонатный мощный среднесуглинистый суглинистый глубоко солонцеватый на лессовидных глинах сильносмытый

⁶ Чернозем обыкновенный мощный карбонатный тяжелосуглинистый среднесмытый

В проведенных почвенных и агробиологических исследованиях «Вариант 6» сохраняет устойчивое преимущество по урожайности, превышая остальные участки на 0,6–1,0 кг на куст. Разница особенно выражена по сравнению с «Вариант 2» и «Вариант 3», где урожайность ниже примерно на 25%. Данные варианты характеризуются повышенной щелочностью и меньшим содержанием подвижного калия и фосфора. Почва участка «Вариант 4» близка по продуктивности к «Вариант 6» и может рассматриваться как резервный участок аналогичного потенциала. Высокая вариабельность показателей внутри групп ($\text{std} \approx 1,5\text{--}2,0 \text{ кг/куст}$) снижает статистическую мощность тестов, в дальнейшем целесообразно увеличить число повторности (кустов) по каждой почве.

Расчетная урожайность часто моделируется на основе достаточности влаги в ключевые

вегетационные фазы (май-июль) и отсутствия экстремальных погодных явлений, так 2023 год — самый влажный, с пиком осадков в июне и высокой урожайностью; 2024–2025 годы — засушливые годы, особенно июнь-июль с частичным водным стрессом, 2025 год был самым засушливым из всех представленных лет (табл. 2). Наибольший дефицит осадков наблюдался в июле (18,5 мм) и июне (23,9 мм). Несмотря на низкое количество осадков, средняя урожайность сохранилась на приемлемом уровне (3,1 кг/куст). Лучшие результаты показали «Вариант 6» и «Вариант 4». Модель с осадками объясняет 70–74% вариации урожайности. Ключевой отрицательный фактор — избыточные осадки в июле, положительный — умеренные осадки в июне и августе, июльские осадки вызывают стресс, обусловленный переувлажнением (табл. 4).

Таблица 4 – Анализ влияние осадков на урожайность почвенных участков 2022 – 2025 годы

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Сумма осадков	Средняя урожайность за год	«Вар. 1»	«Вар. 2»	«Вар. 3»	«Вар. 4»	«Вар. 5»	«Вар. 6»
	мм					куст / кг						
2022	47,9	17,6	44,4	17,5	151,3	2,83	2,47	2,72	2,67	3,82	2,48	-
2023	59,9	38,4	62,4	34,0	209,8	4,09	4,21	2,84	4,27	4,18	4,65	4,38
2024	19,4	25,9	33,9	16,5	144,1	2,85	3,31	3,15	2,40	3,22	2,30	2,69
2025	33,7	29,8	23,9	18,5	131,6	3,89	3,82	4,18	3,02	3,65	3,36	5,33
Средняя урожайность по участкам за период 2022 – 2025 годы, кг/куст						2022 –	3,45	3,22	3,09	3,72	3,20	4,13

Для оценки влияния осадков на фактическую урожайность виноградного насаждения за 2022 – 2025 годы построено регрессионное уравнение (1):

$$Y = 6,358 + 0,032 \times P_6 - 0,041 \times P_7 + 0,028 \times P_8, (1)$$

где Y — прогнозная урожайность (кг/куст); P_6, P_7, P_8 — сумма осадков (мм) в июне, июле и августе соответственно. Положительный коэффициент при P_6 (+0,032) свидетельствует о том, что июньские осадки благоприятно влияют на раннюю вегетацию и снижают водный стресс. Отрицательный коэффициент при P_7 (–0,041) указывает на то, что избыток влаги в июле вызывает переувлажнение. Положительный вклад августа (+0,028) отражает

влияние поздних вегетационных осадков, поддерживающих процессы накопления питательных веществ и формирования урожая. При осадках <180 мм за сезон наблюдается снижение урожая до 30%.

Коэффициенты корреляции урожайности виноградного растения с осадками и ГТК Селянинова почвенных участков оказались положительными для «Варианта 1, 3, 5 и 6» и отрицательными для «Варианта 2 и 4». Максимальная зависимость урожайности от метеоусловий — для «Вариант 3 и 5», а минимальное для «Вариант 2 и 4» (рис. 2). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,74$ подтверждает статистическую значимость влияния осадков на продуктивность.

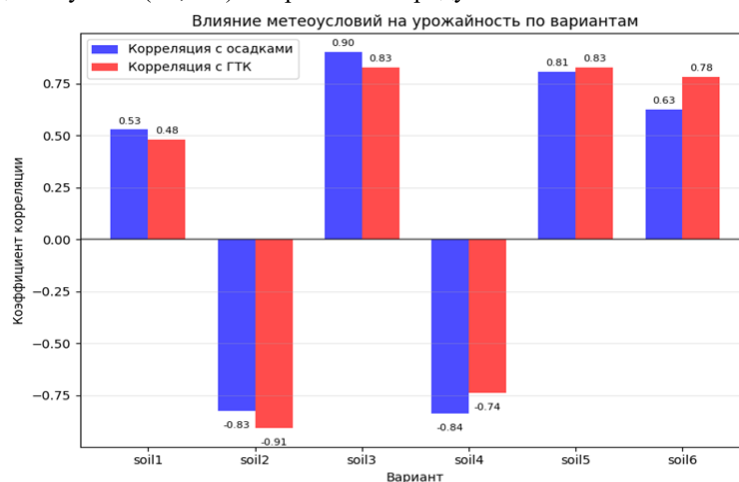


Рис. 2 – Корреляция с осадками и ГТК урожайности вариантов почвенных участков

Выделение почвенных паттернов по спектральным индексам. Для выделения спектральных паттернов и оценки состояния почвенно-растительного комплекса использованы индексы, подтверждённые в литературе и апробированные в рамках предыдущих исследований. Ключевым этапом формирования спектральных паттернов является построение программной модели, способной надёжно выделять устойчивые группы пикселей на основе многомерных сочетаний индексов. Обучающая выборка включала точки, соответствующие шести почвенным вариантам виноградника, которая представляет собой многомерный вектор из значений индексов в нескольких фенологических фазах. Полученные значения составили: общая точность — 85–90%; коэффициент каппа — 0,78–0,84. Пространственная структура паттернов (границы зон высокого, среднего и низкого потенциала) сохраняла стабильность. Это подтверждает, что модель выделяет не случайные аномалии, а устойчивые свойства территории. Анализ важности признаков показал следующие закономерности: SAVI — наиболее информативный показатель для фаз активного роста;

NDVI — ключевой параметр при оценке плотности кроны; NDWI — критичен для разделения участков по влагообеспеченности; ELI — позволяет локализовать зоны деградации почв, что особенно важно при склоновой эрозии. В разные фенологические фазы значения индексов NDVI, SAVI, NDWI и ELI изменяются неодинаково, что определяет их различную информативность для оценки почвенных паттернов (табл. 5). Корреляционный анализ показал следующие ключевые зависимости: NDVI ($r = 0,82–0,88$) — основной предиктор накопления биомассы и общего развития растения, который сильно коррелирует с урожайностью, но чувствителен к структуре почвы (альбедо); SAVI ($r = 0,84–0,89$) — наилучший предиктор урожайности отражает как плотность покрова, так и уровень влажности; NDWI ($r = 0,63–0,71$) — отражает обеспеченность влагой и тесно связан с массой грозди, особенно значим в июне–июле; ELI ($r = 0,75$) — показывает, что увеличение листового индекса прямо связано с ростом урожайности, надёжно характеризует деградацию и отрицательно коррелирует с продуктивностью.

Таблица 5 – Вегетационные индексы и их связь с урожайностью

Вариант	NDVI июнь активная вегетация	NDWI июль водный стресс	SAVI июнь пик вегетации	ELI	Расчетная урожай- ность, кг/куст
«Вар. 1»	0,56	–0,38	0,81	3,20	3,45
«Вар. 2»	0,46	–0,44	0,69	2,84	3,22
«Вар. 3»	0,43	–0,46	0,64	2,65	3,09
«Вар. 4»	0,52	–0,39	0,77	3,12	3,72
«Вар. 5»	0,44	–0,45	0,66	2,71	3,20
«Вар. 6»	0,59	–0,35	0,84	3,33	4,32
Корреляция с уро- жайностью	0,84	0,63	0,88	0,81	

Резкие падения NDVI часто сопровождаются снижением NDWI, значения которого становятся более отрицательными. Водный стресс является основным лимитирующим фактором, влияющим на продуктивность во все годы наблюдений, что определяется синхронными изменениями индексов NDVI и NDWI. При осадках менее 30 мм в июне наблюдался водный стресс, сопровождающийся снижением NDVI и урожайности. Критические пороги: NDVI $<0,55$ — начало угнетения; NDWI $<-0,50$ — водный стресс. Участки с NDWI $<-0,5$ показывают резкое падение урожайности. Это значит, что более 85% вариации урожайности объясняется совокупным влиянием трёх индексов (SAVI, NDWI, ELI). SAVI и NDVI — индексы первого порядка для оценки продуктивности виноградника, NDWI — индикатор водного баланса и риска засухи, ELI (или LAI) — показатель физиологического состояния кроны. Наибольшая урожайность достигается при сочетании SAVI $>0,8$, NDWI $>-0,4$, ELI $>3,1$, при падении NDWI ниже $-0,5$ урожайность снижается в среднем на 12–15%.

Для связи урожайности с вегетационными индексами по данным Sentinel-2 нами получено регрессионное уравнение (2):

$$Y = 2,18 \times NDVI + 0,87 \times NDWI + 0,41 \times ELI - 0,52, \quad (2)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,86$, коэффициенты корреляции (r) спектральных индексов с урожайностью составили: NDVI — 0,88;

NDWI — 0,63; ELI — 0,81. Сочетание значений NDVI $>0,5$, NDWI $>-0,4$, ELI $>1,5$ соответствует оптимальным условиям вегетации и максимальной продуктивности (рис. 3).

Анализ многолетних наблюдений выявил следующую закономерность — устойчивые многомерные паттерны формируются только при использовании комбинации данных нескольких фаз. Ранняя вегетация (апрель–май) — на этом этапе листовой аппарат ещё недостаточно развит, что приводит к снижению диагностической ценности NDVI, контраст между различными почвенными вариантами минимален. Однако именно в этот период начинают проявляться различия по NDWI — более влагоёмкие почвы демонстрируют увеличение содержания влаги в верхнем горизонте после весенних осадков. Период активного роста побегов (июнь) — это наиболее информативная фаза, так как в это время интенсивно формируется листовой аппарат и закладывается будущий урожай, SAVI достигает максимальной чувствительности, поскольку позволяет отделить влияние почвы от растительного покрова. Признаки фазы: максимальная дифференциация по NDVI и SAVI; стабильные значения NDWI; проявление локальных различий, связанных с началом водного стресса. Именно данные июня обеспечивают наилучшее качество выделения спектральных паттернов.

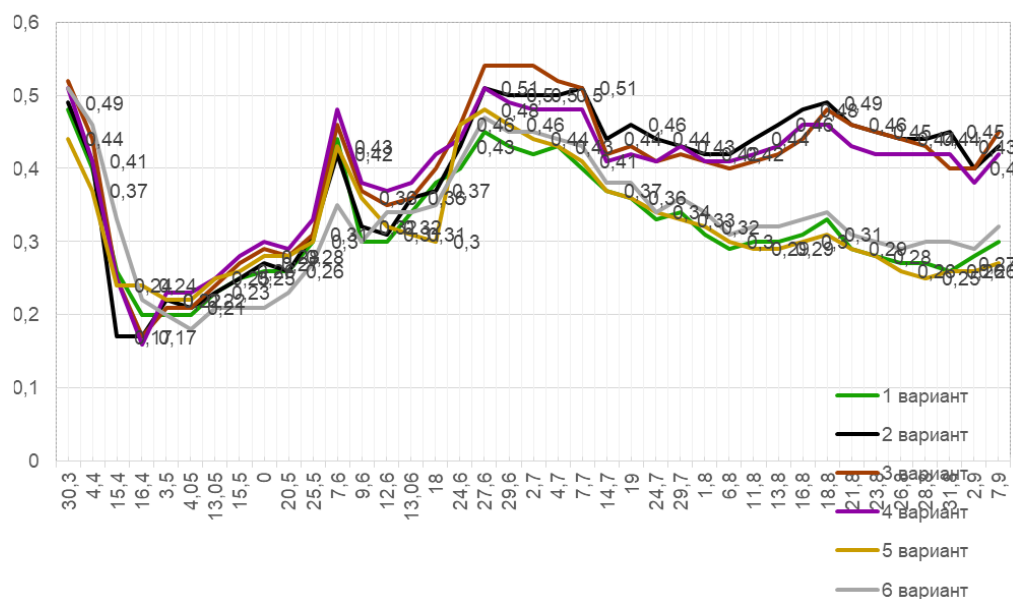


Рис. 3 – Изменение вегетационных индексов (ВИ) в течение вегетационного сезона для шести вариантов почвенных паттернов

В период созревания (июль–август) усиливается влияние дефицита влаги – NDWI становится ключевым параметром, отражая различия в запасах продуктивной влаги между почвенными вариантами. Параллельно возрастает вклад ELI благодаря усилению проявлений плоскостного и линейного смыва на склоновых участках. Основные наблюдения: NDWI снижает значения в зонах дефицита влаги; ELI увеличивается на участках с деградацией почвы; NDVI стабилизируется, но сохраняет пространственную структуру. Этот этап критически важен для идентификации почвенных паттернов для терруаров с низким потенциалом.

В предуборочный период (конец августа – сентябрь) индексы становятся более стабильными, и динамические процессы замедляются. Сезонные эффекты снижаются, что делает данные подходящими для уточнения границ выделенных паттернов. Особенности: NDVI стабилен и отражает итоговую развитость кроны растений; NDWI указывает долгосрочные различия по влагоёмкости; ELI фиксирует структурные изменения в растительном покрове.

Анализ показал, что устойчивые спектральные паттерны формируются при использовании

совокупности данных за апрель–сентябрь, где апрель–май дают базовые признаки почвенной влаги, июнь обеспечивает основную дифференциацию растительного покрова, июль–август усиливают различия по влагообеспеченности и эрозийным процессам, сентябрь стабилизирует структуру индексов. Такое комбинированное использование временных рядов позволило сформировать устойчивые многомерные кластеры, хорошо воспроизводимые на данных разных лет.

Таким образом, спектральный паттерн является интегральным индикатором, отражающим суммарное влияние природных и антропогенных факторов на физиологическое состояние растения и свойства почвы. В результате сочетаний индексов NDVI, SAVI, NDWI и ELI, выделены три устойчивых типа спектральных паттернов. Каждый из них отражает совокупность почвенных, морфометрических и водно-физических свойств участка, а также состояние виноградного растения в разные фенологические фазы. Полученные паттерны воспроизводятся из года в год, что указывает на стабильность почвенно-терруарных различий (табл. 6).

Таблица 6 – Сравнительная таблица спектральных паттернов почвенных участков

Тип паттерна	NDVI	SAVI	NDWI	ELI	Содержание органического вещества	pH	Характеристика
Высокий	0,70–0,85	0,60–0,75	–0,1–0,2	< 2,0	2–3 %	6,5–7,0	Чернозёмы, хорошее питание, отсутствие деградации
Средний	0,55–0,70	0,45–0,60	–0,3–0,1	2,0–3,5	1–2 %	7,0–7,5	Склоны с умеренным дефицитом влаги
Низкий	0,30–0,55	0,25–0,45	–0,5– –0,2	> 3,5	< 1 %	> 7,5	Щелочные почвы, деградация

Паттерн среднего потенциала (тип 2) – показывает умеренную продуктивность и чувствителен к изменениям режима влаги. Продуктивность: урожайность на 10–20% ниже, чем у паттерна 1; колебание массы гроздей ограничено диапазоном физических свойств почвы; наблюдается снижение NDWI в засушливые периоды; реакция лозы на агротехнические приёмы выражена сильнее. Этот паттерн является основой для адаптивного управления участками. При адекватном обеспечении влагой и питательными веществами он может давать стабильно высокий урожай, однако в неблагоприятные годы выраженность водного стресса приводит к снижению продуктивности. Паттерн 2 имеет средний потенциал, занимает промежуточное положение и характеризуется умеренным развитием виноградного куста и частичными ограничениями по влаге. Почвенно-экологические особенности: гумус 1–2%; pH 7,0–7,5 (нейтральная-слабощелочная реакция); наличие участков с умеренным смывом; сниженная влагоёмкость по сравнению с паттерном 1. Спектральные характеристики: NDVI средний, значения устойчивы, но ниже по уровню; SAVI отражает менее плотную структуру листового аппарата; NDWI сигнализирует о периодическом дефиците влаги; ELI увеличивается, что указывает на локальное проявление эрозии. Он включает участки, где природные характеристики являются удовлетворительными, но не оптимальными. Это может быть связано с микрорельефом, частичной деградацией структуры почвы или водными ограничениями.

Паттерн низкого потенциала (тип 3) – отражает неблагоприятные условия роста виноградного растения связанные с деградацией почвы, её смывом, низкой влагоёмкостью и повышенной щёлочностью. Продуктивность: урожайность на 30–45% ниже относительно паттерна 1; высокий процент недоразвитых гроздей; снижение коэффициента плодоношения; деградационные процессы ограничивают восстановление растения. Спектрально такие участки характеризуются низкими NDVI и

NDWI, а также высокими ELI. Почвенные особенности: содержание гумуса менее 1%; pH >7,5 (щелочная среда); признаки эрозии: оголение подпочвенного горизонта, размывы; ухудшенная структура почвы, снижение влагоудерживающих свойств. Спектральные признаки: NDVI низкий и неравномерный; SAVI показывает дефицит зелёной массы; NDWI фиксирует хронический водный дефицит; ELI повышен, отражая деградацию верхнего горизонта. Паттерн 3 соответствует зонам риска, где на продуктивность влияет совокупность дефляционно-эрозионных процессов, низкое содержание органического вещества и повышенная щёлочность. Эти участки требуют применения корректирующих мер, включая мульчирование, изменение агротехнических приёмов и внедрение мероприятий против эрозии.

Выделенные спектральные паттерны отражают не только различия в физических и химических свойствах почвы, но и реальные биологические показатели продуктивности виноградных насаждений. Проведённое сопоставление спектральных характеристик с агробиологическими данными позволило установить чёткую зависимость между типом паттерна и уровнем урожайности варианта участка.

Выводы. В результате проведенных исследований разработана методика автоматизированного выделения почвенных паттернов виноградного насаждения по спектральным индексам и данным агрофизико-химических анализов. На основе анализа вегетационных индексов (NDVI, SAVI, NDWI, ELI) выделены характерные спектральные паттерны, отражающие почвенные свойства и состояние насаждений. Обучена и применена модель машинного обучения для распознавания почвенной поверхности по спектральным паттернам, что позволило автоматизировать процесс выделения почвенных участков. Проведена статистическая верификация разработанных моделей. Модель урожайности на основе вегетационных индексов показала высокую точность ($R^2 = 0,86$).

Литература

1. Орлов В.А., Лукьянов А.А., Михайловская О.И. Определение морфометрических показателей почвенной поверхности виноградного насаждения по спектральным каналам спутниковых изображений // *Аграрная наука*. 2024. № 10. С. 159-164. doi: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-159-164.
2. Орлов В.А., Лукьянов А.А. Оценочные признаки виноградопригодных земель по спектральным паттернам // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 1. С. 69.
3. Савин И.Ю., Савенкова Е.В., Кучер Д.Е. Оценка контрастности почвенного покрова пахотных угодий по спутниковым данным Sentinel-2 // *Почвоведение*. 2021. № 11. С. 1295-1305. doi: 10.31857/S0032180X21110125.
4. Прудникова Е.Ю., Савин И.Ю. Спутниковая оценка дегумификации пахотных почв в Саратовском Поволжье // *Почвоведение*. 2015. № 5. С. 597. doi: 10.7868/S0032180X1505007X.
5. Abdi A., Khormali F., Emamian V. Soil properties estimation using Sentinel-2 satellite data and machine learning algorithms: A case study in vineyard terrains // *Geoderma*. 2020. Vol. 365. P. 114178. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114178.
6. Тимиргалеева Р.Р., Гришин И.Ю., Рыбалко Е.А. Анализ методов дистанционной диагностики плодородия виноградных агроценозов // *Дистанционные образовательные технологии: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Посвящается 75-летию ГПА, Ялта, 16–21 сентября 2019 года* / Под ред. В.Н. Тарана. Ялта: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2019. С. 331-338.
7. Becker S. J. et al. Bare ground classification using a spectral index ensemble and machine learning models optimized across 12 international study sites // *Geocarto International*. 2025. Т. 40. №. 1. С. 2465452.

8. Simón Sánchez A.M. et al. Convolutional neural networks for agricultural land use classification from Sentinel-2 image time series // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. № 21. P. 5373. doi: 10.3390/rs14215373.
9. Thaler E.A., Larsen I.J., Yu Q. A new index for remote sensing of soil organic carbon based solely on visible wavelengths // *Soil Science Society of America Journal*. 2019. Vol. 83. № 5. P. 1443-1450. doi: 10.2136/sssaj2018.09.0318.
10. Eslava-Lecumberri F.J., Jiménez-Ballesta R. Delineating vineyard management zones: Intrafield spatial variability of soil properties of carbonate vineyard soils // *European Journal of Soil Science*. 2024. Vol. 75. № 6. P. e70029. doi: 10.1111/ejss.70029.
11. Павлова А.И. Применение вегетационных индексов для цифрового почвенного картографирования на основе космических снимков Sentinel-2 // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 6. С. 119-131. doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-119-131.
12. de Campos Assunção J.M.S. Terrain classification using machine learning algorithms in a multi-temporal approach A QGIS plug-in implementation: Universidade NOVA de Lisboa, 2021. doi: 10.3390/rs14153802.
13. Ramos T.B. et al. Soil salinity assessment using vegetation indices derived from Sentinel-2 multispectral data. application to Lezíria Grande, Portugal // *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 241. P. 106387. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106387.
14. Abdi A., Khormali F., Emamian V. Soil properties estimation using Sentinel-2 satellite data and machine learning algorithms: A case study in vineyard terrains // *Geoderma*. 2020. Vol. 365. P. 114178. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114178.
15. Виноградарство России. 2022 Электронный ресурс. <https://geonovosti.terratech.ru/upload/iblock/653/20o2jr9s6ofi590on9tbcua3rl4w1h09/Vinogradarstvo-Rossii.pdf> /дата обращения 18.03.2025/
16. Eslava-Lecumberri F.J., Jiménez-Ballesta R. Delineating vineyard management zones: Intrafield spatial variability of soil properties of carbonate vineyard soils // *European Journal of Soil Science*. 2024. Vol. 75. № 6. P. e70029. doi: 10.1111/ejss.70029.
17. Zeyada A.M. et al. Sentinel-2 Satellite Imagery Application to Monitor Soil Salinity and Calcium Carbonate Contents in Agricultural Fields // *Phyton*. 2023. Vol. 92. № 5. doi: 10.32604/phyton.2023.027267.
18. Gomez C. et al. Topsoil clay content mapping in croplands from Sentinel-2 data: Influence of atmospheric correction methods across a season time series // *Geoderma*. 2022. Vol. 423. P. 115959. doi: 10.1016/j.geoderma.2022.115959.
19. Crespo N. et al. Satellite remote sensing tools for drought assessment in vineyards and olive orchards: A systematic review // *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16. № 11. P. 2040. doi: 10.3390/rs16112040.
20. Lasko K., O'Neill F. D., Sava E. Automated mapping of land cover type within international heterogeneous landscapes using sentinel-2 imagery with ancillary geospatial data // *Sensors*. 2024. Т. 24. №. 5. С. 1587. doi: 10.3390/s24051587
21. Ammoniaci M. et al. State of the art of monitoring technologies and data processing for precision viticulture // *Agriculture*. 2021. Vol. 11. № 3. P. 201. doi: 10.3390/agriculture11030201.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Орлов Виталий Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории виноградарства и виноделия, e-mail: vitorl@yandex.ru
 Лукьянов Алексей Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, e-mail: azosviv@mail.ru
 Михайловская Олеся Ивановна – младший научный сотрудник лаборатории виноградарства и виноделия, e-mail: azosviv@mail.ru
 Михайловский Станислав Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории виноградарства и виноделия, e-mail: azosviv@mail.ru
 Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия – филиал Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства и виноградарства, Анапа, Россия.

A METHOD FOR ASSESSING VINEYARD PRODUCTIVITY BASED ON SPECTRAL INDICES OF SOIL PATTERNS

V. A. Orlov, A. A. Lukyanov, O. I. Mikhaylovskaya, S. S. Mikhaylovskiy

Abstract. This article presents a method for remotely assessing of vineyard agroecosystem productivity based on the analysis of stable spectral patterns of the soil and vegetation cover. The study was conducted in vineyards of Anapa district of Krasnodar Krai using time series of multispectral data from Sentinel-2 satellites. The key objective was to develop an automated approach to identifying soil patterns reflecting terroir heterogeneity and establishing their relationship with actual yield. The methodology includes a comprehensive analysis of vegetation indices (NDVI, SAVI, NDWI, ELI) during key phenological phases, their statistical correlation with soil agrochemical properties (soil organic matter content, mobile phosphorus and potassium, pH, carbonate levels) and meteorological factors. Machine learning algorithms were used to classify image pixels, identifying three stable types of spectral patterns corresponding to zones of high, medium and low productive potential. The results showed a strong dependence of crop yield on soil conditions and moisture availability, expressed through spectral indices. The highest productivity is associated with a pattern characterized by elevated NDVI (>0.55) and SAVI (>0.8) values, as well as moderate water stress NDWI (>-0.5). A regression equation for crop yield forecasting based on these indices was developed ($R^2 = 0.86$). The accuracy of automated soil pattern extraction was 85-90% (kappa 0.78-0.84). This method enables precision vineyard management by optimizing agronomic measures differentially for each identified microzone, which is the basis for increasing the efficiency and sustainability of viticulture.

Key words: remote sensing, vineyard, soil patterns, spectral indices, productivity, Sentinel, machine learning, precision farming, terroir, monitoring.

For citation: A method for assessing vineyard productivity based on spectral indices of soil patterns / Orlov V.A., Lukyanov A.A., Mikhaylovskaya O.I., Mikhaylovskiy S.S. // *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4 (16). 30-39 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-30-39>

References

1. Orlov VA, Lukyanov AA, Mikhaylovskaya OI. [Determination of morphometric indicators of the soil surface of vineyard plantations using spectral channels of satellite images]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 10. 159-164 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-159-164.
2. Orlov VA, Lukyanov AA. [Evaluative characteristics of vine-suitable lands based on spectral patterns]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.1. 69 p.
3. Savin IYu, Savenkova EV, Kucher DE. [Assessment of soil cover contrast of arable lands using Sentinel-2 satellite data]. *Pochvovedenie*. 2021; 11. 1295-1305 p. doi: 10.31857/S0032180X21110125.
4. Prudnikova EYu, Savin IYu. [Satellite assessment of arable soil dehumification in Saratov Volga region]. *Pochvovedenie*. 2015; 5. 597 p. doi: 10.7868/S0032180X1505007X.
5. Abdi A, Khormali F, Emamian V. Soil properties estimation using Sentinel-2 satellite data and machine learning algorithms: A case study in vineyard terrains. *Geoderma*. 2020; Vol.365. 114178 p. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114178.
6. Timirgaleeva RR, Grishin IYu, Rybalko EA. [Analysis of remote diagnostics methods of fertility grape agroecosystems. Distance educational technologies]. *Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem), posvyashchaetsya 75-letiyu GPA, Yalta, 16-21 sentyabrya 2019 goda*. Editorship V.N. Taran. Yalta: OOO Izdatelstvo Tipografiya "Arial". 2019; 331-338 p.
7. Becker SJ. Bare ground classification using a spectral index ensemble and machine learning models optimized across 12 international study sites. *Geocarto International*. 2025; Vol.40. 1. 2465452 p.
8. Simon Sanchez AM. Convolutional neural networks for agricultural land use classification from Sentinel-2 image time series. *Remote Sensing*. 2022; Vol.14. 21. 5373 p. doi: 10.3390/rs14215373.
9. Thaler EA, Larsen IJ, Yu Q. A new index for remote sensing of soil organic carbon based solely on visible wavelengths. *Soil Science Society of America Journal*. 2019; Vol.83. 5. 1443-1450 p. doi: 10.2136/sssaj2018.09.0318.
10. Eslava-Lecumberri FJ, Jimenez-Ballesta R. Delineating vineyard management zones: Intrafield spatial variability of soil properties of carbonate vineyard soils. *European Journal of Soil Science*. 2024; Vol.75. 6. e70029 p. doi: 10.1111/ejss.70029.
11. Pavlova AI. [Application of vegetation indices for digital soil mapping based on Sentinel-2 satellite images]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021; Vol.13. 6. 119-131 p. doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-119-131.
12. de Campos Assuncao JMS. Terrain classification using machine learning algorithms in a multi-temporal approach A QGIS plug-in implementation: Universidade NOVA de Lisboa. 2021; doi: 10.3390/rs14153802.
13. Ramos TB. Soil salinity assessment using vegetation indices derived from Sentinel-2 multispectral data. Application to Lezíria Grande, Portugal. *Agricultural Water Management*. 2020; Vol.241. 106387 p. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106387.
14. Abdi A, Khormali F, Emamian V. Soil properties estimation using Sentinel-2 satellite data and machine learning algorithms: A case study in vineyard terrains. *Geoderma*. 2020; Vol.365. 114178 p. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114178.
15. Viticulture in Russia. 2022. [Internet]. Geonovosti. [cited 2025, March 18]. Available from: <https://geonovosti.terratech.ru/upload/iblock/653/20o2jr9s6ofi590on9tbcua3rl4w1h09/Vinogradarstvo-Rossii.pdf>
16. Eslava-Lecumberri FJ, Jimenez-Ballesta R. Delineating vineyard management zones: Intrafield spatial variability of soil properties of carbonate vineyard soils. *European Journal of Soil Science*. 2024; Vol.75. 6. e70029 p. doi: 10.1111/ejss.70029.
17. Zeyada AM. Sentinel-2 satellite imagery application to monitor soil salinity and calcium carbonate contents in agricultural fields. *Phyton*. 2023; Vol.92. 5. doi: 10.32604/phyton.2023.027267.
18. Gomez C. Topsoil clay content mapping in croplands from Sentinel-2 data: Influence of atmospheric correction methods across a season time series. *Geoderma*. 2022; Vol.423. 115959 p. doi: 10.1016/j.geoderma.2022.115959.
19. Crespo N. Satellite remote sensing tools for drought assessment in vineyards and olive orchards: A systematic review. *Remote Sensing*. 2024; Vol.16. 11. 2040 p. doi: 10.3390/rs16112040.
20. Lasko K, O'Neill FD, Sava E. Automated mapping of land cover type within international heterogeneous landscapes using Sentinel-2 imagery with ancillary geospatial data. *Sensors*. 2024; Vol.24. 5. 1587 p. doi: 10.3390/s24051587.
21. Ammoniaci M. State of the art of monitoring technologies and data processing for precision viticulture. *Agriculture*. 2021; Vol.11. 3. 201 p. doi: 10.3390/agriculture11030201.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Orlov Vitaliy Aleksandrovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Viticulture and Winemaking Laboratory, e-mail: vitorl@yandex.ru
 Lukyanov Aleksey Aleksandrovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher, e-mail: azosviv@mail.ru
 Mikhaylovskaya Olesya Ivanovna – junior researcher of Viticulture and Winemaking Laboratory, e-mail: azosviv@mail.ru
 Mikhailovskiy Stanislav Sergeevich – junior researcher of Viticulture and Winemaking Laboratory, e-mail: azosviv@mail.ru
 Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking – branch of North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture and Viticulture, Anapa, Russia.

ПОТЕНЦИАЛ ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ НУТА В ПРЕДКАМЬЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Р. М. Сабирова, А. Ж. Акеншаева

Реферат. Исследования проводились с целью оценки урожайности и элементов структуры урожая различных сортов нута в Предкамье Республики Татарстан. Полевые опыты закладывались в 2023-2024 годы на серой лесной почве Агробιοтехнопарка Казанского ГАУ, в соответствии с требованиями методики опытного дела. Изучались следующие сорта нута – Приво 1, Триумф, Волжанин, Зоовит. Несмотря на в целом относительно благоприятные для нута погодные условия в годы исследований, 2023 год характеризовался более засушливыми условиями. Стандартный сорт – Приво 1 превосходил остальные сорта по количеству ветвей в растениях и количеству сохранившихся растений к уборке. У сорта Триумф, за годы исследований, в сравнении с другими сортами, наблюдалось наибольшее количество листьев и наибольшая средняя фактическая урожайность зерна (2,16 т/га). Сорт Волжанин выделялся по показателям полноты всходов, высоте стебля и количеству бобов на одном растении и сформировал урожайность на уровне 1,52 т/га. Сорт Зоовит имел хорошие биометрические показатели (высота стеблей, количество ветвей, бобов) и фактическую урожайность 1,92 т/га зерна, что на 0,46 т/га выше по отношению к стандарту. В годы исследований масса 1000 семян у всех исследуемых сортов было несколько меньше в сравнении с показателями в характеристике данных сортов. Для условий Предкамья Республики Татарстан наибольший потенциал урожайности демонстрируют средне-спелые сорта Триумф и Зоовит, которые могут быть рекомендованы для производственного испытания.

Ключевые слова: нут (*Cicer arietinum*), сорт, культура, климатические условия, продуктивность, урожайность.

Для цитирования: Сабирова Р. М., Акеншаева А. Ж. Потенциал продуктивности сортов нута в Предкамье Республики Татарстан // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. № 4(16). С. 40-45 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-40-45>

Введение. Сельское хозяйство сохраняет статус ведущей отрасли экономики Республики Татарстан. Агропромышленный комплекс региона занимает лидирующие позиции в Российской Федерации по производству ряда ключевых культур, включая зернобобовые, пропашные и другие культуры [1, 2, 3]. В России нут (*Cicer arietinum*), занимающий третье место по популярности среди бобовых культур после гороха и фасоли, представляет собой перспективную культуру для расширения посевов. Экономическая целесообразность выращивания нута стимулирует интерес сельхозпроизводителей [4, 5, 6]. Наряду с необходимостью интенсификации производства, перед растениеводством Татарстана стоят задачи повышения качества продукции, в частности, увеличения содержания и выхода белка [7, 8, 9]. Семена нута характеризуются высоким содержанием белка (до 30%) и наличием ценных аминокислот. Кроме того, растения нута способствуют улучшению почвенного плодородия за счет азотфиксации, а его выращивание является экономически более выгодным по сравнению с другими зерновыми и зернобобовыми культурами [10, 11, 12]. Способность нута адаптироваться к различным климатическим условиям позволяет значительно расширить географию его возделывания, включая регионы, которые ранее считались непригодными для этой культуры. Успешное культивирование нута в новых условиях во

многом зависит от выбора подходящих сортов. Селекционные разработки, направленные на повышение урожайности и устойчивости к стрессам, играют важную роль в дальнейшем распространении нута и укреплении его позиций в агропромышленном секторе, в частности, в Республике Татарстан [13, 14, 15].

Цель исследований – оценить урожайность и элементы структуры урожая сортов нута в Предкамье Республики Татарстан.

Задачи исследований:

- 1) Рассчитать полноту всходов и сохранность к уборке растений нута разных сортов;
- 2) Изучить биометрические данные растений нута (высота растений и корней, количество ветвей, листьев, бобов) разных сортов;
- 3) Оценить структуру урожая и урожайность растений нута разных сортов.

Объект исследования: сорта нута отечественной селекции – Приво 1, Триумф, Волжанин, Зоовит.

Предмет исследования: реакция различных сортов нута на агроклиматические и почвенные условия в Предкамье Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. Научные изыскания в 2023-2024 годы были развернуты на экспериментальных полях Казанского государственного аграрного университета, расположенных в селе Нармонка Лаишевского района Республики Татарстан. Исследования проводились на делянках размером 96 м²

(с учетной площадью 25 м²), с трехкратным повторением опытов, размещение делянок последовательное.

Норма высева семян составила 700 тысяч всхожих на гектар.

Почвенный покров опытного участка представлен серо-лесными почвами, характеризующимися богатым гумусовым слоем (3,55%), высоким содержанием подвижного фосфора (более 224 мг/кг) и повышенным уровнем обменного калия (147 мг/кг). Кислотность почвы (рН) была на уровне 5,4.

Исследовались среднераннеспелый сорт нута – Приво 1, среднеспелые сорта – Триумф, Волжанин, Зоовит, включённые в Госреестр соответственно в 1995, 2012, 2015 и 2018 годы. Все сорта допущены к возделыванию в Средневолжском (7) регионе. Направление использования у всех исследуемых сортов – ценные по качеству. Приво 1 – сорт раннего срока созревания, отличается высокой адаптивностью – возделывается в течение 30 лет в различных почвенно-климатических условиях нашей страны, показывает стабильно высокую урожайность. Поэтому в наших опытах мы выбрали его стандартом, среди исследуемых сортов, так как нут в госсортучастках Республики Татарстан не проходит испытания, стандартного варианта по данной культуре не имеется.

Сорт Приво 1 – не полегаёт, бобы не раскрываются. Урожайность – 1,56 т/га, максимальная – 3,2 т/га зерна. Масса 1000 семян составляет – 246-295 граммов. Содержание белка 30,9%. Семена средние, округлые, белые [16].

По сортовым характеристикам средняя урожайность сорта Триумф составляет 1,5 т/га, максимальная – 4,0 т/га зерна. Устойчив к полеганию и осыпанию. Масса 1000 семян – 290-422 граммов. Устойчивость к засухе средняя. Семена очень крупные, содержание белка 21,7-24,6% [16].

Средняя урожайность сорта Волжанин составляет 1,5 т/га, максимальная – 2,54 т/га зерна. Масса 1000 семян – 274-372 г. Семена крупные, выравненные. Содержание белка в зерне до 26% [16].

Урожайность сорта Зоовит составляет 1,7-2,94 т/га, Масса 1000 семян 325-404 граммов. Содержание белка – 24%. Устойчивость к засухе хорошая. Семена крупные, выравненные [16].

Посев был выполнен: в 2023 году – 19 мая, в 2024 году – 15 мая, сбор урожая: в 2023 году – 2 сентября, в 2024 году – 22 сентября. Вегетационный период равен 114 и 128 дням, соответственно годам испытаний.

Предшественниками были: в 2023 году – горчица, в 2024 году – яровая пшеница. Норма высева семян нута – 700 тысяч штук

всхожих семян на гектар.

Система основной и предпосевной подготовки почвы включала лущение стерни, вспашку, культивацию, предпосевное и послепосевное боронование, а также предпосевное внесение азофоски в норме 150 кг/га.

Семена перед посевом были обработаны Полидон Атлант Нут в норме 1 литр на тонну. До появления всходов внесли почвенный гербицид Корсар Супер в норме 1 литр на гектар.

Погодная картина вегетационных периодов 2023-2024 годов была весьма переменчивой.

Вегетационный период 2023 года характеризовался отклонениями от привычных агрометеорологических условий. Средние температуры в мае, июле и августе превысили многолетние показатели. Несмотря на обильные осадки в мае (на 23% больше нормы), последующие месяцы принесли резкий дефицит влаги: в июне выпало всего 6 мм (10% от нормы), а в июле и августе – 53% и 37% от нормы соответственно. Общий объем осадков за май-сентябрь составил лишь 40,9% от нормы, что позволяет охарактеризовать агроклиматические условия как периодически засушливые. Такая погода оказала существенное влияние на формирование урожая и качественные показатели растений нута.

В вегетационном периоде растений 2024 года средняя температура воздуха равнялась 19,4 градусам, количество выпавших осадков – 130,5 мм, что на 23% меньше нормы. Засушливые явления отмечались в июне, температура воздуха составила 21,2°C, среднее количество выпавших осадков за месяц – 5,27 мм, намного меньше среднеемноголетних значений (19,0 мм). В первой и во второй декаде июля осадков не было, средняя температура воздуха повысилась до 25,6 и 21,7 градусов соответственно декадам. В третьей декаде июля наблюдались сильные дожди, среднее количество осадков составило 56,17 мм. В первой и во второй декадах августа среднее температура воздуха составила 18,05 градусов, количество выпавших осадков – 14,3 мм, что примерно соответствовало среднеемноголетним значениям.

Агроклиматические условия в 2023–2024 годы были в целом относительно благоприятными для роста и развития растений нута. Так как нут является более засухоустойчивой культурой [5, 13].

Фенологические наблюдения были выполнены по стандартизированной методике государственного сортоиспытания [17]. Оценка биологической урожайности проводилась посредством сбора и анализа снопов растений с участка площадью один квадратный метр. Статистическая обработка собранных данных об урожайности осуществлялась в соответствии с разработанной Б. А. Доспеховым

методикой [18]. Технологии возделывания нута по сортам не отличались.

Результаты и обсуждения. Наблюдались следующие фазы развития нута: всходы, бутонизация, цветение, созревание.

Полнота всходов и сохранность растений. В 2023-2024 годы полнота всходов растений нута составила у сорта Приво 1 – 78,6 и 87,0%, у Триумф – 84,3 и 91,0%, у Волжанин – 75,7 и 94,0%, у Зоовит – 70,0 и 84,3% в 2023 и 2024 годы соответственно. Сохранность растений к уборке составляла у сортов: Приво 1 – 89,1; 80,0%, у сорта Триумф – 71,2; 73,4 %, у сорта Волжанин – 90,1; 65,0%, у сорта Зоовит – 75,3; 76,3 процентам, в 2023-2024 годах испытания. По отношению к стандарту, по этим показателям выделились сорта Триумф и Волжанин.

Биометрические показатели. Измерение биометрических данных нута в разных фазах развития показало, что рост и развитие растений шли в зависимости от погодных условий. В фазе спелости, в засушливых условиях 2023 года высота стеблей составила 36,0 - 40,2 см, а в 2024 году – 42,1 - 47,0 см. Среди испытанных сортов наибольшие результаты показал сорт Волжанин в обоих годах исследований. Ростовые показатели стеблей у сортов Волжанин и Зоовит были выше стандарта.

По длине извлеченных из почвы корней можно сказать, что в годы исследований рост и развитие корневой системы происходили до фазы цветения и формирования бобов/плодов в 2023 году, к фазе спелости рост корневой системы не наблюдается - только у средне-раннеспелого сорта Приво 1, а в 2024 году – у всех сортов. Особого различия в ростовых показателях корней во всех фазах развития растений сортов нута за годы исследований не было.

Количество ветвей в растениях нута увеличивалось по фазам развития, и к фазе спелости составило: в 2023 году – 2,1 - 3,2 шт./раст., в 2024 году – 2,2 - 3,0 шт./растение. Наибольшее количество ветвей составило – в 2023 году у сорта Зоовит, в 2024 году у сорта Приво 1. В среднем за 2 года наибольшее количество ветвей наблюдали только у стандарта (2,9 шт./раст.).

В 2023-2024 годы исследований наибольшее количество листьев на растениях нута наблюдали в фазе цветения и образование плодов, что составило у сортов: Приво 1 – 34,3 и 16,2 шт./раст., Триумф – 55,6 и 20,4 шт./раст., у сорта Волжанин – 19,4 и 16,5 шт./раст., у сорта Зоовит – 31,2 и 21,6 шт./растение, соответственно годам исследований. Наибольшую облиственность наблюдали у сорта Триумф, что составило 55,6 и 37,0 штук на растение за годы исследований.

Количество бобов в растениях нута составило у сортов: Приво 1 – 13,5 и 21,2 шт./раст., Триумф – 8,6 и 14,4 шт./раст., у сорта Волжанин – 15,0 и 18,8 шт./раст.,

у сорта Зоовит – 14,0 и 7,4 штук на растение в зависимости от года исследования. Наибольшее количество бобов по отношению к стандарту на растениях нута получили у сортов Волжанин и Зоовит в условиях 2023 года.

Структура урожая. В засушливых почвенно-климатических условиях 2023 года число сохранившихся растений к уборке у сортов нута составило 36,0-49,0 шт./м², с доминированием сорта Приво1. Число зерен на растении у исследуемых сортов нута составило 20,8 - 26,1 штук, с преимущественным значением у сорта Зоовит. Данные по массе 1000 семян составили 220,2 - 279,5 граммов, с доминированием сорта Зоовит. У сорта Триумф были оптимальные количество показателей структуры урожая. Вышеуказанные показатели обусловили наибольшую биологическую урожайность сортов нута Триумф (2,7 т/га), Приво 1 и Зоовит (2,6 т/га). По всей видимости различия между сортами в условиях засухе 2024 года в первую очередь связаны с различиями в формировании массы тысяча семян в период созревания зерна.

Структурный анализ растений нута в 2024 году показал, что количество растений к уборке соответствовало у сортов нута 43,0 - 49,0 шт./м², наибольшее число наблюдали у сорта Приво1. Количество зерен на растении у исследуемых сортов нута составило 17,3 - 22,1 штук, с доминированием сорта Зоовит. По массе 1000 семян наибольшие показатели были получены у сортов Триумф (327,2 г) и Зоовит (325 г). В условиях вегетации растений 2024 года хорошо себя проявили сорта нута Триумф и Зоовит, у которых наблюдали наибольшее количество зерен в растениях и масса тысяча семян. В результате данные сорта дали наибольшую биологическую урожайность, что составило у сорта Зоовит – 3,2 т/га, у сорта Триумф – 3,0 т/га, что на 1,1 и 0,9 т/га больше по отношению к стандарту (табл. 2).

В результате средние данные за 2023-2024 годы по показателям структуры урожая сортов нута были следующие: число растений к уборке – 40,5 - 49,0 шт./м², число зерен на растении 19,3 - 24,1 шт./раст., массе 1000 семян 241,3 - 302,2 граммов (табл. 1). В итоге средняя биологическая урожайность сортов нута составила 2,25 - 2,9 т/га. Наибольшую среднюю биологическую урожайность получили у сортов Зоовит и Триумф, что соответствовало 2,9 т/га и 2,85 тонны с гектара зерна. Превышение урожайности сортов Зоовит и Триумф над стандартом по средней биологической урожайности составило 0,55 т/га и 0,5 т/га зерна соответственно сортам, и статистически достоверно при $НСР_{05}=0,13$ т/га (табл. 2). Преимущество сорта Зоовит по массе 1000 семян и биологической урожайности объясняется тем, что данный сорт является крупносемянным сортом и в нашем опыте среднее количество зерен на растениях нута было больше в сравнении с другими сортами.

Таблица 1 - Структура урожая нута, средняя за 2023-2024 годы

Сорт	Число растений, шт./м ²	Число зерен, шт./раст.	Масса зерен, г/раст.	Масса 1000 семян, г
1. Приво 1	49,0	19,9	4,75	241,3
2. Триумф	44,5	20,5	5,35	276,9
3. Волжанин	45,5	19,3	4,85	256,6
4. Зоовит	40,5	24,1	7,15	302,2
НСР ₀₅	2,72	1,36	0,21	8,3

Урожайность. В условиях вегетации растений нута 2023-2024 годы фактическая урожайность нута составило 1,0 - 1,92 т/га и 1,81 - 2,53 т/га, с наибольшей урожайностью

сортов Триумф (1,91 т/га) и Зоовит (2,53 т/га), что на 0,9 и 0,6 т/га больше стандарта, соответственно годам исследований (табл.2).

Таблица 2 - Биологическая и фактическая урожайность нута, 2023-2024 годы

Сорта	Биологическая урожайность, т/га			Фактическая урожайность, т/га		
	2023 г	2024 г	Среднее	2023 г	2024 г	Среднее
1. Приво 1	2,6	2,1	2,35	1,0	1,93	1,46
2. Триумф	2,7	3,0	2,85	1,91	2,42	2,16
3. Волжанин	2,2	2,3	2,25	1,23	1,82	1,52
4. Зоовит	2,6	3,2	2,9	1,32	2,53	1,92
НСР ₀₅	0,12	0,13	0,13	0,1	0,12	0,12

Средняя урожайность также была больше у сортов Триумф (2,16 т/га) и Зоовит (1,92 т/га) чем у стандартного сорта, статистическая достоверность при НСР₀₅ составляет - 0,13 т/га (табл. 2).

Анализ литературных источников показывает, что в наших же опытах, проведенных в 2021-2022 годы урожайность нута сорта Приво 1 составило 0,87-2,4 т/га зерна, что на 0,59 меньше и 0,94 т/га больше в сравнении со средними данными наших исследований, проведенных в 2023-2024 года. Результаты учетов показали, что условия весны 2021 года были неблагоприятными для появления всходов из-за низкой влажности почвы, что привело к уменьшению урожайности растений нута [10, 14].

По литературным источникам в условиях Ульяновской области биологическая и фактическая урожайности сортов нута - Приво 1 и Волжанин составила 1,37; 1,88 т/га, 1,10; 1,33 т/га, напротив результатов наших исследований, что соответствует 2,35; 2,25 т/га, 1,46; 1,52 т/га, что на 0,98; 0,37 т/га и 0,36; 0,19 т/га больше в сравнении с литературными данными [4].

В условиях ФГБНУ ФНЦ Зернобобовых и крупяных культур в 2013-2015 годы средняя урожайность сортов нута Приво 1 и Триумф составило 1,3 т/га у обоих сортов. В засушливом 2013 году урожайность на 0,2 т/га была меньше в сравнении с другими годами исследования.

В засушливых условиях Поволжья урожайность нового сорта Вектор составило 2,31 т/га, Бенефис - 4,31 т/га, Сфера - 3,89, Сокол - 3,07 т/га, Волгоградский 10 [5, 6, 15].

2020–2022 годы в условиях Саратовской области урожайность нута сорта Зоовит составила 1,28 т/га зерна [12], условиях 2019 года 0,37 т/га [6]. В наших опытах урожайность данного сорта (1,92 т/га) намного выше показателей литературных источников.

Анализ литературных источников показал, что урожайность сортов нута в прямую зависит от погодных условий и сортовых особенностей.

Выводы. Согласно проведенной оценке потенциала продуктивности сортов нута в условиях Предкамья Республики Татарстан, можно отметить, что каждый сорт продемонстрировал хорошие результаты в зависимости от погодных условий.

1. Стандартный сорт – Приво 1 доминировал по количеству ветвей в растениях и количеству сохранившихся растений к уборке. По биологической урожайности проявился в условиях 2024 года (2,6 т/га). Масса тысяча семян соответствовало 241,3 г, что меньше сортовых данных (246 - 295 г).

2. У сорта Триумф наблюдали наибольшее количество листьев в сравнении с другими сортами. Средняя биологическая урожайность (2,85 т/га) была примерно на уровне с сортом Зоовит (2,9 т/га), фактическая урожайность зерна (2,16 т/га) была больше в сравнении со стандартом и другими сортами. Масса 1000 семян составила 276,9 г, меньше по отношению к сортовым характеристикам (290 - 422 г).

3. Сорт Волжанин хорошо показал себя по полноте всходов, высоте стебля и по количеству бобов, что данные показатели были выше, чем у стандарта. По средней урожайности (1,52 т/га) данные соответствуют сортовым показателям (1,5 т/га), но по отношению к стандарту особой разницы не было. Масса 1000 семян соответствовало 256,6 г, меньше по отношению к сортовым характеристикам (274 - 372 г).

4. Сорт Зоовит показал наивысшую среднюю биологическую (2,9 т/га) и хорошую фактическую (1,92 т/га) урожайность, что на 0,55 и 0,46 т/га соответственно превысило показатели стандартного сорта Приво 1. При этом средняя масса 1000 семян (302,2 г)

соответствовала нижней границе его сортовых характеристик (325-404 г).

Таким образом, для условий Предкамья Республики Татарстан наибольший потенциал

урожайности демонстрируют среднеспелые сорта Триумф и Зоовит, которые могут быть рекомендованы для производственного испытания.

Литература

1. Кадырова Ф. З., Климова Л. Р. Влияние биологически активных препаратов на формирование продуктивности растений гречихи. // Плодородие. 2020. № 3 (114). С 44-47.
2. Влияние некорневых подкормок на формирование генеративных органов у кукурузы. / М. Ю. Михайлова, Р. В. Миникаев, М. Ф. Амиров и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1(73). С. 12-17. doi: 10.12737/2073-0462-2024-12-17.
3. Пахомова В. М., Даминова А. И. / Действие антиоксидантов на рост растений // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 26-28. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11106.
4. Новиков, А. В., Бурунов А. Н., Васин В. Г. Формирование урожая нута при применении удобрений и стимуляторов роста. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1 (45). С. 31-38. doi: 10.18286/1816-4501-2019-1-31-38.
5. Приемы адаптивной ресурсосберегающей технологии возделывания нута в степном засушливом Поволжье. / Л. П. Шевцова, Н. И. Германцева, Н. А. Шыурова и др. // Аграрный научный журнал. 2017. № 2. С. 39-43.
6. Маслова Г. А., Кондаков К. С., Башинская О. С. Зависимость урожайности новых сортов нута от способа посева в Нижнем Поволжье. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 25-32. doi: 10.26898/0370-8799-2023-2-3.
7. Шарипова Г. Ф., Колесар В. А., Сафин Р. И. Эффективность применения удобрений с микроэлементами на различных сортах сои. // Плодородие. 2020. №3 (114). С. 9-11.
8. Valeria Kolesar, Gulia Sharipova, Diana Safina, et al. Use of foliar fertilizers on soybeans in the Republic of Tatarstan. BIO Web of Conferences 17, 00069 (2020). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700069>, FIES 2019.
9. Даминова А. И., Сибгатуллова А. К. Регуляторы роста, повышающие продуктивность сои. // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 3(7). С. 12-17. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019/6.104>.
10. Сабирова, Р. М., Сафин Р. И., Вафин И.Х. Расширение набора зернофуражных культур в Республике Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 2(6). С. 25-29. doi: 10.12737/2782-490X-2023-25-29.
11. Донская, М. В., Бобков С. В., Костикова Н. О. Оценка качества зерна различных сортообразцов нута. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 1(37). С. 30-36. doi: 10.24412/2309-348X-2021-1-30-36.
12. Влияние инокуляции семян и некорневой подкормки на урожайность и качество зерна нута в условиях сухостепного Заволжья / К. Е. Денисов, И. С. Полетаев, Н. Н. Таспаев, И. В. Гурина // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 17-21. doi: 10.28983/asj.y2023i7pp17-21.
13. Каматов, Н. К., Денисов К. Е. Влияние органического микроэлементного комплекса на продуктивность нута в условиях сухостепного Заволжья // Аграрные конференции. 2020. № 6(24). С. 22-31.
14. Оценка влияния применения препаратов Цитодеф-100 и Гибберелона на продуктивность растений нута в условиях Республики Татарстан / Р. М. Сабирова, И. Х. Вафин, А. Ж. Акеншаева, Р. Р. Бахтияров // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 4(12). С. 37-42. doi: 10.12737/2782-490X-2024-37-42.
15. Самаров В.М., Рябцев А.С. Нут в степной зоне Среднего Поволжья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 5 (116). С. 161-165.
16. Электронный реестр: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy/>
17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Гос. комис. по сортоиспытанию с.-х. культур при М-ве сел. хоз-ва СССР; [Участвовали Ю. А. Роговский и др.]; Под общ. ред. М. А. Федина. М.: Б. и., 1985. 267 с.
18. Доспехов В. А. Методика полевого опыта. Москва. Агропромиздат, 1985.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Сабирова Разина Мавлетгараевна - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: razina.sabirova.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8001-3133>
Акеншаева Айканыш Жусупбековна - аспирант, e-mail: akenshaevaaikanysh@gmail.com
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

PRODUCTIVITY POTENTIAL OF CHICKPEA VARIETIES IN KAMA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN R. M. Sabirova, A. Zh. Akenshaeva

Abstract. The study was conducted to assess the productivity and yield structure of various chickpea varieties in Kama region of the Republic of Tatarstan. Field trials were conducted in 2023-2024 on gray forest soil of Agrobiotechnopark of Kazan State Agrarian University, in accordance with the experimental methodology. The following chickpea varieties were studied: Privo 1, Triumph, Volzhanin and Zoovit. Despite generally favorable weather conditions for chickpeas during the study years, 2023 was characterized by drier conditions. The standard variety, Privo 1, outperformed the other varieties in number of branches per plant and number of surviving plants at harvest. Over the years of research, Triumph variety demonstrated the highest number of leaves and the highest average actual grain yield (2.16 t/ha) compared to other varieties. Volzhanin variety stood out for its seedling fullness, stem height and number of pods per plant, achieving a yield of 1.52 t/ha. Zoovit variety demonstrated good biometric indicators (stem height, number of branches and pods) and an actual grain yield of 1.92 t/ha, which is 0.46 t/ha higher than the standard. During the research years, the 1 000 seed weight of all studied varieties was slightly lower than the parameters specified in characteristics of these varieties. For the

conditions of Kama region of the Republic of Tatarstan, the mid-season Triumph and Zoovit varieties demonstrate the highest yield potential and can be recommended for production trials.

Key words: chickpea (*Cicer arietinum*), variety, crop, climatic conditions, productivity, yield.

For citation: Sabirova R.M., Akenshaeva A.Zh. Productivity potential of chickpea varieties in Kama region of the Republic of Tatarstan. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4(16). 40-45 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-40-45>

References

1. Kadyrova FZ, Klimova LR. [Influence of biologically active preparations on the formation of buckwheat plant productivity]. *Plodorodie*. 2020; 3 (114). 44-47 p.
2. Mikhaylova MYu, Minikaev RV, Amirov MF. [Influence of foliar feeding on the formation of generative organs in corn]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 1(73). 12-17 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-12-17.
3. Pakhomova VM, Daminova AI. [Effect of antioxidants on plant growth]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019; Vol.33. 11. 26-28 p. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11106.
4. Novikov AV, Burunov AN, Vasin VG. [Formation of chickpea yield with the use of fertilizers and growth stimulants]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 1(45). 31-38 p. doi: 10.18286/1816-4501-2019-1-31-38.
5. Shevtsova LP, Germantseva NI, Shyurova NA. [Methods of adaptive resource-saving technology for chickpea cultivation in the arid steppe Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2017; 2. 39-43 p.
6. Maslova GA, Kondakov KS, Bashinskaya OS. [Dependence of new chickpea varieties yield on the sowing method in lower Volga region]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 2023; Vol.53. 2. 25-32 p. doi: 10.26898/0370-8799-2023-2-3.
7. Sharipova GF, Kolesar VA, Safin RI. [Efficiency of using fertilizers with microelements on different soybean varieties]. *Plodorodie*. 2020; 3 (114). 9-11 p.
8. Valeria Kolesar, Gulsia Sharipova, Diana Safina. Use of foliar fertilizers on soybeans in the Republic of Tatarstan. *BIO Web of Conferences* 17. 00069. 2020. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700069>, FIES 2019.
9. Daminova AI, Sibgatullova AK. [Growth regulators that increase soybean productivity]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2023; 3(7). 12-17 p. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-25-29>.
10. Sabirova RM, Safin RI, Vafin IKh. [Expansion of the range of grain-fodder crops in the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2023; 2(6). 25-29 p. doi: 10.12737/2782-490X-2023-25-29.
11. Donskaya MV, Bobkov SV, Kostikova NO. [Assessment of grain quality of various chickpea varieties]. *Zernobobovye i krupnyanye kultury*. 2021; 1(37). 30-36 p. doi: 10.24412/2309-348X-2021-1-30-36.
12. Denisov KE, Poletaev IS, Taspaev NN, Gurina IV. [The effect of seed inoculation and foliar feeding on the yield and grain quality of chickpeas in the dry-steppe Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2023; 7. 17-21 p. doi: 10.28983/asj.y2023i7pp17-21.
13. Kamatov NK, Denisov KE. [Influence of an organic microelement complex on chickpea productivity in the dry-steppe Volga region]. *Agrarnyye konferentsii*. 2020; 6(24). 22-31 p.
14. Sabirova RM, Vafin IKh, Akenshaeva AZh, Bakhtiyarov RR. [Evaluation of effect of Cytodef-100 and Giberelon on chickpea plant productivity in the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2024; 4(12). 37-42 p. doi: 10.12737/2782-490X-2024-37-42.
15. Samarov VM, Ryabtsev AS. [Chickpea in the steppe zone of Middle Volga region]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016; 5 (116). 161-165 p.
16. [Internet]. <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selekttsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/>
17. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Gos. komis. po sortoispytaniyu s.-kh. kultur pri M-ve sel. khoz-va SSSR. [Methodology of state variety testing of agricultural crops. State commission for variety testing of agricultural crops under the Ministry of agriculture of the USSR]. Participated by Yu.A. Rogovskiy. general editorship of M.A.Fedin. Moscow: B. i. 1985; 267 p.
18. Dospekhov VA. Metodika polevogo opyta. [Field experience methodology]. Moscow. Agropromizdat. 1985.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Sabirova Razina Mavletgaraevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of o General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: razina.sabirova.1975@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8001-3133>
Akenshaeva Aykanysh Zhusupbekovna – post-graduate student, e-mail: akenshaevaaykanysh@gmail.com
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

**ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ КОНТРОЛЯ
ГЕЛЬМИНТОСПОРИОЗНЫХ ПЯТНИСТОСТЕЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ****Р. И. Сафин, Н. А. Медведев**

Реферат. Проведена оценка видового состава гельминтоспориозных пятнистостей ярового двурядного ячменя. Установлено, что преобладающим микозом данного типа в период 2022-2025 годы на культуре была темно-бурая пятнистость (патоген – *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker). В полевых условиях (серая лесная среднесуглинистая почва) в 2022-2024 годы проведена оценка влияния применения биопрепаратов на основе эндофитных бактерий на развитие гельминтоспориозных пятнистостей листьев ярового ячменя сорта Раушан. Применение для обработки семян и опрыскивания посевов биопрепарата на основе эндофитной бактерии (*Bacillus mojavensis* PS-17) оказывает значительное положительное влияние на снижение поражения растений ярового ячменя всеми гельминтоспориозными пятнистостями (биологическая эффективность против темно-бурой пятнистости составила – 21,7%; сетчатой пятнистости – 35,1%). При этом отмечался рост урожайности на 0,87 т/га или на 17% к варианту без обработок. В 2025 году, в условиях благоприятных для развития болезней типа пятнистостей, на яровом ячмене сорта Память Чепелева проводились испытания эффективности смесевых биопрепаратов (эндофитные бактерии в смеси с янтарной кислотой) при однократном и двукратном применении. Было установлено, что использование таких препаратов, особенно при двукратной обработке, способствует снижению поражения листовой поверхности темно-бурой пятнистостью и сетчатой пятнистостью. Биологическая эффективность контроля составила для первого микоза – 20,8-21,9%, для второго – 18,3-19,4%. Применение препарата на основе янтарной кислоты и *Bacillus spp.* KS-63 AU привело к увеличению урожайности ярового ячменя на 0,55 т/га (на 19%) к контролю. В результате исследований показана перспективность использования биологических препаратов на основе эндофитных бактерий для применения в качестве биологических приемов защиты, в том числе в органическом производстве ярового ячменя.

Ключевые слова: болезни растений, микозы, пятнистости листьев, гельминтоспориозы, биологическая защита, биопрепараты, яровой ячмень.

Для цитирования: Сафин Р.И., Медведев Н.А. Особенности развития и биологические приемы контроля гельминтоспориозных пятнистостей ярового ячменя / Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2025. 4 (16). С. 46-52 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-46-52>

Введение. Яровой ячмень остается важнейшей продовольственной и кормовой зерновой культурой в Российской Федерации и в мире [1, 2]. Среди факторов, ограничивающих рост урожайности и значительно ухудшающих качественные характеристики зерна ячменя, особое место занимают микозы, ущерб от которых может достигать значительного уровня [3, 4]. К числу наиболее распространенных и вредоносных болезней грибной этиологии относятся пятнистости листьев, вызываемые грибами, исторически относящимися к группе «гельминтоспориозов», т.к. первоначально фитопатогены данной группы относились к роду *Helminthosporium* [5, 6, 7]. К числу таких болезней относятся – 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.)) [8, 9, 10]. Данные заболевания распространены в Республике Татарстан и относятся к числу важнейших объектов контроля в зональных системах защиты культуры [11].

Для контроля гельминтоспориозных пятнистостей ярового ячменя применяются различные химические фунгициды, прежде всего, относящиеся к группе триазолов [12, 13]. Однако, с учетом роста рисков развития резистентности

к системным фунгицидам у фитопатогенов и необходимостью экологизации производства зерна, все большее значение приобретает разработка биологических методов контроля болезней, в том числе и на яровом ячмене. Перспективность данного направления подтверждается в целом ряде исследований [14, 15]. В качестве биологических агентов биофунгицидов, применяемых на яровом ячмене, высокую активность показывают препараты на основе бактерий рода *Bacillus* [16, 17, 18]. К числу таких микроорганизмов относятся и эндофитные бактерии, выделенные из растений, обладающие высокой активностью в отношении контроля различных фитопатогенов [19, 20]. Кроме того, имеются сведения о высокой активности ряда органических кислот, в частности янтарной кислоты в повышении устойчивости растений к болезням и абиотическим стрессам [21, 22].

Целью работы было изучение особенностей распространения гельминтоспориозных пятнистостей и оценка эффективности биологических методов их контроля на яровом двурядном ячмене зернофуражного назначения в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. Учеты развития листовых болезней и два полевых опыта проводились в период 2022-2025 годы на опытных участках (Агробiotехнопарк Казанского ГАУ, опытные поля кафедры общего

земледелия, защиты растений и селекции) вблизи населенного пункта Нармонка, расположенного в Предкамье Республики Татарстан. Учет поражения растений в фазы выхода в трубку, колошения и молочной спелости, при оценке роли различных гельминтоспориозных пятнистостей в многолетней динамике проводился на восприимчивом сорте Рушан на делянках, где не применялись фунгициды.

Опыт 1. Оценка эффективности применения биопрепарата на основе эндофитной бактерии *Bacillus mojavensis* PS-17 (2022-2024 годы).

Объект исследований – среднеспелый сорт ярового двурядного пленчатого ячменя Раушан (отличается восприимчивостью к гельминтоспориозной пятнистости).

Схема опыта: 1. Контроль (без обработки биопрепаратом). 2. Обработка семян, 1 л/т; 3. Обработка растений (опрыскивание в фазу выхода в трубку и в фазу колошения с нормой расхода рабочей жидкости 200 л/га), 1 л/га. 4. Сочетание обработки (обработка семян + обработка растений).

Общая площадь делянки – 25 м², учетная – 20 м². Повторность в опыте – трехкратная. Предшественник в опыте – чистый пар.

Штамм *Bacillus mojavensis* PS-17 входит в состав биопрепарата Системика М (ООО «Органик Парк»).

Опыт 2. Оценка эффективности применения биопрепарата на основе эндофитных бактерий и янтарной кислоты (2025 г).

Объект исследований – среднеспелый сорт ярового двурядного пленчатого ячменя Память Чепелева (умеренно устойчив к полосатой пятнистости).

Схема опыта: 1. Контроль (без обработки биопрепаратом). 2. Однократная обработка препаратом (*Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU + янтарная кислота) в фазу выхода в трубку. 3. Однократная обработка препаратом (*Bacillus spp.* KS-63 AU + янтарная кислота) в фазу выхода в трубку. 4. Двукратная обработка препаратом (*Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU + янтарная кислота) в фазу выхода в трубку и в фазу колошения. 5. Двукратная обработка препаратом (*Bacillus spp.* KS-63 AU + янтарная кислота) в фазу выхода в трубку и в фазу колошения.

Штамм *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU выделен из семян яровой пшеницы и депонирован в Сетевой биоресурсной коллекции в области генетических технологий для сельского хозяйства (RCAM) при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии» (ФГБНУ ВНИИСХ) и включен в коллекцию под номером RCAM06734.

Штамм *Bacillus velezensis* KS-63 AU выделен из семян сои и находится на этапе депонирования.

Соотношение в биопрепарате культуральной жидкости биоагентов и раствора органической кислоты – 1 : 1. Во всех опытных вариантах использовалась норма расхода препарата 1 л/га.

Расход рабочей жидкости – 200 л/га.

Общая площадь делянки – 25 м², учетная – 20 м². Повторность в опыте – трехкратная. Предшественник в опыте – яровая пшеница.

В обоих опытах норма высева всхожих семян составила 5,5 млн. шт./га. Агротехнология возделывания соответствовала зональным рекомендациям. Перед посевом вносилась нитроаммофоска (150 кг/га в физическом весе). Почва опытных участков (серая лесная среднесуглинистая) отличается высоким содержанием гумуса (3,2-3,9%), обменного калия (159-161 мг/кг), подвижного фосфора (275-281 мг/кг) при реакции почвенного раствора близкой к нейтральной (почва высококультуренная).

Вегетация 2022 и 2023 годы отличались засушливыми условиями (ГТК = 0,33-0,66), в 2024 году условия были относительно благоприятными (ГТК = 0,94), а в 2025 году отмечались периоды с большим количеством осадков (ГТК = 1,79), что отразилось на развитии болезней. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Селянинову за период май-август по данным метеопоста Казанского ГАУ.

Учет болезней проводился в период вегетации (в фазу выхода в трубку, колошения, молочной спелости) в соответствии с рекомендациями для ячменя. Для учета темно-бурой и полосатой пятнистой использовались четырехбалльная шкала, для учета сетчатой пятнистости – визуальная шкала А.Е. Чумакова, Т.И. Захаровой [23]. На основании полученных данных, рассчитывался показатель развития болезни (в фазы выхода в трубку, колошения и молочной спелости), а затем определялся показатель в среднем за учеты. Расчет биологической эффективности контроля болезней проводилась согласно «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве» по стандартной формуле Аббота.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Statistica 6.0 и Excel. Дисперсионный анализ проводился по Б.А. Доспехову при уровне значимости $P = 0,05$.

Результаты и обсуждения. Данные по итогам учетов развития листовых гельминтоспориозных пятнистостей представлены в таблице 1.

Во все годы исследований преобладающим микозом на листьях ярового ячменя была темно-бурая пятнистость (среднее за годы исследований развитие болезни 23,3%), несколько в меньшей степени растения поражались сетчатой пятнистостью, а полосатая пятнистость регистрировалась только в 2025 году, отличающегося большим количеством осадков. В тоже время, анализ коэффициента вариации показателя показал, что значения развития болезней для сетчатой пятнистости были более стабильными по годам (коэффициент вариации 11,1%), чем для темно-бурой пятнистости (коэффициент вариации – 16,9%). Максимальные значения для всех заболеваний складывались в условиях более увлажненного 2025 года.

АГРОНОМИЯ

Таблица 1 – Развитие листовых гельминтоспориозных пятнистостей на яровом ячмене сорта Раушан (в среднем за вегетацию), %, 2022-2025 годы

Год исследований (ГТК за вегетацию)	Заболевание		
	темно-бурая пятнистость	сетчатая пятнистость	полосатая пятнистость
2022 (ГТК=0,33)	24,0	22,7	0
2023 (ГТК = 0,66)	17,7	17,3	0
2024 (ГТК=0,94)	24,7	20,7	0
2025 (ГТК= 1,79)	26,9	21,0	4,9
В среднем за 2022-2025 годы	23,3	20,4	1,2
Коэффициент вариации, %	16,9	11,1	

Примечание: с учетом отсутствия в период 2022-2024 годы на посевах полосатой пятнистости, коэффициент вариации для данного заболевания не рассчитывался

Во все годы исследований преобладающим микозом на листьях ярового ячменя была темно-бурая пятнистость (среднее за годы исследований развитие болезни 23,3%), несколько в меньшей степени растения поражались сетчатой пятнистостью, а полосатая пятнистость регистрировалась только в 2025 году, отличающегося большим количеством осадков. В тоже время, анализ коэффициента вариации показателя показал, что значения развития болезней для сетчатой пятнистости были более стабильными по годам

(коэффициент вариации 11,1%), чем для темно-бурой пятнистости (коэффициент вариации – 16,9%). Максимальные значения для всех заболеваний складывались в условиях более увлажненного 2025 года.

С целью оценки влияния применения биопрепарата на основе эндофитной бактерии *Bacillus mojavensis* PS-17 на болезни проводился фитопатологический мониторинг посевов и рассчитывался показатель биологической эффективности (по формуле Аббота) их контроля (табл. 2).

Таблица 2 – Развитие листовых гельминтоспориозных пятнистостей (числитель) и биологическая эффективность контроля (знаменатель) на яровом ячмене сорта Раушан при использовании биопрепарата на основе *Bacillus mojavensis* PS-17 (в среднем за вегетацию), %, 2022-2024 годы

Вариант	Заболевание		
	темно-бурая пятнистость	сетчатая пятнистость	полосатая пятнистость
Контроль	22,1	20,2	0
Обработка семян	19,2/13,1	15,0/25,7	0
Обработка растений	19,4/12,2	14,6/27,7	0
Обработка семян + обработка растений	17,3/21,7	13,1/35,1	0
НСР ₀₅	1,1	0,8	

Полученные результаты подтвердили, что биопрепарат на основе эндофитной бактерии *Bacillus mojavensis* PS-17, оказывает положительное влияние на снижение поражения растений гельминтоспориозными пятнистостями. В большей степени данный эффект проявился в отношении сетчатой пятнистости, в меньшей – для темно-бурой пятнистости.

Максимальные значения биологической эффективности (21,7% для темно-бурой пятнистости и 35,1% для сетчатой пятнистости) отмечали при комбинированной обработке – обработка семян + обработка растений.

В результате применения биопрепарата отмечался и рост урожайности ярового ячменя (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность ярового ячменя сорта Раушан при использовании биопрепарата на основе *Bacillus mojavensis* PS-17, т/га, 2022-2024 годы

Вариант	2022 г	2023 г	2024 г	Средняя за 3 года	Прибавка	
					т/га	%
Контроль	5,42	4,72	5,22	5,12		
Обработка семян	5,94	5,15	5,27	5,45	0,33	6,4
Обработка растений	6,40	5,52	5,32	5,75	0,63	12,3
Обработка семян + обработка растений	6,60	5,77	5,60	5,99	0,87	17,0
НСР ₀₅	0,21	0,27	0,16			

Эффективность лишь обработки семян и только опрыскивания биопрепаратом различалась по годам, если в более засушливых

условиях (2022 и 2023 годы) они обеспечили достоверный рост урожайности в сравнении с контролем, то в более благоприятном

АГРОНОМИЯ

2024 году такого эффекта не отмечалось. В то же время, сочетание обработки семян и обработки растений, во все годы исследований приводила к росту величины урожая, причем в среднем за годы исследований он достиг

уровня 17,0% к контролю.

С целью расширения спектра активности, проведены исследования по оценке эффективности биопрепаратов на основе эндофитных бактерий и янтарной кислоты (табл. 4).

Таблица 4 – Развитие листовых гельминтоспориозных пятнистостей и биологическая эффективность контроля на яровом ячмене сорта Память Чепелева при использовании биопрепарата, 2025 год

Вариант	Развитие болезни, %		Биологическая эффективность, %	
	темно-бурая пятнистость	сетчатая пятнистость	темно-бурая пятнистость	сетчатая пятнистость
Контроль	16,0	15,3		
Однократная обработка				
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	16,0	13,0	0	15,0
<i>Bacillus spp.</i> KS-63 AU + янтарная кислота	16,3	13,3	0	12,9
Двукратная обработка				
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	12,7	12,3	20,8	19,4
<i>Bacillus spp.</i> KS-63 AU + янтарная кислота	12,5	12,5	21,9	18,3
HCP ₀₅	0,61	0,54		

Эффективность биопрепаратов сильно зависела от кратности обработки, если при однократном применении, практически не оказали существенного влияния на развитие темно-бурой пятнистости, то при двукратном опрыскивании посевов отмечается снижение развития обоих микозов, причем уровень биологической эффективности против темно-бурой пятнистости (20,8-21,9%), был выше, чем для сетчатой пятнистости (18,3-19,4%). Низкая

эффективность однократной обработки биопрепаратами может быть связана с очень благоприятными условиями для развития листовых гельминтоспориозов в условиях 2025 года. Значительных различий по эффективности контроля между препаратами с разными штаммами эндофитных бактерий не отмечалось.

Применение биопрепаратов оказало влияние и на урожайность ярового ячменя (табл. 5).

Таблица 5 – Урожайность ярового ячменя сорта Память Чепелева при использовании биопрепарата, т/га, 2025 год

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка урожая	
		т/га	%
Контроль	2,90		
Однократная обработка			
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	3,16	0,26	9,0
<i>Bacillus spp.</i> KS-63 AU + янтарная кислота	3,29	0,39	13,4
Двукратная обработка			
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> KS-25 AU + янтарная кислота	3,24	0,34	11,7
<i>Bacillus spp.</i> KS-63 AU + янтарная кислота	3,45	0,55	19,0
HCP ₀₅	0,12		

Во всех вариантах с применением биопрепаратов отмечался достоверный рост урожайности (на 9,0-19,0% к контролю). При оценке различных препаратов установлено, что препарат на основе штамма *Bacillus spp.* KS-63 AU как при однократном, так и при двукратном применении оказывает более выраженное положительное влияние на урожайность ярового ячменя, чем биопрепарат на основе *Bacillus amyloliquefaciens* KS-25 AU. В целом по опыту, наибольшая урожайность (3,45 т/га или на 19% выше, чем в контроле) была при двукратной обработке составом *Bacillus spp.* KS-63

AU + янтарная кислота.

Выводы. В течение последних четырех лет (2022-2025 годы), преобладающим микозом из группы гельминтоспориозных листовых пятнистостей, в условиях места проведения опытов, была темно-бурая пятнистость, но ее развитие сильно варьировало по годам, тогда как для сетчатой пятнистости вариация показателя развития болезни изменялась в меньшей степени.

Использование для обработки семян и последующего опрыскивания биопрепаратом на основе *Bacillus mojavensis* PS-17 оказывает

положительное влияние на формирование урожая ярового ячменя и снижает развитие листовых болезней.

Показана перспективность использования биопрепаратов на основе янтарной кислоты и

эндофитных бактерий (особенно штамма *Bacillus spp.* KS-63 AU) при двукратной обработке на яровом ячмене даже в условиях благоприятных для развития листовых микозов.

Литература

1. Кумратова А.М., Алешенко В.В. Продуктивность зернового производства в России: тенденции и перспективы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 142-146. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-142-146>.
2. Soare E., Bold N., Stoicea P., David L., Dobre C.-A., A.-R. Firătoiu, Survey on the worldwide barley production and trade //Bulg. J. Agric. Sci., 2023. Vol. 29 (1), P.119–124.
3. Выявление источников устойчивости ярового ячменя к листовым болезням и каменной головне/ Н.В. Шишкин, Т.Г. Дерова, Е.С. Дорошенко и др. // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(71). С. 86-90. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-71-5-86-90>.
4. Wiewióra B, Żurek G. The infection of barley at different growth stages by *bipolaris sorokiniana* and its effect on plant yield and sowing value //Agronomy. 2024; Vol. 14(6):1322. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061322>
5. Backes A, Guerriero G, Ait Barka E, Jacquard C. *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control //Front Plant Sci. 2021 Apr 6;12:614951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951>.
6. Левакова О.В., Ершенико Л.М. Устойчивые к гельминтоспориозным пятнистостям высокоурожайные сорта и линии ярового ячменя //Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 2. С. 33-35. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/2/33-35>.
7. Шешегова Т.К., Щенникова И.Н. Источники устойчивости ячменя к гельминтоспориозным болезням и их использование в ФАНЦ Северо-Востока // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2020. № 2(55). С. 76-83. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-76-83>.
8. Ассоциированные с ячменём микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России / Ф. Б. Ганнибал, Е. В. Полуэктова, Я. В. Лукьянец и др. // Вестник защиты растений. 2023. Т. 106. № 4. С. 172-186. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116>.
9. Интегрированная защита ячменя ярового на Северо-Западе России / А. М. Шпанев, А. Б. Лаптев, Н. Р. Гончаров, В. В. Воронцов //Защита и карантин растений. 2020. № 6. С. 30-36.
10. Çelik Oğuz A., Karakaya A. Genetic diversity of barley foliar fungal pathogens// Agronomy. 2021. 11. 434. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030434>
11. Каримова Л. З. Особенности формирования урожая ярового ячменя и развития гельминтоспориозов на различных сортах ярового ячменя // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2012. Т. 7. № 1(23). С. 129-132.
12. Биологическая эффективность средств защиты растений в посевах ярового ячменя сорта Емеля / А. В. Бобровский, Н. С. Козулина, А. В. Василенко и др. // Защита и карантин растений. 2023. № 7. С. 22-24. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2023_7_22.
13. Горянин О.И., Пронович Л.В. Влияние элементов технологий на эффективность возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 6. С. 11-15. https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_6_11.
14. Коробов В.А., Морозов Д.О., Букреев В.В. Эффективность различных систем защиты ярового ячменя от болезней // Защита и карантин растений. 2023. – № 5. С. 16-17. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2023_5_16.
15. Валидов Ш.З., Комиссаров Э.Н. Бактериальный консорциум на основе ризосферных бактерий ярового ячменя // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 4(76). С. 12-17. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-12-17>.
16. Продуктивность яровых колосовых культур при применении биопрепаратов на основе - *Bacillus subtilis* в условиях Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. И. Гараев и др. // Агро-биотехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 1(1). С. 28-34. <https://doi.org/10.12737/-2022-1-1-28-34>.
17. Шпанев А.М., Денисюк Е.С. Эффективность микробиологических препаратов на основе *Bacillus subtilis* и *Trichoderma harzianum* в защите ярового ячменя от болезней на Северо-Западе России // Биотехнология. 2020. Т. 36. № 1. С. 61-72. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2020-36-1-61-72>.
18. Асатулова А.М., Жевнова Н.А., Сидоров Н.М., Кремнева О.Ю. Эффективность бактерий-антагонистов *Bacillus* и *Pseudomonas* в качестве агентов биоконтроля сетчатой пятнистости озимого ячменя в полевых условиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 10(311). С. 69-77. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-10-7>.
19. Влияние эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* 26д и *Bacillus velezensis* m66 на устойчивость растений картофеля к возбудителю альтернариоза *Alternaria solani* / А. В. Сорокань, В. Ф. Габдрахманова, И. С. Марданшин, И. В. Максимов // Прикладная биохимия и микробиология. 2024. Т. 60. № 6. С. 623-631. <https://doi.org/10.31857/S0555109924060064>.
20. Weerasinghe V., Bakker M.G., Tucke J.R., Fernando W.G.D., Sura S., Badea A., Wijekoon C. Comparison of bacterial endophytes in barley grains infected and non-infected with fusarium head blight using metabarcoding //Plant Pathol. 2025. 74: 2241-2255. <https://doi.org/10.1111/ppa.70015>.
21. 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. 376. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06403-2>
22. Влияние макроудобрений и стимуляторов роста на содержание хлорофилла в листьях яровой пшеницы / Н. А. Воронкова, В. А. Волкова, Н. А. Цыганова и др. // Плодородие. 2022. № 1(124). С. 17-21. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.05>.
23. Афанасенко О.С. Устойчивость ячменя к гембиотрофным патогенам // Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб.: ВИР, 2005. С. 592–609.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Работа выполнена в рамках государственного задания МСХ РФ по теме: «Разработка комплексных средств защиты растений от болезней на основе эндوفитных бактерий и органоминеральных составов».

Сведения об авторах:

Сафин Радик Ильясович - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. АН РТ, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: radiksaf2@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6276-5728>

Медведев Никита Андреевич - аспирант, старший преподаватель кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: nikitamedvedev170217@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

DEVELOPMENT CHARACTERISTICS AND BIOLOGICAL CONTROL METHODS FOR HELMINTHOSPORIUM SPOTS OF SPRING BARLEY

R. I. Safin, N. A. Medvedev

Abstract. The species composition of helminthosporium leaf spots on two-row spring barley was assessed. It was established that the predominant fungal infection of this type on the crop during the period 2022-2025 was dark brown leaf spot (pathogen: *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker). The effect of using endophytic bacteria-based biopreparations on the development of helminthosporium leaf spots on spring barley of Raushan variety was assessed under field conditions (gray forest medium loamy soil) from 2022-2024. The use of a biological product based on an endophytic bacterium (*Bacillus mojavensis* PS-17) for seed treatment and crop spraying has a significant positive effect on reducing the incidence of all helminthosporium leaf spot diseases in spring barley (biological efficacy against dark brown leaf spot was 21.7%; net leaf spot – 35.1%). Moreover, a yield increase of 0.87 t/ha or 17% compared to the untreated variant, was observed. In 2025, under conditions favorable for the development of leaf spot diseases, trials of the effectiveness of mixed biological products (endophytic bacteria mixed with succinic acid) with single and double applications were conducted on the Pamyat Chepeleva spring barley variety. It was found that the use of such preparations, especially when applied twice, helps reduce leaf surface damage by dark brown spot and net spot. The biological control effectiveness was 20.8-21.9% for the former and 18.3-19.4% for the latter. Application of a preparation based on succinic acid and *Bacillus* spp. KS-63 AU resulted in an increase in spring barley yield by 0.55 t/ha (19%) compared to the control. The research demonstrated the potential of using biological preparations based on endophytic bacteria as biological control methods, including in organic spring barley production.

Key words: plant diseases, mycoses, leaf spots, Helminthosporium wilt, biological control, biological preparations, spring barley.

For citation: Safin R.I., Medvedev N.A. Development characteristics and biological control methods for helminthosporium spots of spring barley. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4(16). 46-52 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-46-52>

References

1. Kumratova AM, Aleshchenko VV. [Grain production productivity in Russia: trends and prospects]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 3(63). 142-146 p. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-142-146>.
2. Soare E, Bold N, Stoica P, David L, Dobre CA, Firațoiu AR. Survey on the worldwide barley production and trade. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2023; Vol.29 (1). 119-124 p.
3. Shishkin NV, Derova TG, Doroshenko ES. [Identification of sources of spring barley resistance to leaf diseases and stone smut]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2020; 5(71). 86-90 p. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-71-5-86-90>.
4. Wiewiora B, Zurek G. The infection of barley at different growth stages by *bipolaris sorokiniana* and its effect on plant yield and sowing value. *Agronomy*. 2024; Vol.14(6). 1322. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061322>
5. Backes A, Guerriero G, Ait Barka E, Jacquard C. *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley and mode of control. *Front Plant Sci.* 2021; Apr 6. 12. 614951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951>.
6. Levakova OV, Eroshenko LM. [High-yielding varieties and lines of spring barley resistant to helminthosporium leaf spot]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2020; 2. 33-35 p. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/2/33-35>.
7. Sheshegova TK, Shchennikova IN. [Sources of barley resistance to helminthosporium diseases and their use in Federal Scientific Center of the North-East]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*. 2020; 2(55). 76-83 p. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-76-83>.
8. Gannibal FB, Poluektova EV, Lukyanets YaV. [Barley-associated micromycetes and their significance as pathogens in Russia]. *Vestnik zashchity rasteniy*. 2023; Vol.106. 4. 172-186 p. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16116>.
9. Shpanev AM, Laptiev AB, Goncharov NR, Voropaev VV. [Integrated protection of spring barley in North-west of Russia]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2020; 6. 30-36 p.
10. Celik Oguz A, Karakaya A. Genetic diversity of barley foliar fungal pathogens. *Agronomy*. 2021; 11. 434 p. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030434>
11. Karimova LZ. [Features of spring barley yield formation and helminthosporiosis development on different varieties of spring barley]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012; Vol.7. 1(23). 129-132 p.
12. Bobrovskiy AV, Kozulina NS, Vasilenko AV. [Biological efficiency of plant protection products in crops of spring barley of Emelya variety]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2023; 7. 22-24 p. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2023_7_22.
13. Goryanin OI, Pronovich LV. [Influence of technological elements on the efficiency of spring barley cultivation in arid conditions of Volga region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2024; Vol.38. 6. 11-15 p. https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_6_11.
14. Korobov VA, Morozov DO, Bukreev VV. [Efficiency of various systems for protecting spring barley from diseases]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2023; 5. 16-17 p. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2023_5_16.
15. Validov ShZ, Komissarov EN. [Bacterial consortium based on rhizosphere bacteria of spring barley]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 4(76). 12-17 p. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-12-17>.
16. Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM, Garaev RI. [Productivity of spring cereal crops using biopreparations based on *Bacillus subtilis* in the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2022; 1(1). 28-34 p. <https://doi.org/10.12737/-2022-1-1-28-34>.

17. Shpanev AM, Denisjuk ES. [Efficiency of microbiological preparations based on *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* in protecting spring barley from diseases in the North-West of Russia]. *Biotekhnologiya*. 2020; Vol.36. 1. 61-72 p. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2020-36-1-61-72>.
18. Asaturova AM, Zhevnova NA, Sidorov NM, Kremneva OYu. [Efficiency of *Bacillus* and *Pseudomonas* antagonist bacteria as biocontrol agents for net blotch of winter barley under field conditions]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 2024; Vol.54. 10(311). 69-77 p. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-10-7>.
19. Sorokan AV, Gabdrakhmanova VF, Mardanshin IS, Maksimov IV. [Influence of endophytic bacteria *Bacillus subtilis* 26d and *Bacillus velezensis* m66 on the resistance of potato plants to the causative agent of alternaria leaf spot *Alternaria solani*]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2024; Vol.60. 6. 623-631 p. <https://doi.org/10.31857/S0555109924060064>.
20. Weerasinghe V, Bakker MG, Tucke JR, Fernando WGD, Sura S, Badea A, Wijekoon C. Comparison of bacterial endophytes in barley grains infected and non-infected with fusarium head blight using metabarcoding. *Plant Pathol*. 2025; 74. 2241-2255 p. <https://doi.org/10.1111/ppa.70015>.
21. 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; 376 p. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06403-2>.
22. Voronkova NA, Volkova VA, Tsyganova NA. [Effect of macrofertilizers and growth stimulants on chlorophyll content in spring wheat leaves]. *Plodorodie*. 2022; 1(124). 17-21 p. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.124.05>.
23. Afanasenko OS. [Barley resistance to hemibiotrophic pathogens]. *Identifitsirovannyi genofond rasteniy i selektsiya*. SPb.: VIR. 2005; 592-609 p.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest. This work was completed as part of a state assignment from Ministry of Agriculture of the Russian Federation on the topic: "Development of integrated plant protection products against diseases based on endophytic bacteria and organomineral compounds".

Authors:

Safin Radik Ilyasovich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Head of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: radiksaf2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6276-5728>
 Medvedev Nikita Andreevich – post-graduate student, Senior Lecturer of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: nikitamedvedev170217@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ, МИКРОУДОБРЕНИЙ И БИОПРЕПАРАТОВ НА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ**В. Н. Фомин, И. Р. Гайнутдинов, Р. Г. Хуснутдинов**

Реферат. Статья посвящена изучению влияния уровня минерального питания, однокомпонентных и многокомпонентных баковых смесей на водопотребление и урожайность кукурузы при возделывании на силос в 2022-2024 годах в Республике Татарстан. Двухфакторный опыт был проведен по следующей схеме: Фактор А – фон питания: 1. Без внесения туков (контроль); 2. Расчет на формирование силосной массы кукурузы 35,0 т/га. Фактор В – Микроудобрения и биопрепараты: 1. Без обработки (контроль); 2. Батр; 3. Батр + Биодукс; 4. Батр + Органит Р; 5. Батр + Органит N; 6. Батр + Органит Р + Биодукс; 7. Батр + Органит N + Биодукс; 8. Батр + Органит Р + Органит N; 9. Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс. Объектом был раннеспелый гибрид кукурузы РОСС-199 МВ; регулятор роста растений Биодукс, биопрепараты Органит Р, Органит N, и микроудобрение Батр. Почва серая лесная. Почва в годы опытов содержала: гумуса (по Тюрину) – 3,4%, подвижного фосфора и обменного калия (по Кирсанову) – 154-159 мг/кг и 185-190 мг/кг почвы, щелочно-гиролизуемого азота 70-78 мг/кг, рН сол. – 5,8. Повторность опыта – трехкратная, общая площадь делянки – 84 м², учетная – 70 м². В ходе исследований было отмечено увеличение урожайности зеленой массы кукурузы в среднем за 3 года с 25,2 до 30,8 т/га (без применения удобрений) и с 32,1 до 38,9 т/га (при расчете на 35 т/га) при обработке посевов четырех компонентной (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс) баковой смесью. На удобренном фоне экономия влаги при применении данных баковых смесей составила 30,6 м³/т, или 5,8%. Нормы удобрений на получение 35 т/га зеленой массы рассчитаны расчетно-балансовым методом.

Ключевые слова: кукуруза (*Zeamays*), водопотребление, коэффициент водопотребления, урожайность, смеси, стимуляторы роста, удобрения.

Для цитирования: Фомин В.Н., Гайнутдинов И.Р., Хуснутдинов Р.Г. Влияние уровня минерального питания, микроудобрений и биопрепаратов на водопотребление и урожайность кукурузы // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 4(16). С. 53-60 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-53-60>

Введение. Кукуруза среди зерновых культур в мире является ведущей зерновой и зернофуражной культурой [1, 2, 3]. Она имеет широкий диапазон использования. Для животноводства кукуруза дает силос и кормовые добавки [4, 5]. Из продуктов из нее получают: крахмал, масло, крупу. Для Республики Татарстан, как лидера по производству продукции молочного животноводства, кукуруза является особенно ценной культурой [6, 7]. Несмотря на свою засухоустойчивость, в силу особенностей строения корневой системы, кукуруза нуждается в хорошем увлажнении [8].

Источником влаги для растений в основном является почва. Поэтому все агротехнические приемы должны быть направлены на сохранение влаги, что особенно важно при ведении земледелия в условиях недостатка влаги. Суммарный расход влаги на один гектар складывается из непродукционного испарения влаги с поверхности почвы, транспирации растений и подсчитывается путем определения водного баланса культуры [8]. Однако, в начале вегетации кукурузы, когда листовая поверхность мало развита, испарение влаги с поверхности почвы преобладает над транспирацией, в середине вегетационного периода они выравниваются, а уже в конце вегетации транспирация преобладает над испарением влаги с поверхности почвы [9, 10].

Однако в связи с неравномерным выпадением осадков в течении вегетации кукурузы и различной динамикой потребления влаги по фенологическим фазам запасы влаги в почве изменяются.

Учитывая то, что в последние годы в республике Татарстан из 5 лет обычно бывает

2 года засушливых, два средних и один благоприятный весьма важно установить закономерности водопотребления в зависимости от применяемых удобрений и схем проведения листовых подкормок регуляторами роста [11, 12, 13] и биопрепаратами [14, 15]. Аналогичного мнения придерживаются и другие авторы [16, 17, 18].

Цель работы изучить влияние уровня минерального питания и схем листовых подкормок на водопотребление и урожайность кукурузы.

Задачи:

- проанализировать динамику метеорологических условий за вегетационный периоды 2022-2024 годы;
- определить суммарное водопотребление и коэффициент водопотребления;
- рассчитать гидротермический коэффициент (ГТК);
- проанализировать урожайность кукурузы при возделывании на силос в зависимости от изучаемых приемов.

Условия, материалы и методы. Опыты по влиянию уровня минерального питания и схем листовых подкормок с использованием микроудобрений и регуляторов роста проводились тяжелосуглинистой на серой лесной почве в 2022-2024 годах в ООО Агрофирма «Кырлай» Арского муниципального района Республики Татарстан. Почва в годы опытов содержала: гумуса (по Тюрину) – 3,4%, подвижного фосфора и обменного калия (по Кирсанову) – 154-159 мг/кг и 185-190 мг/кг почвы, щелочно-гиролизуемого азота 70-78 мг/кг, рН сол. – 5,8.

Для характеристики метеорологических условий использованы данные метеостанции г. Арск Республики Татарстан (рис. 1, 2, 3).

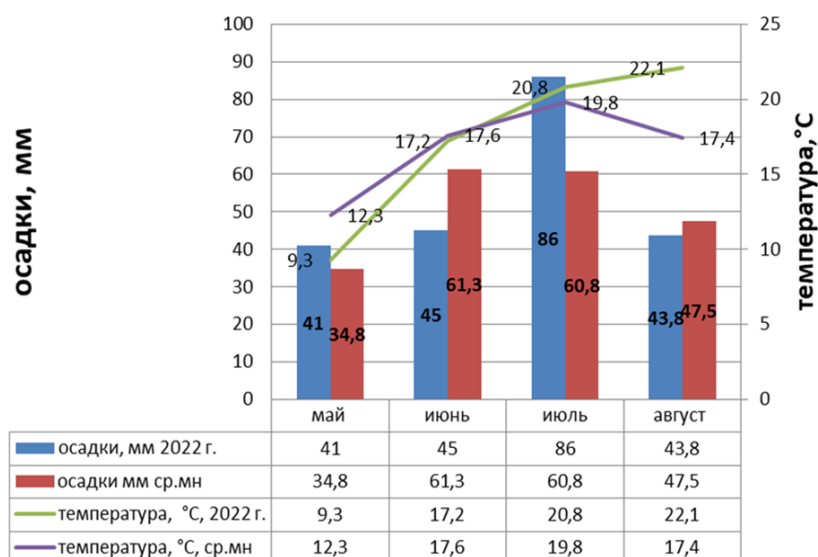


Рис. 1 – Метеорологические условия по данным метеостанции Арск, 2022 год

В период сева кукурузы 14 мая 2022 году осадков выпало 30 мм, при температуре 9,6°C, что ниже нормы на 3°C. Пониженная температура воздуха при достаточном количестве продуктивной влаги способствовала появлению всходов на 7-ый день после посева. В июне при норме 61,3 мм выпало 45 мм (что ниже на 16,3 мм, или 26,6%). Июль и начало августа отличались повышенными температурами,

превышающими среднееголетнюю на 1,0 и 4,0°C соответственно, а осадков выпало больше среднееголетних значений только в июле на 15,2 мм, а в августе осадков было меньше на 3,7 мм. Сумма эффективных температур за вегетацию составила – 1695°C, а ГТК был равен 1,07, что позволило сформировать запланированный урожай зеленой массы высокого качества.

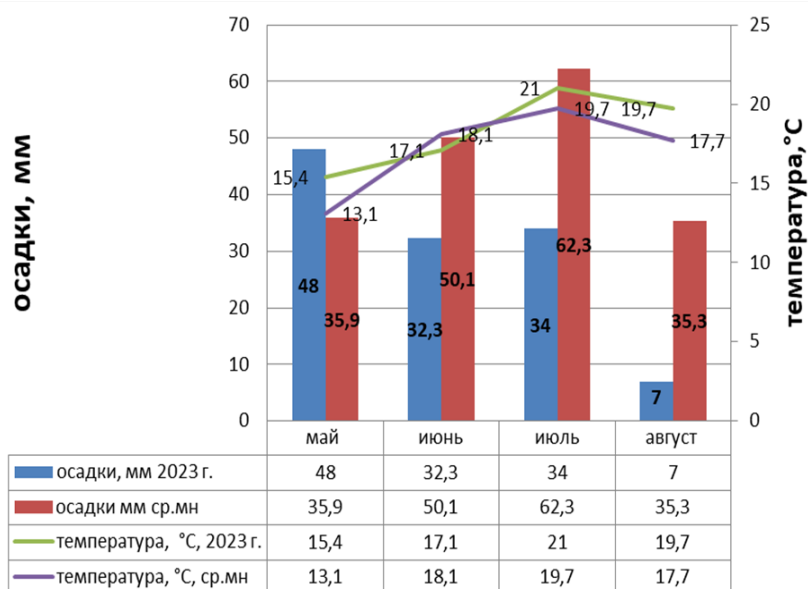


Рис. 2 – Метеорологические условия по данным метеостанции Арск, 2023 год

В 2023 году посев был проведен в начале первой декады мая, при наступлении физической спелости почвы, что позволило получить дружные всходы уже на 9 день после посева. В июне выпало 32,3 мм осадков (или 65% от нормы), среднемесячная температура была на 1,0°C ниже нормы. В июле среднемесячная температура составила 21,0°C, при норме 19,7°C (что на 1,3°C выше нормы). Осадков выпало

55% от нормы. Август месяц был жарким и сухим. Выпало всего лишь 7 мм осадков, при норме 35,3 мм (или 20%). Сумма температур выше 5°C за вегетацию кукурузы составила 1938°C (что на 243°C выше, чем в 2022 году). ГТК за вегетацию составил всего лишь 0,68, при среднееголетнем по республике Татарстан – 1,0. Недостаток влаги в летние месяцы привел к снижению урожая зеленой массы.

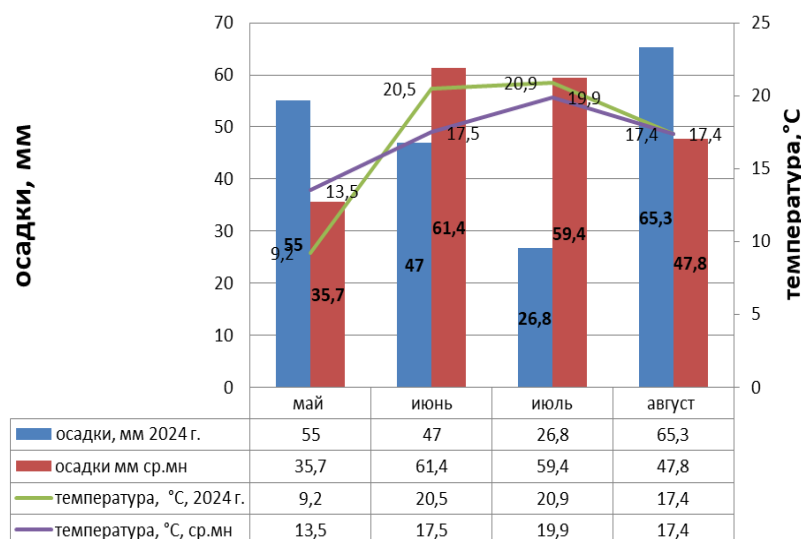


Рис. 3 – Метеорологические условия по данным метеостанции Арск, 2024 год

В 2024 году посев проведен 17 мая, а всходы появились 28 мая. Продолжительность межфазного периода «посев-всходы» составила 11 дней, что связано с пониженной температурой воздуха по сравнению средне-многолетней. При среднемноголетней (61,4 мм) норме осадков в июне выпало 47 мм (или 77% от нормы) и температура воздуха была на 3°C выше среднемноголетней. Июль был сухим, осадков выпало 45% от нормы.

В августе выпало 65,3 мм осадков при норме 47,8 мм, температура была на уровне средне многолетних значений (17,4°C). Сумма эффективных температур за вегетационный период составила 1894°C и ГТК – 1,15.

В опыте использовали следующие микроудобрения и регуляторы роста:

Батр – жидкое органо-комплексное сбалансированное удобрение в котором содержатся макро и микроэлементы, а также комплекс стимуляторов роста. Норма расхода – 2 л/га [19].

Биодукс – представляет собой комплекс биологически активных полиненасыщенных жирных кислот низшего почвенного гриба *Mortierella alpina*. Препарат повышает устойчивость растений, усиливает ростовые и биологические процессы, повышает урожайность и улучшает качество продукции. Норма расхода – 2 мл/га [20].

Органин N – биологическое удобрение. Форма препарата – жидкость содержащая споры штамма *Azospirillum zeae*, которые способны фиксировать атмосферный азот, переводя его в доступную для растений форму. Норма расхода – 1 л/га [20].

Органин P – биологическое удобрение, которое улучшает минеральное питание растений за счет повышения биодоступности фосфора и калия. Норма расхода – 1 л/га [20].

Основным методом в опыте был метод полевого эксперимента. Сравнение различных вариантов баковых смесей проводилось с контрольными вариантами. Двухфакторный

опыт был проведен по следующей схеме: Фактор А – фон питания: 1. Без внесения туков (контроль); 2. Расчет на формирование силосной массы кукурузы 35,0 т/га. Фактор В – Микроудобрения и биопрепараты: 1. Без обработки (контроль); 2. Батр; 3. Батр + Биодукс; 4. Батр + Органин P; 5. Батр + Органин N; 6. Батр + Органин P + Биодукс; 7. Батр + Органин N + Биодукс; 8. Батр + Органин P + Органин N; 9. Батр + Органин P + Органин N + Биодукс. В качестве объекта исследований был взят раннеспелый гибрид кукурузы РОСС-199 МВ; регулятор роста растений Биодукс; биопрепараты Органин P, Органин N, и микроудобрение Батр.

Система основной и предпосевной подготовки почвы включала: осенью глубокая вспашка агрегатом New Holland-7 с применением плуга ПСКУ-6 на глубину 27 сантиметров, весной культивация и предпосевное боронование.

Нормы удобрений на 35 т/га зеленой массы рассчитаны расчетно-балансовым методом. Из минеральных удобрений использовали аммиачную воду и диаммофоску, которая содержала 10% азота, 26% фосфора и 26% калия. Из азотных удобрений аммиачная вода вносилась весной под первую предпосевную культивацию, диаммофоска непосредственно во время посева. На 1 га внесено: в 2022 году – $N_{77}P_{34}K_{34}$; в 2023 году – $N_{88}P_{36}K_{37}$; в 2024 году – $N_{74}P_{32}K_{32}$. Посев гибрида кукурузы РОСС 199 МВ проведен 14 мая в 2022 году, 5 мая в 2023 году и 17 мая в 2024 году сеялкой точечного высева KUHN – 6. Посев проведен из расчета 75 тыс. растений на 1 га. Агротехника в опыте общепринятая для зоны. Предшественник – озимая пшеница.

Результаты и обсуждения. В результате проведения трехлетних исследований установлено, что внесение минеральных удобрений способствует повышению суммарного водопотребления во всех вариантах опыта по сравнению с неудобренным фоном (табл. 1).

АГРОНОМИЯ

Таблица 1 – Суммарное водопотребление посевами кукурузы в зависимости от фона питания, микроудобрений и стимулятора роста, 2022-2024 годы

Фон питания	Микроудобрения и стимуляторы роста	Суммарное водопотребление, м ³ /га		
		2022 г.	2023 г.	2024 г.
Без удобрений (контроль)	Контроль	2000	1450	1520
	Батр	2110	1480	1560
	Батр+Биодукс	2190	1530	1590
	Батр+Органин Р	2200	1560	1610
	Батр+Органин N	2200	1560	1620
	Батр+ОрганинР+Биодукс	2260	1590	1650
	Батр+ОрганинN+Биодукс	2280	1580	1640
	Батр+Органин Р+ Органин N	2290	1600	1660
	Батр+Органин Р+ Органин N +Биодукс	2370	1620	1680
2022 г. – N ₇₇ P ₃₄ K ₃₄ ; 2023 г. – N ₈₈ P ₃₆ K ₃₇ ; 2024 г. – N ₇₄ P ₃₂ K ₃₂	Контроль	2180	1520	1640
	Батр	2350	1450	1710
	Батр+Биодукс	2350	1730	1760
	Батр+Органин Р	2340	1740	1780
	Батр+Органин N	2360	1730	1770
	Батр+ОрганинР+Биодукс	2390	1760	1810
	Батр+ОрганинN+Биодукс	2400	1740	1810
	Батр+Органин Р+ Органин N	2410	1760	1840
	Батр+Органин Р+ Органин N +Биодукс	2460	1790	1850

Так, в 2022 году на неудобренном фоне оно варьировало от 2000 до 2370 м³/га, в 2023 году от 1450 до 1620 и в 2024 году от 1520 до 1680 м³/га. На фоне, рассчитанном на 35 т/га зеленой массы суммарное водопотребление составило соответственно: 2022 год – 2180-2460 м³/га, 2023 год – 1520-1790 и в 2024 году – 1640-1850 м³/га. Максимальный эффект получен при обработке посевов четырех

компонентной (Батр + Органин Р + Органин N + Биодукс) баковой смесью. При применении тройных (6, 7, 8 варианты) баковых смесей величины суммарного водопотребления были ниже.

Аналогичные результаты получены и другими авторами [21, 22, 23].

Основным показателем степени эффективности использования влаги является коэффициент водопотребления (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициент водопотребления кукурузы в зависимости от фона питания, микроудобрений и стимулятора роста, 2022-2024 годы

Фон питания	Микроудобрения и стимуляторы роста	Коэффициент водопотребления, м ³ /т		
		2022 г.	2023 г.	2024 г.
Без удобрений (контроль)	Контроль	731,5	556,6	682,2
	Батр	726,8	542,5	613,2
	Батр+Биодукс	700,8	532,4	662,2
	Батр+Органин Р	696,0	530,1	651,8
	Батр+Органин N	702,9	528,6	667,2
	Батр+ОрганинР+Биодукс	685,9	524,4	614,8
	Батр+ОрганинN+Биодукс	713,6	527,2	628,1
	Батр+Органин Р+ Органин N	689,1	524,9	618,9
	Батр+Органин Р+ Органин N +Биодукс	697,7	522,1	612,0
2022 г. – N ₇₇ P ₃₄ K ₃₄ ; 2023 г. – N ₈₈ P ₃₆ K ₃₇ ; 2024 г. – N ₇₄ P ₃₂ K ₃₂	Контроль	624,8	469,4	563,4
	Батр	642,6	424,5	541,8
	Батр+Биодукс	624,2	469,9	541,4
	Батр+Органин Р	589,1	465,4	538,3
	Батр+Органин N	605,7	466,9	538,1
	Батр+ОрганинР+Биодукс	583,8	459,5	536,0
	Батр+ОрганинN+Биодукс	591,0	464,6	541,6
	Батр+Органин Р+ Органин N	583,3	466,1	540,2
	Батр+Органин Р +Органин N +Биодукс	573,8	456,5	535,3

Так, в 2022 году в условиях умеренного увлажнения при внесении N₇₇P₃₄K₃₃ и проведении листовой подкормки четырех компонентной (Батр + Органин Р + Органин N + Биодукс) баковой смесью коэффициент водопотребления был минимальным и составил 573,8 м³/т.

Самым наибольшим (697,7 м³/т) он был на аналогичном варианте на неудобренном фоне.

В 2023 году наблюдалась та же самая закономерность. Внесение минеральных туков и использование для листовой подкормки четырех компонентной баковой смеси

АГРОНОМИЯ

снижало коэффициент водопотребления на аналогичном варианте на удобренном фоне на 65,6 м³/т. На фоне естественного плодородия почвы коэффициент водопотребления при использовании баковых смесей снизился в среднем по вариантам на 27,6 м³/т. Из схем листовых подкормок в условиях 2023 года лучше проявила себя, как и в 2022 году, четырёхкомпонентная (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс) баковая смесь.

В 2024 году, хотя и величины коэффициента водопотребления были ниже, чем в 2023 году, закономерность в разрезе вариантов опыта сохранилась. Если на безудобренном фоне коэффициент водопотребления составил – 682,2 м³/т, то в варианте (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс) он был равен 612 м³/т, а на расчетном фоне удобрений на 35 т/га

зеленой массы он составил соответственно – 563,4 и 535,3 м³/т. Использование для листовой подкормки двойных (3, 4, 5 варианты) баковых смесей снижало коэффициент водопотребления по сравнению с контролем, где препараты не использовались. Наименьший коэффициент водопотребления был при использовании четырёхкомпонентной (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс) баковой смеси. Другие двойные и тройные смеси занимали среднее положение.

Изучаемые в опыте агроприемы оказали влияние и на коэффициент полезного использования влаги (табл. 3).

Использование многокомпонентных баковых смесей для листовой подкормки и внесение расчетных норм туков способствовало рациональному использованию влаги.

Таблица 3 – Показатели эффективности использования влаги растениями кукурузы в зависимости от уровня питания и схем листовой подкормки (средняя за 2022-2024 годы)

Фон питания	Микроудобрения и стимуляторы роста	Урожайность, т/га	Суммарное водопотребление, м³/га	Коэффициент водопотребления, м³/т	Коэффициент полезного использования влаги, кг/т
Без удобрений (контроль)	Контроль	25,2	1656,7	656,8	15,4
	Батр	27,3	1716,7	627,5	16,2
	Батр+Биодукс	28,0	1770,0	631,8	16,1
	Батр+Органит Р	28,6	1790,0	626,0	16,2
	Батр+Органит N	28,4	1793,3	632,9	16,0
	Батр+ОрганитР+Биодукс	30,0	1833,3	608,3	16,6
	Батр+ОрганитN+Биодукс	29,3	1833,3	623,0	16,3
	Батр+Органит Р+Органит N	30,2	1850,0	611,0	16,6
	Батр+Органит Р + Органит N + Биодукс	30,8	1890,0	610,6	16,6
2022 г. – N ₇₇ P ₃₄ K ₃₄ ;	Контроль	32,1	1780,0	552,5	18,4
2023 г. – N ₈₈ P ₃₆ K ₃₇ ;	Батр	34,1	1836,7	536,3	19,2
2024 г. – N ₇₄ P ₃₂ K ₃₂	Батр+Биодукс	35,7	1946,7	545,1	18,6
	Батр+Органит Р	36,7	1953,3	530,9	19,0
	Батр+Органит N	36,3	1953,3	536,9	18,8
	Батр+ОрганитР+Биодукс	37,7	1986,7	526,4	19,2
	Батр+ОрганитN+Биодукс	37,2	1983,3	532,4	19,0
	Батр+Органит Р+Органит N	37,7	2003,3	529,9	19,0
	Батр+Органит Р + Органит N + Биодукс	38,9	2033,3	521,9	19,3
НСР ₀₅		2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Фактор А (фон питания)		1,134	1,752	0,980	
Фактор В (варианты)		0,596	1,325	0,869	
AB		1,354	1,566	1,105	

Согласно полученным экспериментальным данным, в среднем за 2022-2024 годы на обоих фонах питания наибольшую урожайность зеленой массы сформировали посевы кукурузы при использовании для листовой подкормки четырёхкомпонентной (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс) баковой смеси, прибавка составила 5,6 т/га или 22,2% и 6,8 т/га или 21,2%

соответственно. Внесение минеральных удобрений в среднем за три года на фоне рассчитанном на 35,0 т/га зеленой массы снижало коэффициент водопотребления на контроле, где препараты не применялись на 104,3 м³/т или на 18,9%. Проведение листовых подкормок с использованием баковых смесей уменьшало коэффициент водопотребления на

формирование единицы урожая. На неудобренном фоне, где удобрения не принимались коэффициент водопотребления был ниже на 29,3-46,2 м³/т или 4,7-7,6% по сравнению с контролем.

На расчетном фоне питания эти показатели составили соответственно 16,2-30,6 м³/т (или 3,0-5,9%). На обоих фонах питания преимущество имел 9 вариант (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс), по влиянию на этот показатель. Наибольший (19,3 кг/т) коэффициент полезного использования влаги получен при комплексном использовании для листовой подкормки минеральных удобрений, регуляторов роста и микроудобрений (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс).

Выводы. 1. Внесение расчетных норм минеральных удобрений на запланированную урожайность и использование для листовой подкормки четырех (Батр + Органит Р + Органит N + Биодукс) компонентную баковую

смесь способствовало экономному расходованию влаги, снижению коэффициента водопотребления и увеличению урожайности зеленой массы кукурузы в среднем за 3 года с 25,2 до 30,8 т/га (без применения удобрений) и с 32,1 до 38,9 т/га (при расчете на 35 т/га). На удобренном фоне экономия влаги при применении данных баковых смесей составила 30,6 м³/т, или 5,8%.

2. Для эффективного использования влаги, в целях повышения продуктивности зеленой массы кукурузы, рекомендуем производству производить листовую подкормку посевов гибрида кукурузы РОСС 199 МВ четырёхкомпонентной баковой смесью из расчета: Батр (2 л/га) + Органит Р (1 л/га) + Органит N (1 л/га) + Биодукс (2 мл/га) в фазу 2-5 листьев. Прибавка на неудобренном фоне составила 5,6 т/га или 22,2% и на расчетном на 35 т/га зеленой массы кукурузы 6,8 т/га или 21,2% соответственно.

Литература

1. Усанова З.И., Фаринюк Ю.Т., Павлов М.Н. Резервы интенсификации производства кукурузы на силос в условиях Верхневолжья // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2018. № 1 (34). С. 79-83.
2. Роль макро- и микроудобрений в повышении урожайности и качества зеленой массы кукурузы на серых лесных почвах Республики Татарстан / М. Ю. Михайлова, М. Ю. Гилязов, Р. М. Низамов и др. // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 2. С. 34-41. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-213>.
3. Багринцева В.Н., Ивашенко И.Н. Эффективность некорневых подкормок кукурузы удобрениями марки Батр // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 1. С. 28-36.
4. Таланов И.П., Михайлова М.Ю., Каримова Л.З. Отзывчивость гибридов кукурузы на внесение расчетных доз минеральных удобрений в условиях Предволжья РТ // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т.10. №2(36). С. 123-127. doi 10.12737/2516.
5. Сотченко В.С. Состояние и перспектива производства зерна кукурузы в Российской Федерации // Кукуруза и сорго. -2023. №1. С. 1-2.
6. Фомин В. Н., Миназов И.Р. Совместные посевы кукурузы с бобовыми культурами в Республике Татарстан // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 2. С. 55-57.
7. Михайлова М.Ю., Шарафеева И.З., Капустин Д.Ю. Зависимость урожайности кукурузы на зерно от агрометеорологических показателей в условиях Республики Татарстан //Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2(14). С. 27-32.
8. Стулин А.Ф. Влияние погодных условий на продуктивность кукурузы и эффективность удобрений в условиях Воронежской области// Агрохимия. 2019. № 12. С. 48 - 52.
9. Водопотребление кукурузы при разных способах основной обработки почвы после пропашных предшественников при энергонакопительной системе содержания почвы / М. Г. Абдулнатилов, Г. Н. Гасанов, Р. З. Усманов, М. Р. Мусаев // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 2. С. 42-47. doi 10.31857/S2500208224020093.
10. Толорая Т.Р., Малаканова В.П. Роль водопотребления в повышении продуктивности кукурузы // Кукуруза и сорго. 2001. № 4. С. 2-3.
11. Шмалько И. А., Багринцева В.Н. Повышение урожайности кукурузы посредством некорневой подкормки растений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. №3. С. 66-68. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-63-68>.
12. Шогенов Ю. М., Ханиева И.М. Урожайность и качество зерна кукурузы в зависимости от применяемых органических, макро-, микроудобрений и регулятора роста // Роль науки и технологий в обеспечении устойчивого развития АПК: сборник научных трудов по итогам IX Международной науч.-практ. конф. Нальчик: ФГБОУ "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова", 2021. С. 91-95.
13. Иняхин, А. Г. Влияние средств химизации и регулятора роста на формирование продуктивности кукурузы в условиях лесостепи Среднего Поволжья: специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство": диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Иняхин Александр Геннадьевич. Пенза, 2013. 180 с.
14. Чекмарев П.А., Фомин В.Н., Турнин С.Л. Влияние сорта и удобрений на урожайность кукурузы при возделывании на зерно // Достижения науки и техники АПК.2017. Т. 31. №9. С.22-24.
15. Эффективность биопрепарата Биостим на посевах орошаемой кукурузы РОСС 140 СВ / Ф.Н. Сафиоллин, И.Ф. Яхин, М.М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 3(75). С. 33-39.
16. Семина С.А. Водный режим кукурузы в зависимости от приемов возделывания // PublishingHouse «EducationandScience» s.r.o. 2014. 4 с. - [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.rusnauka.com/20_AND_2014/Agricole/3_172880.doc.htm
17. Багринцева В. Н., Ивашенко И.Н., Сотченко Д.Ю. Влияние некорневой подкормки микроудобрением Батр Цинк на урожайность кукурузы и кормовые качества зерна // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 213-224. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-1-99-28-36>

18. Козин А. М. Продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от применения стимуляторов роста, макро- и микроэлементов и смягчителя воды в условиях Среднего Поволжья: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Козин Алексей Михайлович, 2024. 177 с.
19. БАТР - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dol-agro.ru/batr-max> (дата обращения: 23.08.2025)
20. Bionovatic - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bionovatic.ru/about> (дата обращения: 23.08.2025)
21. Анохина Е.К. Продуктивность кукурузы в зависимости от приемов выращивания в условиях Лесостепи Среднего Поволжья: дис. канд. с.-х. наук. Кинель. 2018. 177 с.
22. Замана С.П., Кондратьева Т.Д. Влияние биопрепарата Агроактив на систему «почва – растение» в опыте с кукурузой // Агрохимический вестник. 2014. № 1. С. 18-20.
23. Иванов Н. Н. Об определении величин испаряемости // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 2014. Т.86. № 2. С. 189-196.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Фомин Владимир Николаевич - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: tipka2015@yandex.ru
 Гайнутдинов Ильнар Ризванович - аспирант, e-mail: ilnargay7@list.ru
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.
 Хуснутдинов Рашид Гарафович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий агроном, e-mail: husunutdinov.r.g@bionovatic.ru
 ООО «Бионоватик», Казань, Россия.

INFLUENCE OF MINERAL NUTRITION, MICROFERTILIZERS AND BIOPRODUCTS LEVELS ON WATER CONSUMPTION AND CORN PRODUCTIVITY V. N. Fomin, I. R. Gaynutdinov, R. G. Khusnutdinov

Abstract. The article is devoted to the study of the influence of mineral nutrition, single-component and multi-component tank mixes on water consumption and yield of corn during silage cultivation in 2022-2024 in the Republic of Tatarstan. A two-factor experiment was conducted according to the following scheme: Factor A – nutrition background: 1. Without fertilizer application (control); 2. Calculated for the formation of corn silage mass of 35.0 t/ha. Factor B – Microfertilizers and bioproducts: 1. No treatment (control); 2. Batr; 3. Batr + Bioduks; 4. Batr + Organit R; 5. Batr + Organit N; 6. Batr + Organit P + Bioduks; 7. Batr + OrganitN + Bioduks; 8. Batr + Organit P + OrganitN; 9. Batr + Organit P + OrganitN + Bioduks. The object was the early-ripening corn hybrid ROSS-199 MV; plant growth regulator Bioduks, biopreparations Organit P, OrganitN, and microfertilizer Batr. The soil is gray forest. During the years of experiments, the soil contained: humus (according to Tyurin) - 3.4%, mobile phosphorus and exchangeable potassium (according to Kirsanov) - 154-159 mg/kg and 185-190 mg/kg of soil, alkaline-hydrolyzable nitrogen 70-78 mg/kg, pH salt. - 5.8. The experiment was replicated three times, with a total plot area of 84 m² and a recording plot area of 70 m². The study revealed an average increase in corn green forage yield over three years, from 25.2 to 30.8 t/ha (without fertilizer) and from 32.1 to 38.9 t/ha (based on 35 t/ha), when treating crops with a four-component tank mixture (Batr + OrganitR + Organit N + Biodux). Against a fertilized background, moisture savings with these tank mixtures amounted to 30.6 m³/t, or 5.8%. Fertilizer rates for 35 t/ha of green forage were calculated using the balance calculation method.

Key words: corn (*Zeamays*), water consumption, water consumption coefficient, yield, mixtures, growth stimulants, fertilizers.

For citation: Fomin V.N., Gaynutdinov I.R., Khusnutdinov R.G. Influence of mineral nutrition, microfertilizers and bioproducts levels on water consumption and corn productivity. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4 (16). 53-60 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-53-60>

References

1. Usanova ZI, Farinyuk YuT, Pavlov MN. [Reserves for intensifying silage corn production in Upper Volga region]. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2018; 1 (34). 79-83 p.
2. Mikhaylova MYu, Gilyazov MYu, Nizamov RM. [The role of macro- and microfertilizers in increasing yield and quality of green mass of corn on gray forest soils of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2023; 2. 34-41 p. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-213>.
3. Bagrintseva VN, Ivashenko IN. [Efficiency of foliar feeding of corn with Batr fertilizers]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2021; 1. 28-36 p.
4. Talanov IP, Mikhaylova MYu, Karimova LZ. [Responsiveness of corn hybrids to application of calculated doses of mineral fertilizers in the conditions of Volga region of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; Vol.10. 2(36). 123-127 p. doi 10.12737/2516.
5. Sotchenko BS. [Status and prospects of corn grain production in Russian Federation]. *Kukuruza i sorgo*. 2023; 1. 1-2 p.
6. Fomin VN, Minazov IR. [Intercropping of corn with legumes in the Republic of Tatarstan]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2012; 2. 55-57 p.
7. Mikhaylova MYu, Sharafieva IZ, Kapustin DYu. [Dependence of corn yield on agrometeorological indicators in the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2025; 2(14). 27-32 p.
8. Stulin AF. [Influence of weather conditions on corn productivity and fertilizer efficiency in Voronezh region]. *Agrokimiya*. 2019; 12. 48-52 p.
9. Abdunatipov MG., Gasanov GN, Usmanov RZ, Musaev MR. [Water consumption of corn with different methods of primary tillage after row crop predecessors with an energy-accumulating soil maintenance system]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 2. 42-47 p. doi 10.31857/S2500208224020093.
10. Toloraya TR, Malakanova VP. [The role of water consumption in increasing corn productivity]. *Kukuruza i sorgo*. 2001; 4. 2-3 p.
11. Shmalko IA, Bagrintseva VN. [Increasing corn yield through foliar feeding of plants]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 3. 66-68 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-63-68>.

12. Shogenov YuM, Khanieva IM. [Yield and quality of corn grain depending on the applied organic, macro-, microfertilizers and growth regulator. The role of science and technology in ensuring sustainable development of agro-industrial complex]. Sbornik nauchnykh trudov po itogam IX Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. Nalchik: FGBOU Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.M. Kokova. 2021; 91-95 p.
13. Inyakhin AG. Vliyaniye sredstv khimizatsii i regulatora rosta na formirovaniye produktivnosti kukuruzy v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzhya: spetsialnost 06.01.01. Obshchee zemledeliye, rasteniyevodstvo: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata selskokhozyaystvennykh nauk. [Influence of chemicals and growth regulators on corn productivity formation in the forest-steppe conditions of Middle Volga region: specialty 06.01.01. General agriculture, crop production: dissertation for a degree of Ph.D. of Agricultural sciences]. Inyakhin Aleksandr Gennadevich. Penza. 2013; 180 p.
14. Chekmarev PA, Fomin VN, Turnin SL. [Influence of variety and fertilizers on corn productivity when growing for grain]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017; Vol.31. 9. 22-24 p.
15. Safiollin FN, Yakhin IF, Khismatullin MM. [Efficiency of Biostim biopreparation on crops of irrigated corn ROSS 140 SV]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 3(75). 33-39 p.
16. Semina SA. Water regime of corn depending on cultivation methods. [Internet]. PublishingHouse EducationandScience s.r.o. 2014; 4 p. Available from: https://www.rusnauka.com/20_AND_2014/Agricole/3_172880.doc.htm
17. Bagrintseva VN, Ivashenko IN, Sotchenko DYU. [Effect of foliar feeding with Batr Zinc microfertilizer on corn yield and forage quality of grain]. Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2023; Vol.106. 3. 213-224 p. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-1-99-28-36>
18. Kozin AM. Produktivnost i kachestvo zerna ozimoy pshenitsy v zavisimosti ot primeneniya stimulyatorov rosta, makro- i mikroelementov i smyagchitelya vody v usloviyakh Srednego Povolzhya: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata selskokhozyaystvennykh nauk. [Productivity and quality of winter wheat grain depending on the use of growth stimulants, macro- and microelements and water softener in the conditions of Middle Volga region: dissertation for a degree of Ph.D. of Agricultural sciences]. Kozin Aleksey Mikhaylovich. 2024; 177 p.
19. BATR. [Internet]. [cited 2025, August 23]. Available from: <https://dol-agroru/batr-max>.
20. Bionovatic. [Internet]. [cited 2025, August 23]. Available from: <https://bionovaticru/about>.
21. Anokhina EK. Produktivnost kukuruzy v zavisimosti ot priemov vyrashchivaniya v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzhya: dis.kand. s.-kh. nauk. [Corn productivity depending on cultivation methods in forest-steppe of Middle Volga region: Dissertation for a degree of Agricultural sciences. Kinel. 2018; 177 p.
22. Zamana SP, Kondrateva TD. [Influence of Agroaktiv biopreparation on the soil-plant system in an experiment with corn]. Agrokhimicheskiy vestnik. 2014; 1. 18-20 p.
23. Ivanov NN. [On the determination of evaporation values]. Izv. Vsesoyuz. geogr. o-va. 2014; Vol.86. 2. 189-196 p.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Fomin Vladimir Nikolaevich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: tipka2015@yandex.ru
 Gaynutdinov Ilmar Rizvanovich – post-graduate student, e-mail: ilnargay7@list.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.
 Khusnutdinov Rashit Garafovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, leading agronomist, e-mail: hushnutdinov.r.g@bionovatic.ru
 Bionovatic LLC, Kazan, Russia.

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ ПО ФАЗАМ РАЗВИТИЯ ОЗИМОЙ РЖИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**Д. Г. Шишков, В. Р. Олехов, Д. Р. Сафиуллина**

Реферат. В работе изложены результаты исследований по оценке влияния минеральных удобрений на основные агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы по фазам развития озимой ржи. Исследования проведены в Пермском районе Пермского края в 2019 и 2021 годах в длительном стационарном опыте. Выборка из полной схемы опыта представляла собой варианты с возрастающими дозами азотных удобрений на трёх фосфорно-калийных фонах. Почва опыта перед посевом озимой ржи обладала среднекислой и слабокислой степенью кислотности, высокой и очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором, повышенным и высоким содержанием обменного калия. К фазе колошения озимой ржи произошло достоверное снижение pH_{KCl} в среднем по всем изучаемым вариантам на 0,2 ед. pH ($HCP_{05}=0,1$). Наибольшее снижение установлено при применении $N_{120}P_{30}K_{30}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$ и составило 0,3 ед. pH ($HCP_{05}=0,2$). Установлена тенденция снижения содержания подвижного фосфора между фазами в контрольном варианте и при применении N_{90} на 13 и 32 мг/кг. Содержание подвижного калия увеличилось к фазе колошения, в первую очередь за счёт изменения показателя в вариантах с применением $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$ на 39 и 38 мг/кг соответственно ($HCP_{05}=27$ мг/кг). Содержание аммонийного азота достоверно увеличивалось на 7,3 мг/кг к фазе колошения ($HCP_{05}=5,9$ мг/кг). Содержание нитратного азота имело тенденцию к снижению на 8,6 мг/кг. Урожайность зерна достоверно, умеренно коррелирует с содержанием подвижного фосфора в обеих изучаемых фазах ($r=0,42$ для обеих фаз) и содержанием аммонийного азота в фазу колошения ($r=0,45$).

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, подвижный фосфор, обменный калий, минеральный азот, фазы развития, озимая рожь (*Secale cereale*).

Для цитирования: Шишков Д. Г., Олехов В. Р., Сафиуллина Д. Р. Изменение агрохимических показателей почвы по фазам развития озимой ржи в зависимости от применения минеральных удобрений // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. 4 (16). С. 61-66 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-61-66>

Введение. Озимая рожь – ценная сельскохозяйственная культура, которая занимает важное место в обеспечении продовольственной безопасности Российской Федерации и в особенности её Нечернозёмной зоны [1, 2]. В условиях дерново-подзолистых почв большое влияние на её продуктивность оказывают минеральные удобрения, в основном азотные [3, 4]. Ухудшение доступности элементов минерального питания, в свою очередь, приводит к недополучению урожая, снижению качества и увеличению заболеваемости растений [1, 4, 5].

В течение вегетации сельскохозяйственных культур агрохимические показатели почвы могут существенно изменяться от фазы к фазе в зависимости от различных агротехнологических приёмов, в том числе при применении удобрений [3, 6, 7]. Влияние агрохимических показателей на урожайность сельскохозяйственных культур может различаться в зависимости от условий проведения исследований (в первую очередь погодных) и фазы развития. Так, в исследованиях [8] указано, что в условиях 2015 года между содержанием подвижного фосфора и нитратного азота в фазу выхода в трубку установлена тесная корреляционная связь с урожайностью яровой пшеницы, в то время как в условиях 2014 года такая связь не выявлена. Особенно важно контролировать поступление элементов питания в растения в фазы их наибольшего потребления, к которым относятся выход в трубку и колошение [9, 10, 11].

На изменение агрохимических показателей в течение вегетации могут оказывать влияние удобрения, погодные условия или взаимодействие с почвой непосредственно самих растений [12, 13, 14]. Среди важнейших показателей,

которые в первую очередь влияют на поступление элементов питания в растения выделяют обменную кислотность (pH_{KCl}), содержание подвижных форм фосфора и калия, минерального (аммонийный и нитратный) азота [7, 10, 15].

В связи с этим, цель исследования заключалась в оценке изменения агрохимических показателей почвы по фазам развития растений озимой ржи в зависимости от применения минеральных удобрений.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте, заложенном в 1978 и 1980 годы на базе «Пермского НИИСХ» – филиала ПФИЦ УрО РАН. Опыт заложен по сокращённой схеме 1/9 полного факториального эксперимента (6 x 6 x 6). Схема включала шесть градаций доз азотных, фосфорных и калийных удобрений и их комбинации – всего 24 варианта. Для анализа из полной схемы были выбраны 6 вариантов: контроль (без удобрений) и пять вариантов с возрастающей дозой азота (от N_{30} до N_{150}) на разных уровнях фосфорно-калийного фона ($P_{30}K_{30}$ и $P_{60}K_{60}$).

Исследования проведены в шестой ротации севооборота на озимой ржи сорта Фалёнская 4, которая выращивалась в 2018-2019 и 2020-2021 годы. Под озимую рожь половинную дозу азотных удобрений вносили перед посевом под предпосевную культивацию, вторую половину в ранневесеннюю подкормку. Фосфор и калий в полных дозах вносили под предпосевную культивацию. Все удобрения вносили вручную, в годы исследований использовали карбамид, суперфосфат простой и калий хлористый. Норма высева составила 6 млн. всхожих семян на

гектар. Учёт урожайности производили сплошным методом с помощью комбайна САМПО-2.

Почва опыта перед посевом озимой ржи обладала среднекислой и слабокислой степенью кислотности, высокой и очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором, повышенным и высоким содержанием обменного калия.

Повторность вариантов в опыте двукратная, учётная площадь делянки 72 м². В течение вегетации озимой ржи отбирали почвенные образцы в фазы выхода в трубку и колошения.

Лабораторные исследования проводили по общепринятым методикам и ГОСТам: рН_{KCl} по ГОСТ 26483-85, содержания подвижных форм фосфора и калия по Кирсанову (ГОСТ 54650-2011), обменного аммония по ГОСТ 26489-85, нитратов по ГОСТ 26951-86.

Агротехника в опыте – общепринятая для Центральной зоны Предуралья. Математическую обработку проводили по Б.А. Доспехову [16] с помощью программ Microsoft Excel. Для учёта различий по фазам развития растений данные были обработаны методом дисперсионного анализа для двухфакторного опыта, где фактор А – фаза развития, фактор В – дозы минеральных удобрений.

Главная особенность вегетационного

периода 2018–2019 годы – обилие осадков с конца июня до уборки, вследствие чего на многих делянках произошло полегание растений. Напротив, в 2020-2021 годы в фазу выхода в трубку (первая половина мая) стояли крайне засушливые условия, да и в целом лето было сухим. В то же время во второй половине вегетации отмечались отдельные периоды с обильными ливневыми осадками.

Результаты и обсуждения. Величина обменной кислотности по вариантам опыта изменялась в широком диапазоне от 4,6 до 5,2 в фазу выхода в трубку и от 4,4 до 4,9 в фазу колошения (табл. 1). Подкисление было характерно как для вариантов с применением удобрений, так и для контроля, что предполагает влияние на данный показатель дыхательной активности корней, которая к фазе колошения усиливается [13]. Среди доз минеральных удобрений достоверное снижение обменной кислотности отмечено в вариантах с применением повышенных доз азотных удобрений на фоне фосфорно-калийных (N₁₂₀P₃₀K₃₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀) на 0,3 ед. рН в обе изучаемые фазы (НСР₀₅=0,2). Данная закономерность может быть связана с тем, что в предыдущие годы исследований вносили физиологически кислую аммонийную селитру.

Таблица 1 – Величина рН_{KCl} по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	5,0	4,8	4,9	–
N ₉₀	4,9	4,7	4,8	-0,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,2	4,9	5,1	0,2
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	4,7	4,5	4,6	-0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,9	4,7	4,8	-0,1
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	4,6	4,4	4,5	-0,4
Среднее по фактору А	4,9	4,7	4,8	
отклонения	–	-0,2	–	–
НСР ₀₅				
главных эффектов	фактора А			0,1
	фактора В и взаимодействия АВ			0,1
частных различий	I порядка			0,3
	II порядка			0,2

В среднем по всем изучаемым вариантам отмечена тенденция к снижению содержания подвижного фосфора в почве от фазы выхода в трубку к фазе колошения (табл. 2). Наибольшее уменьшение содержания P₂O₅ отмечено при внесении только азота (на 32 мг/кг) и в варианте без применения удобрений

(на 13 мг/кг). Достоверное увеличение содержания фосфора относительно контроля получено в вариантах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀ в фазу выхода в трубку на 53 и 76 мг/кг соответственно (НСР₀₅=42 мг/кг). В фазу колошения достоверное увеличение получено по всем вариантам с применением фосфорных удобрений.

Таблица 2 – Изменение содержания подвижного фосфора в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	183	170	176	–
N ₉₀	217	185	201	25
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	236	228	232	56
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	221	217	219	43
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	224	224	224	48
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	259	264	261	85
Среднее по фактору А	223	215	219	
отклонения	–	-9	–	–
НСР ₀₅				
главных эффектов	фактора А			F _ф <F ₀₅
	фактора В и взаимодействия АВ			30
частных различий	I порядка			–
	II порядка			42

АГРОНОМИЯ

Содержание обменного калия достоверно увеличилось к фазе колошения в среднем по всем вариантам на 15 мг/кг при $НСР_{05}=11$ мг/кг (табл. 3). Среди изучаемых величина показателя достоверно увеличилась при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$ – на 39 и

38 мг/кг соответственно ($НСР_{05}=27$ мг/кг). Относительно контроля содержание калия достоверно возросло в вариантах с применением $N_{120}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{150}P_{60}K_{60}$, как в среднем по обоим фазам развития, так и по каждой фазе в отдельности.

Таблица 3 – Изменение содержания обменного калия в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	160	167	163	–
N_{90}	163	172	168	5
$N_{30}P_{30}K_{30}$	172	179	175	12
$N_{120}P_{30}K_{30}$	204	205	204	41
$N_{60}P_{60}K_{60}$	214	243	229	66
$N_{150}P_{60}K_{60}$	204	242	223	60
Среднее по фактору А	186	201	194	
отклонения	–	15	–	–
$НСР_{05}$				
главных эффектов	фактора А			11
	фактора В и взаимодействия АВ			16
частных различий	I порядка			27
	II порядка			23

В среднем по всем изучаемым дозам минеральных удобрений содержание аммонийного азота увеличилось в фазе колошения относительно фазы выхода в трубку на 7,3 мг/кг при $НСР_{05}=5,9$ мг/кг (табл. 4). Отдельно по изучаемым вариантам отмечена только тенденция к увеличению показателя. Относительно варианта без применения

удобрений достоверное снижение показателя в среднем по обоим фазам получено в варианте $N_{30}P_{30}K_{30}$, увеличение – в варианте $N_{150}P_{60}K_{60}$. Снижение содержания аммонийного азота, а также его фиксация на уровне контроля при применении минеральных удобрений может быть объяснена фиксацией его в необменной форме в почве [17].

Таблица 4 – Изменение содержания аммонийного азота в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	11,6	19,1	15,3	–
N_{90}	12,6	21,8	17,2	1,9
$N_{30}P_{30}K_{30}$	9,6	13,1	11,4	-4,1
$N_{120}P_{30}K_{30}$	11,4	21,1	16,3	1,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	14,0	16,3	15,2	-0,1
$N_{150}P_{60}K_{60}$	12,6	24,3	18,4	3,1
Среднее по фактору А	12,0	19,3	15,6	
отклонения	–	7,3	–	–
$НСР_{05}$				
главных эффектов	фактора А			5,9
	фактора В и взаимодействия АВ			2,7
частных различий	I порядка			14,5
	II порядка			3,8

Содержание нитратного азота имело тенденцию к снижению от фазы выхода в трубку к фазе колошения (табл. 5). Наибольшая величина показателя в фазу выхода в трубку получена в варианте с применением $N_{150}P_{60}K_{60}$. В фазу колошения в контрольном варианте отмечено наименьшее содержание нитратного азота. В варианте с применением наибольшей в опыте дозы азотного удобрения, аналогично предыдущей фазе, получена наибольшая величина показателя в опыте, достоверное увеличение относительно контроля составило 19,5 мг/кг ($НСР_{05}=7,3$ мг/кг). Отсутствие достоверных различий между содержанием нитратного

азота в контрольном варианте и в остальных исследуемых вариантах с внесением удобрений (а в некоторых случаях его большего накопления относительно вариантов с внесением азота) может быть объяснено увеличением выноса данной формы азота растениями, а также не сбалансированностью применяемых доз удобрений в условиях высокой обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия [17]. При расчёте коэффициента корреляции установлена прямая сильная связь между содержанием нитратного азота в фазу выхода в трубку и содержанием аммонийного азота в фазу колошения ($r = 0,79$).

Таблица 5 – Изменение содержания нитратного азота в почве по фазам развития растений озимой ржи, 2019 и 2021 годы, мг/кг

Фактор В	Фактор А		Среднее по фактору В	отклонения
	Выход в трубку	Колошение		
Без удобрений	24,7	7,3	16,0	–
N ₉₀	23,3	11,8	17,6	1,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	21,1	10,6	15,8	-0,2
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	15,4	10,1	12,8	-3,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	15,3	12,8	14,0	-2,0
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	30,9	26,8	28,8	12,0
Среднее по фактору А	21,8	13,2	17,5	–
отклонения	–	-8,6	–	
НСР ₀₅				
главных эффектов	фактора А			F _ф <F ₀₅
	фактора В и взаимодействия АВ			5,1
частных различий	I порядка			–
	II порядка			7,3

Для оценки связи между уровнем агрохимических показателей по фазам развития и урожайностью зерна, представленной ранее в [18], были рассчитаны коэффициенты линейной корреляции (табл. 6). По результатам корреляционного анализа связь умеренной силы (по шкале Чеддока) с урожайностью получена для содержания подвижного фосфора в обе изучаемые фазы и содержания аммонийного

азота в фазу колошения. Относительно невысокая теснота связи может быть объяснена тем, что сильное влияние на урожайность оказали погодные условия в период созревания зерна [18], а также сильным варьированием величины показателей по делянкам опыта и высокой обеспеченностью данными элементами питания как почвы, так и растений [19, 20].

Таблица 6 – Коэффициенты линейной корреляции между урожайностью зерна озимой ржи и изучаемыми показателями

Показатели	pH _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄	N-NO ₃	N	P	K
Урожайность зерна	<u>0,10</u> 0,29	<u>0,42*</u> 0,42	<u>0,18</u> 0,09	-0,08 0,45	<u>0,24</u> -0,22	<u>-0,34</u> -0,26	<u>0,32</u> 0,33	<u>-0,10</u> 0,15

Примечание: в числителе – выход в трубку, в знаменателе – колошение; **0,42*** - достоверный коэффициент корреляции при n=24 и p<0,05

Выводы. 1. От фазы выхода в трубку до фазы колошения озимой ржи pH достоверно снизился в среднем по всем изучаемым вариантам на 0,2 ед. Относительно контроля наибольшее снижение показателя в обе изучаемые фазы отмечено при применении N₁₂₀P₃₀K₃₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀ и составило 0,3 ед. pH.

2. Статистически значимых изменений содержания подвижного фосфора в почве между фазами не выявлено, тенденция к снижению отмечена на контроле и в варианте с применением N₉₀ на 13 и 32 мг/кг соответственно. Относительно контроля в среднем по обоим фазам величина показателя достоверно увеличивалась в вариантах с применением фосфорных удобрений на 43-85 мг/кг. Содержание подвижного калия увеличилось к фазе

колошения, наибольшее увеличение произошло в вариантах с применением N₆₀P₆₀K₆₀ и N₁₅₀P₆₀K₆₀ – на 39 и 38 мг/кг соответственно.

3. Содержание аммонийного азота достоверно увеличивалось, а содержание нитратного азота имело тенденцию к снижению от фазы выхода в трубку к фазе колошения. Наибольшее содержание обеих форм азота было установлено в варианте с применением максимальной изучаемой дозы азотного удобрения.

4. Урожайность зерна имела достоверную корреляционную связь умеренной силы с содержанием подвижного фосфора в обе изучаемые фазы (r=0,42 для обеих фаз) и содержанием аммонийного азота в фазу колошения (r=0,45).

Литература

- Новоселов С. И., Кузьминых А. Н. Влияние паровых предшественников и минеральных удобрений на урожайность озимой ржи // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3(18). С. 33-38.
- Шмелева М. С. Влияние удобрений, срока посева на фенологические фазы и формирование урожая озимой ржи в условиях Зауралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 2. С. 73-79. doi: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-73-79.
- Динамика агрохимических показателей почвы в зависимости от применения азотсодержащих минеральных удобрений при возделывании озимых зерновых культур в условиях Северо-Запада РФ / А. Н. Волосевич, М. Д. Трубяков, А. О. Рыбаков, А. В. Силараупс // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 13-26.
- Шайкова Т. В., Дятлова М. В., Волкова Е. С. Потребление и вынос основных элементов минерального питания озимой рожью при внесении комплексных удобрений // Плодородие. 2022. № 6(129). С. 3-7.

doi: 10.25680/S19948603.2022.129.01.

5. Золотарева Р. И., Максимов В. А. Оценка устойчивости изучаемых сортов озимой ржи к основным болезням // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 94-96.

6. Матюк Н. С., Николаев В. А., Щигрова Л. И. Изменение плодородия при разных технологиях обработки почвы // Агрохимический вестник. 2019. № 2. С. 13-16. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10020.

7. Окорков В. В., Щукин Н. Н. Действие и последствие помета кур на плодородие дерново-подзолистой почвы и урожайность яровой пшеницы в условиях Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2023. № 2 (104). С. 34-41. doi: 10.24412/2225-2584-2023-2104-34-41.

8. Сорокина О. А. Эффективность действия и последствия фосфоритной муки на черноземе выщелоченном // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6(159). С. 3-10. doi: 10.36718/1819-4036-2020-6-3-10.

9. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Потребление основных элементов питания сортами озимой пшеницы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 2(106). С. 107-117. doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117.

10. Osvalde A. Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management // Environmental and Experimental Biology. 2011. V. 9. №. 3. P. 1-8. URL: https://www.researchgate.net/publication/266608056_Optimization_of_plant_mineral_nutrition_revisited_The_roles_of_plant_requirements_nutrient_interactions_and_soil_properties_in_fertilization_management (дата обращения: 10.16.2024)

11. Variations of forage yield and nutritive value in winter rye germplasm / K. S. Kim, J. D. Anderson, M. A. Newell, T. J. Butler // Crop Science. 2016. Vol. 56(3). P. 1018-1024. doi: 10.2135/cropsci2015.08.0487.

12. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, содержание основных элементов питания и тяжелых металлов в озимой ржи // Агрохимия. 2021. № 4. С. 49-56. doi: 10.31857/S0002188121040153.

13. Ларикина Ю. С., Волобуева О. Г. Современные представления об эколого-физиологической роли корневых экссудатов растений (обзорная статья) // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4(40). С. 93-101. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101.

14. Минеральное питание в посевах ярового ячменя на юге России / Н. Ю. Петров, В. И. Филин, Г. С. Егорова и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4(72). С. 58-65. doi: 10.32786/2071-9485-2023-04-05.

15. Vasbieva M. T. Effect of Long-Term Application of Organic and Mineral Fertilizers on the Organic Carbon Content and Nitrogen Regime of Soddy-Podzolic Soil // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52, №. 11. P. 1422-1428. doi: 10.1134/S1064229319110139.

16. Доспехов Б. А., Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агроном. спец. / Б. А. Доспехов, 2011. 392с.

17. Дзюин Г. П., Дзюин А. Г. Изменения минеральных форм азота в севообороте с длительным использованием удобрений // Владимирский земледелец. 2015. № 3-4(73-74). С. 11-13.

18. Шишков Д. Г., Олехов В. Р., Васбиева М. Т. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 3. С. 399-408. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408.

19. Давлятшин И. Д., Лукманов А. А., Гайров Р. Р. Пространственная связь между агрохимическими свойствами и урожайностью озимой пшеницы на светло-серых лесных почвах Среднего Поволжья // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 4. С. 38-47.

20. Шишков Д. Г., Олехов В. Р. Накопление основных элементов питания в надземной массе озимой ржи сорта Фалёнская 4 в условиях длительного стационарного опыта // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 7. С. 49-55.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 124020600030-6.

Сведения об авторах:

Шишков Данил Глебович – научный сотрудник, e-mail: danil.schischkov@yandex.ru

Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН, Лобаново, Россия.

Олехов Владимир Радомирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: olekhovr@pgatu.ru

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия.

Сафиуллина Диана Рафисовна – младший научный сотрудник, e-mail: safiullinad551@gmail.com

Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН, Лобаново, Россия.

CHANGES IN SOIL AGROCHEMICAL PARAMETERS ACROSS WINTER RYE GROWTH PHASES DEPENDENT ON THE USE OF MINERAL FERTILIZERS

D. G. Shishkov, V. R. Olekhov, D. R. Safiullina

Abstract. This paper presents the results of research assessing the impact of mineral fertilizers on the main agrochemical parameters of sod-podzolic heavy loamy soils during winter rye growth stages. The studies were conducted in Perm district of Perm region in 2019 and 2021 as part of a long-term stationary experiment. The sample from full experimental scheme consisted of variants with increasing doses of nitrogen fertilizers against three phosphorus-potassium backgrounds. The soil in the experiment before sowing winter rye had a moderately acidic and slightly acidic pH, high and very high content of available phosphorus, and elevated and high content of exchangeable potassium. By the heading phase of winter rye, there was a reliable decrease in pH_{KCl} by 0.2 pH units on average for all the studied variants ($LSD_{05}=0.1$). The greatest decrease was observed with the use of $N_{120}P_{30}K_{30}$ and $N_{150}P_{60}K_{60}$ and amounted to 0.3 pH units ($LSD_{05}=0.2$). A tendency to decrease the mobile phosphorus content between phases was established in the control variant and with the use of N_{90} by 13 and 32 mg/kg. The content of available potassium increased by the heading phase, primarily due to a change in the indicator in the variants using $N_{60}P_{60}K_{60}$ and $N_{150}P_{60}K_{60}$ by 39 and 38 mg/kg, respectively ($LSD_{05}=27$ mg/kg). The ammonium

nitrogen content significantly increased by 7.3 mg/kg by the heading phase ($LSD_{05}=5.9$ mg/kg). The nitrate nitrogen content tended to decrease by 8.6 mg/kg. Grain productivity significantly and moderately correlated with the mobile phosphorus content in both studied phases ($r=0.42$ for both phases) and the ammonium nitrogen content at the heading phase ($r=0.45$).

Key words: sod-podzolic soil, mobile phosphorus, exchangeable potassium, mineral nitrogen, growth phases, winter rye (*Secale cereale*).

For citation: Shishkov D.G., Olekhov V.R., Safiullina D.R. Changes in soil agrochemical parameters across winter rye growth phases depending on the use of mineral fertilizers. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 4. (16). 61-66 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-61-66>

References

- Novoselov SI, Kuzminykh AN. [Influence of steam predecessors and mineral fertilizers on winter rye productivity]. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 3(18). 33-38 p.
- Shmeleva MS. [Effect of fertilizers, sowing time on the phenological phases and yield formation of winter rye in the middle Urals]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2025; Vol.17. 2. 73-79 p. doi: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-73-79.
- Volosevich AN, Trubnyakov MD, Rybakov AO, Silaraups AV. [Dynamics of agrochemical parameters of soil depending on the use of nitrogen-containing mineral fertilizers in the cultivation of winter grain crops in North-West of the Russian Federation]. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 1. 13-26 p.
- Shaykova TV, Dyatlova MV, Volkova ES. [Consumption and removal of the main mineral nutrition elements by winter rye with the application of complex fertilizers]. *Plodorodie*. 2022; 6(129). 3-7 p. doi: 10.25680/S19948603.2022.129.01.
- Zolotareva RI, Maksimov VA. [Assessment of resistance of the studied winter rye varieties to the main diseases]. *Aktualnye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii selskogo khozyaystva*. 2019; 21. 94-96 p.
- Matyuk NS, Nikolaev VA, Shchigrova LI. [Changes in fertility at different soil cultivation technologies]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2019; 2. 13-16 p. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10020.
- Okorkov VV, Shchukin NN. [Effect and aftereffect of chicken manure on the fertility of sod-podzolic soil and spring wheat yield in upper Volga region]. *Vladimirskiy zemledelets*. 2023; 2(104). 34-41 p. doi: 10.24412/2225-2584-2023-2104-34-41.
- Sorokina OA. [Efficiency of action and aftereffect of phosphate rock on leached chernozem]. *Vestnik KrasGAU*. 2020; 6(159). 3-10 p. doi: 10.36718/1819-4036-2020-6-3-10.
- Malkanduev KhA, Shamurzaev RI, Malkandueva AKh. [Consumption of basic nutrients by winter wheat varieties]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2022; 2(106). 107-117 p. doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117.
- Ovsalve A. Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management. [Internet]. *Environmental and Experimental Biology*. 2011; Vol.9. № 3. 1-8 p. [cited 2024, October 16]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/266608056_Optimization_of_plant_mineral_nutrition_revisited_The_roles_of_plant_requirements_nutrient_interactions_and_soil_properties_in_fertilization_management
- Kim KS, Anderson JD, Newell MA, Butler TJ. Variations of forage yield and nutritive value in winter rye germplasm. *Crop Science*. 2016; Vol. 56(3). 1018-1024 p. doi: 10.2135/cropsci2015.08.0487.
- Zavyalova NE, Vasbieva MT, Shishkov DG. [Influence of mineral fertilizers on fertility of sod-podzolic soil, content of essential nutrients and heavy metals in winter rye]. *Agrokhimiya*. 2021; 4. 49-56 p. doi: 10.31857/S0002188121040153.
- Larikova YuS, Volobueva OG. [Modern concepts of the ecological and physiological role of plant root exudates (review article)]. *Zernobobovye i krupnyanye kultury*. 2021; 4(40). 93-101 p. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101.
- Petrov NYu, Filin VI, Egorova GS. [Mineral nutrition in spring barley crops in the south of Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. 2023; 4(72). 58-65 p. doi: 10.32786/2071-9485-2023-04-05.
- Vasbieva MT. Effect of long-term application of organic and mineral fertilizers on the organic carbon content and nitrogen regime of soddy-podzolic soil. *Eurasian Soil Science*. 2019; Vol.52. № 11. 1422-1428 p. doi: 10.1134/S1064229319110139.
- Dospikhov BA. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy): uchebnik dlya stud. vyssh. s.-kh. ucheb. zavedeniy po agronom. spets. [Field experiments methodology (with basics of statistical processing of research results): textbook for students of higher agricultural educational institutions in agronom. Specialization]. 2011; 392 p.
- Dzyuin GP, Dzyuin AG. [Changes in mineral forms of nitrogen in crop rotation with long-term use of fertilizers]. *Vladimirskiy zemledelets*. 2015; 3-4(73-74). 11-13 p.
- Shishkov DG, Olekhov VR, Vasbieva MT. [Influence of different doses and ratios of mineral fertilizers on winter rye productivity in the middle Urals]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023; Vol.24. 3. 399-408 p. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408.
- Davlyatshin ID, Lukmanov AA, Gayrov RR. [Spatial relationship between agrochemical properties and productivity of winter wheat on light-gray forest soils of the middle Volga region]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2016; 4. 38-47 p.
- Shishkov DG, Olekhov VR. [Accumulation of essential nutrients in the aboveground mass of winter rye of Falenskaya 4 variety under long-term stationary experiment]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 7. 49-55 p.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest. The work was carried out with the financial support of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of state assignment No. 124020600030-6.

Authors:

Shishkov Danil Glebovich – researcher, e-mail: danil.schischkov@yandex.ru

Perm Research Institute of Agriculture – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Russia.

Olekhov Vladimir Radomirovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agrochemistry and Soil Science Department, e-mail: olekhovr@pgatu.ru

Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russia.

Safiullina Diana Rafisovna – junior researcher, e-mail: safiullinad551@gmail.com

Perm Research Institute of Agriculture – Branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Russia.

СОВМЕСТИМОСТЬ ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ НА СИЛИКОНОВОЙ ОСНОВЕ
СО ШТАММОМ *BACILLUS VELEZENSIS* MGMM30

Л.З. Каримова, А. А. Загидуллин, Н. Ю. Серов, А.Р. Валиев, Ш.З. Валидов

Реферат. В настоящее время наблюдается значительный интерес к использованию биологических средств защиты растений как экологичной альтернативе химическим фунгицидам в интегрированных системах защиты растений. Целью работы является изучение влияния шести композиций пеногасителей, которые могут быть использованы для культивирования агента биологической защиты растений *Bacillus velezensis* MGMM30 на жизнеспособность штамма, фитопатогенную нагрузку и ростовые параметры проростков. Методика включала проращивание семян на питательных средах, во влажных камерах и в рулонах фильтровальной бумаги с оценкой зараженности основными семенными патогенами (*Alternaria sp.*, *Fusarium sp.* и др.) и биометрических показателей. Результаты показали дифференцированное влияние пеногасителей: композиции 3Т80-SiO₂ и 4Т80-SiO₂ в сочетании со штаммом продемонстрировали наиболее выраженный эффект, снизив зараженность семян до 0% на питательной среде и обеспечив высокую всхожесть (78–86,7%) при значительном подавлении патогенов в других методах. Вариант 5Т80 также показал высокую эффективность в снижении инфекционного фона. Таким образом, пеногасители, которые используются для получения культуры агента биологической защиты *B. velezensis* MGMM30 могут увеличивать эффективность биологического агента, что открывает перспективы для разработки промышленных форм биопротравителей с повышенной эффективностью.

Ключевые слова: пеногасители, яровая пшеница, *Bacillus velezensis*, фитопатогены, семенная инфекция, биопрепараты.

Для цитирования: Совместимость пеногасителей на силиконовой основе со штаммом *Bacillus velezensis* MGMM30 / Л.З. Каримова, А.А. Загидуллин, Н. Ю. Серов, А.Р. Валиев, Ш.З. Валидов // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 4(16). С. 67-72 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-67-72>

Введение. Предпосевная обработка семян остается ключевым элементом интегрированных систем защиты растений, позволяя снизить пораженность посевов семенными и почвенными инфекциями, улучшить стартовое развитие и повысить урожайность культур. В условиях роста требований к экологической безопасности и сокращения применения классических химических фунгицидов возрастает интерес к биопрепаратам на основе антагонистических бактерий и грибов, применяемым в составе протравителей семян [1, 2, 3].

Биологические протравители на основе родов *Bacillus* рассматриваются как экологически более безопасная альтернатива, обеспечивающая контроль широкого спектра фитопатогенов. Штаммы *Bacillus velezensis* характеризуются высокой антагонистической активностью к широкому спектру фитопатогенных грибов за счет синтеза липопептидов, ферментов и других метаболитов, что делает их перспективной основой биологических протравителей [1, 4, 5].

Современные тренды в разработке протравителей включают создание комбинированных форм с использованием биоконтрольных агентов, наноматериалов и полимерных покрытий, обеспечивающих пролонгированное высвобождение действующих веществ и снижение негативного воздействия на окружающую среду. При этом, свойства вспомогательных компонентов (ПАВ, полимеров, пеногасителей) существенно влияют на распределение активных веществ на поверхности семени, степень

вымывания фунгицидов, а также выживаемость микроорганизмов в процессе хранения и после посева.

Пеногасители являются необходимым компонентом при ферментационном культивировании многих микроорганизмов. В тех случаях, когда для обработки растений используется культура микроорганизмов вместе с культуральной жидкостью, пеногасители также попадают на растения и их влияние на растительно-микробные взаимодействия должно приниматься во внимание. В научной и промышленной практике практически отсутствуют систематические исследования по оценке влияния современных пеногасителей на жизнеспособность и антагонистическую активность штаммов *Bacillus* при совместном применении на семенах зерновых культур, что создает риск снижения эффективности биопрепаратов или, наоборот, недоиспользования потенциала композиционных систем [6, 7].

Рынок средств для обработки семян демонстрирует устойчивый рост, что связано с необходимостью интенсификации производства при одновременном снижении пестицидной нагрузки и повышении устойчивости культур к стрессам. В этих условиях разработка пеногасителей, адаптированных к биоформуляциям и не угнетающих жизнеспособность продуцентов, является важным элементом технологической оптимизации процессов протравливания семян и обеспечения микробиологической безопасности посевного материала [7, 8].

Цель исследования – оценить влияние

различных композиций пеногасителей на совместимость со штаммом *Bacillus velezensis* и их эффективность в снижении фитопатогенной нагрузки на семенной материал и проростки яровой пшеницы.

Задачи исследования:

- оценить влияние пеногасителей на всхожесть и биометрические показатели проростков яровой пшеницы при различных методах проращивания;
- оценить способность пеногасителей в композиции с *Bacillus velezensis* снижать зараженность семян и проростков основными семенными фитопатогенами;
- выделить композиции пеногасителей, обеспечивающие максимальное снижение фитопатогенной нагрузки при сохранении или улучшении ростовых параметров растений.

Условия, материалы и методы. Работу

выполняли в лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов на базе ФИЦ КазНЦ РАН (г. Казань, Россия) в 2025 году.

Использовали перспективный штамм *Bacillus velezensis* MGMM30, который продуцирует большое количество антимикробных метаболитов: липопептиды, полипептиды, ферменты, непептидные соединения [9]. Поверхностно-активные вещества, которые представляют собой амфипатические молекулы с полярными и гидрофобными участками, могут быть связаны с фунгицидной активностью [10]. Также для этого штамма показано защитное действие при заражении томатов бактериальным фитопатогеном *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 [11].

В эксперименте применяли шесть пеногасителей (табл. 1).

Таблица 1 – Состав пеногасителей в процентном соотношении

Наименование	Вода	Tw80	ПМС ₂₀₀	2-HDol	D ₃	D ₄	SiO ₂
1T80	25	10	10	35	20	-	-
3T80	25	10	10	35	-	20	-
3T80-SiO ₂	25	10	30	35	-	-	1
4T80	25	10	10	35	-	20	-
4T80-SiO ₂	25	10	10	35	-	20	1
5T80	25	10	10	35	-	-	20

Tw80 – Твин 80, ПМС200 – полидиметилсульфоксан, 2-HDol – 2-гексил-1-деканол; D₃ – Гексаметилциклотрисилоксан, (M = 222); D₄ – Октаметилциклотрисилоксан, (M = 296).

В качестве тест культуры использовали семена яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Гранни, репродукция – СЭ.

Схема опыта включала инокуляцию семян рабочими растворами штамма *Bacillus velezensis* и пеногасителями. Биометрические показатели семян и их зараженность основными семенными фитопатогенами (*Alternaria* spp., *Bipolaris* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*) оценивались тремя методами:

В чашки Петри с питательной средой Кинг Б, в стерильных условиях разложили семена яровой пшеницы. Семена пшеницы были заранее стерилизованы в этиловом спирте 70% в течении 2-3 минут, затем трехкратно промыты дистиллированной водой и высушены на фильтровальной бумаге, далее семена инокулировали штаммами с добавлением пеногасителей согласно схеме опыта. В чашку Петри закладывали 25 семян в 3-х кратной повторности. Семена проращивали в климатостате КС-200 СПУ в течении 3 суток, при температуре 26°C.

В чашки Петри с двойным слоем фильтровальной бумаги, увлажненной стерильной дистиллированной водой разложили семена яровой пшеницы. Семена пшеницы были заранее стерилизованы в этиловом спирте 70% в течении 2-3 минут, затем трехкратно промыты дистиллированной водой и высушены на фильтровальной бумаге, далее семена

инокулировали штаммами с добавлением пеногасителей согласно схеме опыта. В чашку Петри закладывали 25 семян в трехкратной повторности. Семена проращивали в течение 5 суток в климатостате КС-200 СПУ, при температуре 25°C.

Метод фитоэкспертизы семян с использованием рулонов фильтровальной бумаги. Семена пшеницы были заранее стерилизованы в этиловом спирте 70% в течении 2-3 минут, затем трехкратно промыты дистиллированной водой и высушены на фильтровальной бумаге, далее семена инокулировали штаммами с добавлением пеногасителей согласно схеме опыта. Семена проращивали в течении 3 суток в климатостате КС-200 СПУ, при температуре 25°C, без освещения, далее 4 суток при освещении 16/8.

Зараженность семян определяли путем подсчета количества семян с проросшими колониями в общем количестве семян.

Результаты и обсуждения. По результатам оценки зараженности семян яровой пшеницы сорта Гранни на питательной среде Кинг Б максимальная зараженность (100%) отмечена в контроле с водой, что отражает высокий исходный фитопатогенный фон семенного материала. Внесение штамма MGMM 30 без пеногасителей уменьшило зараженность до 60%, подтверждая выраженную антагонистическую активность штамма в отношении семенных фитопатогенов.

Таблица 2 – Зараженность семян яровой пшеницы сорта Гранни на питательной среде Кинг Б

Вариант	Зараженность семян, %
Контроль (H ₂ O)	100
MGMM 30	60
1T80 + MGMM 30	26,7
3T80 + MGMM 30	6,7
3T80-SiO ₂ + MGMM 30	0
4T80 + MGMM 30	100
4T80-SiO ₂ + MGMM 30	0
5T80 + MGMM 30	80

Композиции штамма MGMM 30 с пеногасителями продемонстрировали дифференцированное влияние на фитопатогенную нагрузку: варианты 1T80 и 3T80 снижали зараженность до 26,7 и 6,7% соответственно, что указывает на синергизм штамма и данных составов пеногасителей. Наиболее выраженный защитный эффект зафиксирован для вариантов 3T80-SiO₂ и 4T80-SiO₂, в которых зараженность семян не выявлялась, что свидетельствует о практически полном подавлении патогенной микрофлоры при сохранении активности *Bacillus velezensis* в присутствии указанных композиций.

Варианты 4T80 и 5T80 без добавления SiO₂ показали менее выраженный эффект: в случае 4T80 зараженность оставалась на уровне 100%, а при 5T80 составляла 80%, что может свидетельствовать о неблагоприятном влиянии отдельных компонентов пеногасителя на колонизацию семян штаммом или

формирование защитной пленки.

То есть, включение диоксида кремния в состав пеногасителей 3T80 и 4T80 обусловило резкое снижение фитопатогенной нагрузки, что позволяет рассматривать эти композиции как наиболее перспективные для биологических протравителей на основе *Bacillus velezensis*.

В условиях влажных камер (табл. 3) контроль с водой характеризовался удовлетворительной всхожестью (73,3%) при минимальной длине стебля и корня, тогда как вариант только с MGMM 30 демонстрировал снижение всхожести до 40% при заметном увеличении длины надземной и корневой системы, но с более высокой зараженностью (46,7%). Это указывает на то, что штамм стимулирует рост отдельных проростков, однако без оптимизации формуляции его защитный эффект в условиях высокой инфекционной нагрузки ограничен.

Таблица 3 – Биометрические показатели и зараженность проростков яровой пшеницы, пророщенных в условиях влажных камер

Вариант	Всхожесть, %	Длина стебля, мм	Длина корня, мм	Количество корешков, шт	Зараженность семян, %
Контроль (H ₂ O)	73,3±3	2,05±0,51	4,10±0,70	3±0,64	20
MGMM 30	40,0±3	8,47±0,52	9,07±0,68	4±0,67	46,7
1T80 + MGMM 30	60,0±3	5,63±0,61	6,93±0,71	4±0,56	20
3T80 + MGMM 30	53,3±3	4,40±0,58	6,90±0,82	3±0,62	40
3T80-SiO ₂ + MGMM 30	80,0±3	6,77±0,63	8,07±0,78	4±0,64	13,3
4T80 + MGMM 30	73,3±3	8,60±0,70	9,77±0,64	4±0,58	26,7
4T80-SiO ₂ + MGMM 30	86,7±3	5,03±0,54	7,17±0,59	3±0,56	6,67
5T80 + MGMM 30	60,0±3	4,83±0,64	6,93±0,67	4±0,58	26,7

Добавление пеногасителей повлияло как на ростовые параметры, так и на фитопатогенную нагрузку. Вариант 3T80-SiO₂ + MGMM 30 обеспечил повышение всхожести до 80%, увеличение длины стебля и корня по сравнению с MGMM 30 и снижение зараженности до 13,3%, что свидетельствует о благоприятном сочетании ростостимулирующего и защитного эффектов. Композиция 4T80-SiO₂ + MGMM 30 также повысила всхожесть (86,7%), при этом отмечалось снижение зараженности до 6,67% при сохранении удовлетворительных биометрических показателей, что указывает на эффективное подавление патогенов при минимальном стрессовом воздействии на растения.

Вариант 4T80 + MGMM 30 без диоксида

кремния обеспечил максимальную длину стебля (8,6 мм) и корня (9,77 мм) среди рассмотренных вариантов, однако зараженность проростков оставалась на уровне 26,7%, что говорит о преимущественно ростостимулирующем, а не защитном эффекте такой композиции. Для варианта 1T80 + MGMM 30 отмечена умеренная всхожесть и уменьшение зараженности до 20%, тогда как 5T80 + MGMM 30 демонстрировал лишь частичное снижение фитопатогенной нагрузки (26,7%) при средних ростовых показателях.

При использовании метода рулонов (табл. 4) контрольный вариант и чистый штамм MGMM 30 характеризовались сопоставимой всхожестью (74-76%) при умеренной длине стебля и корня и зараженности на

уровне 10-22%, что отражает действие стандартизированной лабораторной методики с меньшей экспозицией к патогенам по сравнению с влажными камерами. Вариант 3Т80 + МGMM 30 демонстрировал заметное

увеличение длины стебля (12 мм) и корня (13,22 мм), а также числа корешков (5 шт.), при снижении зараженности до 14%, что подтверждает как ростстимулирующее, так и умеренное защитное действие композиции.

Таблица 4 – Биометрические показатели и зараженность проростков яровой пшеницы, пророщенных в рулонах

вариант	Всхо- жесть, %	Длина стебля, мм	Длина колеопти- ле, мм	Длина корня, мм	Количе- ство кореш- ков, шт.	Зара- женност ь семян, %
Контроль (H ₂ O)	74±3	8,52±2,28	3,04±0,60	10,76±0,74	4±0,68	22
MGMM 30	76±3	9,46±1,44	3,10±0,30	11,72±1,08	3±0,65	10
1Т80 + MGMM 30	70±3	11,22±0,58	2,96±0,40	12,3±0,80	4±0,64	16
3Т80 + MGMM 30	72±3	12,00±1,60	3,20±0,30	13,22±0,88	5±0,59	14
3Т80-SiO ₂ + MGMM 30	78±3	12,20±0,7	2,92±0,18	12,28±0,72	3±0,62	14
4Т80 + MGMM 30	74±3	11,48±2,12	3,08±0,02	11,64±0,86	3±0,58	8
4Т80-SiO ₂ + MGMM 30	80±3	11,54±1,06	3,02±0,18	13,06±1,74	4±0,54	10
5Т80 + MGMM 30	78±3	10,34±2,36	2,72±0,48	10,7±0,30	4±0,52	2

Пеногасители 3Т80-SiO₂ и 4Т80-SiO₂ в сочетании с MGMM 30 обеспечили высокую всхожесть (78–80%) и сохранение или увеличение длины корневой системы при умеренном или низком уровне зараженности (8-14%), что указывает на стабильный защитный эффект в условиях, моделирующих более продолжительное прорастивание. Особенно показателен вариант 5Т80 + MGMM 30, где при высокой всхожести (78%) наблюдалась минимальная зараженность (2%), что свидетельствует о выраженном снижении фитопатогенной нагрузки на проростки при сохранении нормального роста.

Сопоставление результатов трех методик показывает, что отдельные композиции пеногасителей (3Т80-SiO₂, 4Т80-SiO₂, 5Т80) не только обеспечивают технологическое подавление пенообразования, но и существенно снижают уровень семенных и ранневсходовых инфекций в присутствии *Bacillus velezensis* MGMM 30. Это позволяет предположить, что оптимизированные формулы пеногасителей создают условия для более

равномерной колонизации поверхности семян антагонистическими бактериями и формирования устойчивого микробного барьера против фитопатогенов.

Выводы. Включение пеногасителей в состав рабочей суспензии *Bacillus velezensis* MGMM 30 существенно модифицирует уровень фитопатогенной нагрузки на семена и проростки яровой пшеницы.

Наиболее эффективными с точки зрения снижения зараженности семян и проростков при сохранении или повышении всхожести и ростовых показателей оказались композиции 3Т80-SiO₂, 4Т80-SiO₂ и 5Т80, обеспечивающие почти полное подавление патогенов в отдельных вариантах опыта.

Правильно подобранные пеногасители не только не снижают эффективность биопрепарата на основе *Bacillus velezensis* MGMM 30, но и способствуют более эффективному снижению фитопатогенного фона семенного материала, что важно при создании промышленных форм биологических протравителей.

Литература

1. Seed Treatment With Systemic Fungicides: Time for Review / M.S. Ayesha, T.S. Suryanarayanan, K.N. Nataraja, et. al. // *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 12. Article 654512. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34408757> (дата обращения 12.10.2025). doi: 10.3389/fpls.2021.654512.
2. Recent Advances in Nano-Enabled Seed Treatment Strategies for Sustainable Agriculture: Challenges, Risk Assessment, and Future Perspectives / Shelar A, Nile SH, Singh AV, et al. // *Nano-micro Lettters*. 2023. V.15. Article 54. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36795339>. (Дата обращения 25.09.2025). doi: 10.1007/s40820-023-01025-5.
3. Sustainable management of peanut damping-off and root rot diseases caused by *Rhizoctonia solani* using environmentally friendly bio-formulations prepared from batch fermentation broth of chitinase-producing *Streptomyces cellulosa* / Abo-Zaid, G.A., Darwish, M.H., Ghazlan, H.A. et al. // *BMC plant biology*. 2024. V.24. Article 760. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39118060>. (Дата обращения 25.09.2025). doi: 10.1186/s12870-024-05441-6.
4. A Novel Seed-Dressing Formulation Based on an Improved Mutant Strain of *Trichoderma virens*, and Its Field Evaluation / Mukherjee P.K., Mehrete S.T., Sherkhane P.D. et. al. // *Frontiers in microbiology*. 2019. V.10. 1910. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6730527>. (Дата обращения 25.09.2025). doi:10.3389/fmicb.2019.01910.
5. Symbiotic regulation of plant growth, development and reproduction / Rodriguez R., Freeman D.C., McArthur E.D. et. al. // *Communicative & Integrative Biology*. 2009. V.2. P.141-143. doi: 10.4161/cib.7821.
6. Industrial antifoam agents impair ethanol fermentation and induce stress responses in yeast cells / Nielsen J.C., Senne de Oliveira L.F., Rasmussen T. G. et al. // *Applied microbiology and biotechnology*. 2017. V.101 (22). P. 8237-8248. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5719808>. (Дата обращения 20.09.2025). doi:

10.1007/s00253-017-8548-2.

7. Догадина М. А., Правдюк А. И., Криворотова Е. И. Вызовы и тренды рынка биопестицидов // Вестник аграрной науки. 2024. № 2 (107). С. 40–48. doi: 10.17238/issn2587-666X.2024.2.40.

8. Лысов А.К. Проблемы применения средств защиты растений и пути снижения их техногенного воздействия на окружающую среду // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 3(116). С.34-51.

9. Патент № 2823280 С1 РФ. Штамм эндофитной бактерии *Bacillus velezensis* MGMM30 для стимуляции роста, снижения развития болезней и повышения урожайности сельскохозяйственных культур: заявл. 25.12.2023 : опубл. 22.07.2024 / Д. М. Афордоаньи, Ш. З. Валидов, Е. Ю. Шульга, Б. Р. Исламов; заявитель ФИЦ «КазНЦ РАН».

10. Сидорова Т. М., Асатурова А. М., Аллахвердян В. В. / Хроматографические профили антигрибных экзо- и эндометаболитов бактерий *Bacillus velezensis* // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 191-199. Doi: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-191-199.

11. The Effect of *Bacillus subtilis* and *Bacillus velezensis* on the Antioxidative Responses of Tomato Plants Facing *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 Infection / Sumaira, E. A. Gavrilova, S. Z. Validov et al. // Journal of Phytopathology. 2025. V.173. № 5. P. e70178. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jph.70178> (Дата обращения 30.09.2025). doi: 10.1111/jph.70178.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.

Сведения об авторах:

Каримова Лилия Зяудатовна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: Karimova-lcd@mail.ru

Загидуллин Алмаз Анварович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, e-mail: almaz_zagidullin@mail.ru.

Серов Никита Юрьевич – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: n.serov@knc.ru.

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия.

Валиев Айрат Расимович – доктор технических наук, первый проректор, чл.-корр. АН РТ, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

Валидов Шамиль Завдатович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: sh.validov@knc.ru

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия.

COMPATIBILITY OF SILICONE-BASED ANTIFOAMING COMPOSITIONS WITH *BACILLUS VELEZENSIS* MGMM30 STRAIN

L. Z. Karimova, A. A. Zagidullin, N. Yu. Serov, A. R. Valiev, Sh. Z. Validov

Abstract. Nowadays, there is a significant interest in the use of biological plant protection products as an ecologically friendly alternative to chemical fungicides in integrated plant protection systems. The aim of the study was to investigate the effect of six antifoaming compositions that can be used to cultivate the biological plant protection agent *Bacillus velezensis* MGMM30 on strain viability, phytopathogenic load and growth parameters of seedlings. The methodology included seed germination on nutrient media, in humid chambers and on filter paper rolls, with assessment of infection by major seed-borne pathogens (*Alternaria* sp., *Fusarium* sp., etc.) and biometric parameters. The results demonstrated differential effects of defoamers: compositions 3T80-SiO₂ and 4T80-SiO₂ in combination with the strain demonstrated the most pronounced effect, reducing seed infestation to 0% on nutrient medium and ensuring high germination rates (78–86.7%), while significantly suppressing pathogens in other methods. 5T80 variant also showed high efficacy in reducing infection background. Thus, antifoaming compositions used in the production of *B. velezensis* MGMM30 bioprotection agent can enhance the effectiveness of biological agent, opening up prospects for the development of industrial forms of bio-fungicides with improved efficacy.

Key words: antifoaming compositions, spring wheat, *Bacillus velezensis*, phytopathogens, seed infection, biopreparations.

For citation: Karimova L.Z., Zagidullin A.A., Serov N.Yu., Valiev A.R., Validov Sh.Z. Compatibility of silicone-based antifoaming compositions with *Bacillus velezensis* MGMM30 strain. Agrobiotechnologies and digital farming. 4(16). 67-72 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-67-72>

References

1. Ayesha MS, Suryanarayanan TS, Nataraja KN. Seed treatment with systemic fungicides: time for review. [Internet]. Frontiers in Plant Science. 2021; Vol.12. Article 654512. [cited 2025, October 12]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34408757>. doi: 10.3389/fpls.2021.654512.

2. Shelar A, Nile SH, Singh AV. Recent advances in nano-enabled seed treatment strategies for sustainable agriculture: challenges, risk assessment, and future perspectives. [Internet]. Nano-micro Lettters. 2023; Vol.15. Article 54. [cited 2025, September 25]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36795339>. doi: 10.1007/s40820-023-01025-5.

3. Abo-Zaid GA, Darwish MH, Ghazlan HA. Sustainable management of peanut damping-off and root rot diseases caused by *Rhizoctonia solani* using environmentally friendly bio-formulations prepared from batch fermentation broth of chitinase-producing *Streptomyces cellulosa*. [Internet]. BMC plant biology. 2024; Vol.24. Article 760. [cited 2025, September 25]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39118060>. doi: 10.1186/s12870-024-05441-6.

4. Mukherjee PK, Mehete ST, Sherkhane PD. A novel seed-dressing formulation based on an improved mutant strain of *Trichoderma virens* and its field evaluation. [Internet]. Frontiers in microbiology. 2019; Vol.10. 1910; [cited 2025, September 25]. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6730527>. doi:10.3389/fmicb.2019.01910.

5. Rodriguez R, Freeman DC, McArthur ED. Symbiotic regulation of plant growth, development and reproduction. Communicative & Integrative Biology. 2009; Vol.2. 141-143 p. doi: 10.4161/cib.7821.

6. Nielsen JC, Senne de Oliveira LF, Rasmussen TG. Industrial antifoam agents impair ethanol fermentation and

induce stress responses in yeast cells. [Internet]. Applied microbiology and biotechnology. 2017; Vol.101 (22). 8237-8248 p. [cited 2025, September 20]. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5719808>. doi: 10.1007/s00253-017-8548-2.

7. Dogadina MA, Pravdyuk AI, Krivorotova EI. [Challenges and trends of biopesticides market]. Vestnik agrarnoy nauki. 2024; 2 (107). 40-48 p. doi: 10.17238/issn2587-666X.2024.2.40.

8. Lysov AK. [Problems of application of plant protection products and ways of reducing their technogenic impact on the environment]. AgroEkoInzheneriya. 2023; 3(116). 34-51 p.

9. Afordoani DM, Validov ShZ, Shulga EYu, Islamov BR. Patent № 2823280 C1 RF. Shtamm endofitnoy bakterii *Bacillus velezensis* MGMM30 dlya stimulyatsii rosta, snizheniya razvitiya bolezney i povysheniya urozhaynosti selskokhozyaystvennykh kultur. [Strain of endophytic bacterium *Bacillus velezensis* MGMM30 for stimulation of growth, reduction of diseases development and increase of agricultural crops productivity]. Zayavl. 25.12.2023. opubl. 22.07.2024. zayavitel FITs KazNTs RAN.

10. Sidorova TM, Asaturova AM, Allakhverdyan VV. [Chromatographic profiles of antifungal exo- and endometabolites of *Bacillus velezensis* bacteria]. Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki. 2021; 2(26). 191-199 p. Doi: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-191-199.

11. Sumaira, Gavrilova EA, Validov ShZ. The effect of *Bacillus subtilis* and *Bacillus velezensis* on the antioxidative responses of tomato plants facing *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000 Infection. [Internet]. Journal of Phytopathology. 2025; Vol.173. 5. e70178 p. [cited 2025, September 30]. Available from: abs/10.1111/jph.70178. doi: 10.1111/jph.70178.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest. The work was carried out as part of the state assignment of the Federal Research Center of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

Authors:

Karimova Liliya Zyauatovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: karimova-lcd@mail.ru

Zagidullin Almaz Anvarovich – Ph.D. of Chemical Sciences, senior researcher, e-mail: almaz_zagidullin@mail.ru.

Serov Nikita Yurevich – Ph.D. of Chemical Sciences, leading researcher, e-mail: n.serov@knc.ru.

Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia.

Valiev Ayrat Rasimovich – Doctor of Technical Sciences, First Vice-Rector, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Validov Shamil Zavdatovich – Ph.D. of Biological Sciences, Head of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: sh.validov@knc.ru

Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia.

ВЫДЕЛЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЗ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДИОКСИНАМИ

Нго Као К., Нгуен Тхи Ким Т., Нгуен Вьет К., Ле Ван Т., К. А. Сапармырадов, Э. Н. Комиссаров, М. Д. Фролов, А. Ю. Суханов, Н. В. Трахтман, Ш. З. Валидов

Реферат. Загрязнение почв диоксинами представляет серьёзную экологическую проблему, особенно во Вьетнаме, где военное применение гербицидов армией США привело к долговременной контаминации. Существующие физико-химические методы очистки малоэффективны для обширных территорий, что делает актуальным развитие биологических подходов, в частности фиторемедиации с использованием микробных деструкторов. Целью данной работы было выделение из загрязнённых почв аэродрома Бьен Хоа (Вьетнам) бактериальных штаммов, способных к деградации диоксинов, и оценка их потенциала для фиторемедиации. Методами селекции на среде с 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-п-диоксином выделено 37 морфологически различных изолятов. Таксономический анализ по гену 16S рРНК выявил доминирование грамположительных спорообразующих бактерий родов *Bacillus*, *Priestia*, *Niallia* (около 41%) и актиномицетов рода *Rhodococcus* (около 14%). BOX-PCR генотипирование подтвердило генетическое разнообразие коллекций. Отобраны непатогенные штаммы, среди которых выявлены активные колонизаторы корней томата (*Pseudomonas putida* D01L2B02, *Bacillus amyloliquefaciens* D01L2B03, *Bacillus tropicus* PIB0314/5), обладающие комплексом энзиматических активностей (протеаза, амилаза, липаза, фитаза) и способностью к фиксации азота. Штамм *B. tropicus* PIB0314/5 продемонстрировал статистически значимый фитостимулирующий эффект на томатах. Полученные результаты показывают, что выделенные аборигенные бактериальные штаммы являются перспективными кандидатами для разработки микробных препаратов и создания эффективных систем фиторемедиации почв, загрязнённых диоксинами.

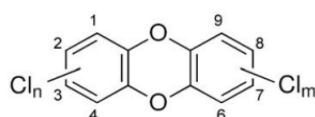
Ключевые слова: диоксины, колонизация растений, стимуляция роста растений, фитобиоремедиация, ИУК.

Для цитирования: Выделение микроорганизмов из почв, загрязнённых диоксинами / Нго Као К., Нгуен Тхи Ким Т., Нгуен Вьет К., Ле Ван Т., Сапармырадов К.А., Комиссаров Э.Н., Фролов М.Д., Суханов А.Ю., Трахтман Н.В., Валидов Ш.З. // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. № 4(16). С. 73-84 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-73-84>

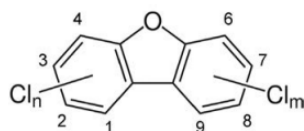
Введение. Диоксин и соединения, подобные диоксину, представляют собой группу, состоящую из сотен ароматических органических веществ, содержащих хлор, включая полихлорированные дибензо-п-диоксины, полихлорированные дибензофураны и полихлорированные бифенилы (рис. 1). Данные

соединения характеризуются выраженной токсичностью, высокой экологической персистентностью и способностью к биологическому накоплению в живых организмах, что обуславливает их значительную опасность для здоровья человека и состояния окружающей среды [1].

А



Б



В

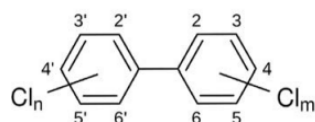


Рис. 1 – Общая структура диоксинов и соединений, подобных диоксину: (А) полихлорированные дибензо-п-диоксины (PCDDs, сокращенно диоксины), включают 75 гомологов; (Б) полихлорированные дибензофураны (PCDFs, сокращенно фураны), включают 135 гомологов и (В) полихлорированные бифенилы с плоской структурой (копланарные PCBs или диоксиноподобные PCBs, сокращенно dl-PCBs), включают 209 гомологов

Токсическое действие диоксинов опосредовано их связыванием с арил-углеводородным рецептором (AhR), что запускает каскад патологических процессов. Ключевыми проявлениями являются индукция экспрессии генов цитохрома P450, в частности изоформ CYP1A1 и CYP1A2. Это приводит к репродуктивным дисфункциям, тератогенным эффектам и нарушениям развития. Согласно современным представлениям инициирующим звеном этих нарушений выступает именно аномальная модуляция генной экспрессии, которая детерминирует последующую цепь биохимических, клеточных и тканевых повреждений, формируя целостную картину интоксикации [2].

Загрязнение окружающей среды диоксином, в частности, загрязнение почвы постоянно растет в основном из-за сжигания топлива, металлургии, производства пестицидов и их использования в сельском хозяйстве [3]. Ежегодные глобальные выбросы диоксина составляют 17 226 кг, что эквивалентно примерно 287 кг-TEQ [4]. Многие страны мира в настоящее время являются горячими точками загрязнения диоксином, включая Германию, Южную Корею, страны Средиземноморского бассейна, ЮАР, Польшу, Китай, Вьетнам и т.д. Если в европейских странах диоксины попали в почву благодаря обильному использованию пестицидов в сельском хозяйстве, то в Социалистической Республике Вьетнам диоксин в почве присутствует из-за военных действий США в период с 1961 по 1971 год, когда американские войска использовали более 71,7 миллиона литров ядовитых веществ, содержащих диоксин, для уничтожения джунглей Вьетнама [5]. Согласно исследованию Комитета 10-80, во Вьетнаме насчитывается около 28 регионов загрязнения диоксином, включая военные и полевые аэродромы, где складировались диоксины до распыления армией США. Среди них аэродромы Бьен Хоа, Дананг, Фу Кат и А Со, которые являются районами, с максимальным загрязнением диоксинами. Спустя более четырех десятилетий после окончания войны во Вьетнаме последствия тех действий по-прежнему негативно сказываются на жителях и окружающей среде этих регионов.

Несомненно, ликвидация подобных загрязнений представляет собой одну из приоритетных задач как на территории Вьетнама, так и в других регионах мира, подверженных воздействию данных соединений. В настоящее время для снижения уровня загрязнения применяется ряд подходов, таких как экскавация и захоронение зараженного грунта, а также термическая обработка загрязненных почв [5]. Однако ни один из этих методов не может считаться достаточно эффективным, поскольку либо неприменим для обширных территорий, либо характеризуется чрезмерной энергоемкостью.

Таким образом, биологическое разрушение диоксинов, возможно, является единственным

действенным способом очистки почв от диоксина, которое может быть масштабировано до нужных объемов и эффективно в широком диапазоне концентраций этих токсических веществ. Почвенные микроорганизмы обладают обширным спектром систем деградации, что позволяет им утилизировать широкий круг соединений, многие из которых являются токсичными соединениями – ксенобиотиками. Биodeградация хлор-органических соединений не является исключением, в настоящее время известно множество бактериальных штаммов, способных использовать диоксины в качестве единственного источника углерода и энергии [6, 7, 8, 9]. Ключевым моментом в деградации диоксинов является удаление атомов хлора дегалогеназами [10], хотя это не во всех случаях является первой реакцией метаболических путей деградации этих ксенобиотиков. Хлорированные диоксины могут быть дехлорированы в анаэробной среде с помощью восстановительных дегалогеназ некоторых видов бактерий, таких как бактерии рода *Dehalococcoides* [11]. В аэробных условиях различные микроорганизмы (*Sphingomonas*, *Pseudomonas* и *Burkholderia*) могут разлагать некоторые хлорированные диоксины под действием первоначальной атаки угловых диоксигеназ, однако немногие из них могут разлагать более сложный и токсичный диоксин 2,3,7,8-ТХДД [10]. Ранее было показано, что удаление хлоридов имеет решающее значение для снижения токсичности и риска образования токсичных промежуточных продуктов в процессе разложения [12]. После удаления атомов хлора оставшаяся молекула может быть деградирована классическим набором ферментов деградации алифатических или ароматических соединений [13, 14].

В условиях лимита доступного углерода основная часть почвенной микробиоты пребывает в метаболически неактивном состоянии [15]. Растение, которое выделяет в почву до 10% фиксируемого углерода [16], создает «оазис» в котором эффективно размножаются микроорганизмы-колонизаторы [17]. Таким образом, в отличие от почвы, растение (его ризосфера) может поддерживать в активном состоянии значительно большее количество микроорганизмов. Это явление используется для фитобioreмедиации, когда растение увеличивает численность микроорганизмов-деструкторов ксенобиотиков, что позволяет микро- и макроорганизму совместно более эффективно удалять ксенобиотики из почвы.

Большинство загрязненных диоксинами территорий во Вьетнаме уже покрыто растительностью, таким образом для этих территорий применим метод фиторемедиации. Для создания технологии фиторемедиации необходимы микроорганизмы-деструкторы диоксина, одновременно полезные для растений, т.е. способные к активной колонизации корней растений и стимуляции роста для поддержки растений в условиях загрязнения.

Целью данной работы было выделение бактериальных штаммов-деструкторов из почв, загрязненных диоксинами, идентификация и анализ колонизационных и фитостимулирующих свойств изолятов, для их дальнейшего использования в качестве микробных агентов фиторемедиации почв, загрязненных этим классом ксенобиотиков.

Условия, материалы и методы. Отбор проб для выделения микроорганизмов. Пробы почвы для выделения микроорганизмов отбирали в районе аэродромов Бен Хоа и Фу Кат (Вьетнам). Для экспериментов был отобран 1 кг почвы вместе с корнями растений. Концентрация диоксинов в почве составляла в среднем 35 865 ppt.

Среды и бактериальные штаммы, использованные в работе.

Для приготовления почвенной суспензии и ее разведения использовали фосфатно-солевой буфер (ФСБ) pH 7.0 (Компания «Хеликон», Россия). Для посева разведений почвенной суспензии использовали минеральную среду BM (K_2HPO_4 – 5.8 г/л, KH_2PO_4 – 3 г/л, $(NH_4)_2SO_4$ – 1 г/л) без добавления глицерина. В качестве источника углерода и энергии использовали 2,3,7,8 тетрахлордибензо-п-диоксин (ТХДД, 50мкг/мл стоковый раствор в толуоле), (ООО «Экрос», Россия), который добавляли в количестве 100 мкл на 20 мл среды. Для дальнейшего поддержания выделенных микроорганизмов использовали агаризованную среду LB (Difco, США).

Выделение бактериальных штаммов. Для выделения микроорганизмов 1 грамм исследуемой почвы ресуспендировали в 10 мл стерильного ФСБ. Разведения почвенной суспензии (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} и 10^{-5}), также приготовленные в ФСБ, объемом 100 мкл высевали на поверхность чашек BM с добавлением диоксида. Чашки Петри с посеянными разведениями почвенной суспензии инкубировали при 28°C. После 72 – 120 часов инкубации отдельные колонии, отличающиеся по морфологии, пересеивали на ту же среду и инкубировали еще 120 часов, до появления видимого роста культур микроорганизмов. Далее изоляты выращивали на среде LB для получения биомассы и последующего выделения ДНК.

Выделение препаратов тотальной ДНК и таксономическая идентификация выделенных бактериальных штаммов

Биомассу штаммов собирали с поверхности чашек Петри со средой LB, ДНК выделяли с помощью набора HiPure Bacterial DNA Kit, (Magen, KHP), в полном соответствии с рекомендациями производителя.

Видовая идентификация изолятов была проведена на основе сравнительного анализа нуклеотидных последовательностей фрагмента гена 16S рРНК. Фрагмент гена 16S рРНК был амплифицирован с помощью праймеров 27fm (5'- AGAGTTTGATCMTGGCTCAG -3')

и 1522R (5'- AAGGAGGTGATCCAGCCGCA -3') [18]. Амплифицированный фрагмент очищали из 1% агарозного геля с использованием набора Cleanup Mini (Евроген, Москва, Россия). Нуклеотидные последовательности полученных фрагментов ДНК определяли методом секвенирования по Сэнгеру (Евроген, Москва, Россия). Последовательности объединяли с помощью программы Clon Manager 9.0 (США) и анализировали в системе. Штамм идентифицировали по наибольшему совпадению последовательностей со штаммами известных видов в коллекции GenBank с помощью системы BLASTN (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov>).

Сравнительный анализ выделенных штаммов с помощью Vox-PCR

Полученные образцы ДНК использовали в качестве матричной ДНК для проведения ВОХ-ПЦР с праймером BOXA1R (5' - CTACGGCAAGGCGACGCTGACG - 3'). В реакционную смесь объемом 25 мкл добавляли 100 нг ДНК. Программа проведения ВОХ-ПЦР: 95°C – 3 мин, (95°C – 20 с, 53°C – 1 мин, 65°C – 8 мин, 34 цикла), 65°C – 18 мин, после выполнения ПЦР программы образцы хранили при 12 °C. Далее проводили электрофорез в 2% агарозном геле с использованием маркера молекулярных масс 1kb (ЗАО Евроген, Россия). Изображения получали с помощью гель-документирующей системы BioRad GelDoc Go (США). Далее проводили обработку и анализ полученных графических данных с помощью программы GelJ [19].

Определение ферментативных активностей полученных изолятов.

Определение амилазной активности. Для определения амилазной активности использовали модифицированную среду следующего состава: пептон – 0.5 г/л; KCl – 0.1 г/л; $MgSO_4 \times 7 H_2O$ – 0.5 г/л; $(NH_4)_2SO_4$ – 0.1 г/л; крахмал – 20.0 г/л; агар микробиологический – 20.0 г/л. Культуры высевали на поверхность крахмального агара и инкубировали при 30°C в течение 48 часов. Индикацию проводили окрашиванием 3% раствором йода и выдерживали 20 минут. Раствор йода сливали, чашки промывали дистиллированной водой для удаления остатков йодного раствора. О наличии амилазной активности судили по появлению неокрашенной зоны вокруг колоний.

Определение липазной активности. Для определения липазной активности использовали питательную среду с добавлением Tween 80 (Sigma, США), г/л: пептон – 10.0; NaCl – 5.0; $CaCl_2 \times 2 H_2O$ – 1.0; агар – 20.0; Tween 80 – 10.0. Культуры высевали на чашки с селективной средой и инкубировали при 30°C в течение 48 часов. О наличии липазной активности судили по появлению мелких белых кристаллов вокруг колоний микроорганизмов.

Определение протеолитической активности
Протеолитическую активность выявляли на базовой среде (BM) следующего состава, г/л: K_2HPO_4 – 5.8 г/л; KH_2PO_4 – 3.0 г/л; $(NH_4)_2SO_4$ – 1.0 г/л; агар – 20.0 г/л с добавлением глицерина 10 г/л и 1% сухого обезжиренного молока, стерилизованного кипячением. Культуры высевали на поверхность питательного агара и инкубировали при 30°C в течение 48 часов. Учет протеазной активности проводили визуально по образованию зон просветления (зон гидролиза) вокруг бактериальных колоний, что является индикатором деградации казеина под действием внеклеточных протеаз.

Определение фитазной активности
Фитазную активность определяли на среде PSM следующего состава: глюкоза – 2.0; фитат натрия – 5.0; NH_4NO_3 – 5.0; $MgSO_4 \times 7 H_2O$ – 0.5; KCl – 0.5; $FeSO_4 \times 7 H_2O$ – 0.01; $Mn(SO_4) \times 4 H_2O$ – 1.0; $CaCl_2$ – 2.0; агар микробиологический – 20.0. Культуры высевали на селективную среду и выращивали при 30°C в течение 48 часов. Учет фитазной активности проводили по образованию прозрачных зон гидролиза вокруг колоний, возникающих вследствие деградации нерастворимой фитиновой кислоты и образования хелатного комплекса кальция с фосфатом.

Определение целлюлолитической активности

Для выявления целлюлолитической активности использовали среду BM с добавлением 1% карбоксиметилцеллюлозы натриевой соли (КМЦ), г/л: триптон – 1.0; K_2HPO_4 – 5.8; KH_2PO_4 – 3.0; КМЦ – 10.0; агар микробиологический – 18.0. О наличии целлюлолитической (эндоглюконазной) активности судили по визуализации зон просветления.

Определение способности штаммов к фиксации атмосферного азота.

Способность микроорганизмов усваивать атмосферный азот проверяли на среде Эшби (HiMedia, Индия) не содержащей источника азота, поэтому на данной среде колонии образуют только бактерии, способные фиксировать азот из атмосферы.

Статистическая обработка данных.

Статистический анализ проводился с использованием статистического пакета программ (OriginLab Pro SR1 b9.5.1.195 (OriginLab Corp., Northampton, MA, USA). Эффект стимуляции роста между группами анализировался с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA test) ($p < 0.05$)

Определение колонизационных свойств непатогенных изолятов.

Колонизационные свойства изолятов определяли на томатах сорта Белый налив в гнотобиотической системе [20]. Для этого стерильные проростки с корешком размером не более 5 мм инокулировали суспензией штамма в ФСБ ($OP_{600}=0,1$). Штаммы, которые достигали численности более 10^5 клеток на см кончика корня считали активными колонизаторами.

Выявление фитостимулирующих свойств выделенных штаммов.

Для определения фитостимулирующих свойств использовали семена томата сорта Белый налив и яровой пшеницы сорта Ситара. Семена растений замачивали в суспензии клеток штаммов в стерильном ФСБ с плотностью $\sim 10^8$ клеток/мл ($OP_{600}=0,1$) в течении 30 минут при комнатной температуре. Далее семена высаживали в песок, смоченный PNS и инкубировали при комнатной температуре в течение 7 суток. Затем растения вынимали из песка и измеряли надземную часть растений. Эксперименты проводили в трех повторях. Для каждой обработки использовали не менее 10 семян. Результаты измерений обрабатывали с помощью программы MS Excel 2011 (Microsoft, США).

Детекция синтеза индолил-3-уксусной кислоты у выделенных штаммов.

Индолил-3-уксусная кислоту (ИУК), продуцируемую изолятами, определяли спектрометрически, в соответствии с методом Гордона и Вебера [21]. Для этого выделенные штаммы культивировали на среде LB с добавлением 1% L-триптофана в качестве предшественника при температуре 29°C при постоянном перемешивании (180 об/мин) в течение 3 дней. После инкубирования, бактериальную культуру центрифугировали при 9600 g в течение 5 мин при 4°C и фильтровали (с использованием мембранного фильтра 0,45 мкм). Далее, 1 мл полученной суспензии смешивали с реактивом Сальковского, состоящего из 0,5 М хлорида железа ($FeCl_3$) и 35%-ной хлорной кислоты ($HClO_4$) в соотношении 1:2. Смесь инкубировали при комнатной температуре в темноте в течение 30 мин, затем измеряли оптическую плотность при 530 нм. Концентрацию ИУК оценивали по стандартной кривой ИУК (0–1000 мкг/мл). Один мл стерильного среды LB, содержащей 1% L-триптофана, смешанной в соотношении 1:2 с реактивом Сальковского, использовали в качестве раствора сравнения. Результаты измерений обрабатывали с помощью программы MS Excel 2011 (Microsoft, США).

Результаты и обсуждения. Выделение и таксономическая идентификация выделенных бактериальных штаммов. В ходе работы методами накопительных культур с дальнейшим высевом на селективную среду, содержащую 2,3,7,8 тетрахлордibenзо-пдиоксин было отобрано 37 морфологически различающихся типа бактериальных колоний. Поскольку среда культивирования не содержала других источников углерода и энергии, за исключением ТХДД, мы предположили, что данные штаммы могут деградировать и ассимилировать продукты деструкции диоксина. Из клеток полученных изолятов была выделена тотальная ДНК и проведены работы по их таксономической идентификации.

Таксономическая идентификация изолятов,

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ

проведенная методом сравнительного анализа последовательностей гена 16S рНК, показала значительное таксономическое разнообразие исследуемой микрофлоры, представленной

бактериями из филумов *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria* и *Bacteroidetes*, что характерно для сложной микробной экосистемы (табл.1).

Таблица 1 – Результаты идентификации выделенных изолятов на основе сравнения последовательности гена 16S рНК

Изолят	Место отбора проб	Бактерии наиболее близкие к изолятам по последовательности гена 16S рНК в базе данных NCBI	% идентичности с последовательностью в базе NCBI
NE09 B02-1	Аэродром Бьен Хоа	<i>Staphylococcus equorum</i>	99,38%
NE09 B02-2	Аэродром Бьен Хоа	<i>Brachybacterium paraconglomeratum</i>	100%
NE09 L1 B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Stenotrophomonas sp.</i>	99,58%
R06 B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus sp. (in: firmicutes)</i>	99,93%
R05 B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus cereus</i>	99,73%
NE09 L2 B04	Аэродром Бьен Хоа	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	99,65%
NE09 L2 B03	Аэродром Бьен Хоа	<i>Chryseobacterium sp.</i>	99,93%
ZT B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Staphylococcus sp.</i>	99,93%
D04 B10 14/5	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus cereus</i>	99,93%
D03 L2 B06	Аэродром Бьен Хоа	<i>Rhodococcus phenolicus</i>	99,57%
D01 L2 B05	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus subtilis</i>	99,86%
D03 L2 B03	Аэродром Бьен Хоа	<i>Rhodococcus phenolicus</i>	99,71%
NE09 B03	Аэродром Бьен Хоа	<i>Providencia rettgeri</i>	99,51%
D05-1	Аэродром Фу Кат	<i>Providencia entomophila</i>	99,03%
D05-2	Аэродром Фу Кат	<i>Vitreoscilla sp.</i>	99,45%
R01 B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus sp. (in: firmicutes)</i>	99,45%
R06 Y02	Аэродром Фу Кат	<i>Bacillus cereus</i>	99,86%
PI B04	Аэродром Бьен Хоа	<i>Priestia megaterium</i>	99,72%
PI B03 14/5	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus tropicus</i>	99,86%
D03 L2 B01 14/5	Аэродром Бьен Хоа	<i>Microbacterium esteraromaticum</i>	99,58%
D02 B06	Аэродром Бьен Хоа	<i>Vitreoscilla sp.</i>	99,72%
D01 B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Niallia taxi</i>	99,72%
D05 B12	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus sp. (in: firmicutes)</i>	99,86%
D01 B03 14/5	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus velezensis</i>	100,00%
NE09 B05	Аэродром Бьен Хоа	<i>Lysinibacillus macroides</i>	98,95%
NE09 B06	Аэродром Бьен Хоа	<i>Paenibacillus taichungensis</i>	99,93%
DB02	Аэродром Бьен Хоа	<i>Paenibacillus taichungensis</i>	99,93%
DB01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Sinomonas atrocyanea</i>	99,57%
R05 B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus cereus</i>	99,86%
R06 B03	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus velezensis</i>	99,79%
D01 L2 B02	Аэродром Бьен Хоа	<i>Pseudomonas putida</i>	98,95%
D01 L2 B01	Аэродром Бьен Хоа	<i>Pseudomonas sp.</i>	99,30%
D0 L2 B04	Аэродром Бьен Хоа	<i>Rhodococcus phenolicus</i>	99,79%
D01 L2 B04	Аэродром Бьен Хоа	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99,79%
D01 L2 B03	Аэродром Бьен Хоа	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	99,86%
D03 L2 B02	Аэродром Бьен Хоа	<i>Rhodococcus ruber</i>	100,00%
D03 L2 B05	Аэродром Бьен Хоа	<i>Rhodococcus ruber</i>	99,86%

Ключевой особенностью данного микробиологического сообщества является абсолютное доминирование грамположительных, спорообразующих бактерий, в первую очередь представителей рода *Bacillus* и близкородственных родов (*Priestia*, *Niallia*), которые составляют около 41% всех изолятов, что часто указывает на их селекцию в стрессовых условиях. Параллельно выявлена важная группа актиномицеты рода *Rhodococcus* (≈14% изолятов), широко известных как активные деструкторы устойчивых ароматических соединений. Особый интерес представляют обнаруженные специализированные деструкторы, такие как *Rhodococcus phenolicus*, *R. ruber*,

а также различные виды *Pseudomonas* и *Stenotrophomonas*, обладающие высоким катаболическим потенциалом по отношению к ксенобиотикам [22, 23, 24]. Высокие проценты идентичности (>99% для большинства изолятов) подтверждают надежность определения. Таким образом, микрофлора представляет собой смешанное сообщество, где устойчивые сапрофитные формы соседствуют с ценными специализированными деструкторами и индикаторами контаминации ароматическими соединениями. Это хорошо согласуется с данными полученными другими авторами, которые показали, что эффективная минерализация группы поллютантов осуществляется не

единственным штаммом, но часто требует скоординированной работы микробных консорциумов, где различные виды дополняют катаболические пути друг друга [25].

Сравнительный анализ штаммов с помощью метода Вох-PCR. Учитывая высокую степень филогенетического сходства, выявленную для ряда штаммов при анализе последовательностей гена 16S рРНК, для верификации их геномной идентичности был применен метод ВОХ-PCR (генотипирование на основе повторяющихся последовательностей). Данный подход, также известный как ПЦР-фингерпринтинг, основан на амплификации с использованием праймеров, комплементарных консервативным повторяющимся элементам, мозаично распределенным в бактериальных геномах. В результате формируется уникальный профиль дискретных ампликонов, представляющий собой характерный геномный паттерн («Finger print»). Наиболее воспроизводимым вариантом данного метода считается гер-PCR, который подразделяется на REP-, ERIC- и BOX-ПЦР в зависимости от типа таргетируемых повторяющихся элементов (соответственно, REP-последовательностей, ERIC-элементов и BOX-мотивов). Хотя эволюционное происхождение и функциональная

роль некоторых из этих элементов окончательно не установлены, их видо-специфичный полиморфизм в количестве и геномной локализации позволяет эффективно использовать гер-PCR для дифференциации бактерий на внутривидовом и межвидовом уровнях.

Анализ геномных профилей позволил выявить пять четких кластеров штаммов с идентичными или практически идентичными спектрами ампликонов, что с высокой вероятностью указывает на их принадлежность к одному и тому же виду, а в пределах кластера – на клональное родство или принадлежность к одному штамму. Группа 1: штаммы 4 (R06 B01) и 11 (D01 L2 B05), Группа 2: штаммы 10 (D03 L2 B0) и 12 (D03 L2 B03), Группа 3: штаммы 9 (D04 B10 14/5) и 16 (R06 Y02), Группа 4: штаммы 5 (R05 B01), 24 (D01 B03 14/5) и 30 (R06 B03) и Группа 5: штаммы 36 (D03 L2 B02) и 37 (D03 L2 B05). Остальные проанализированные штаммы (например, *Staphylococcus equorum* NE09 B02, *Pseudomonas monteilii* NE09 L2 B04, *Priestia megaterium* PI B04 et al.) продемонстрировали уникальные BOX-PCR профили, что подчеркивает их генетическую индивидуальность и подтверждает таксономическую уникальность в рамках данной коллекции (рис. 2).

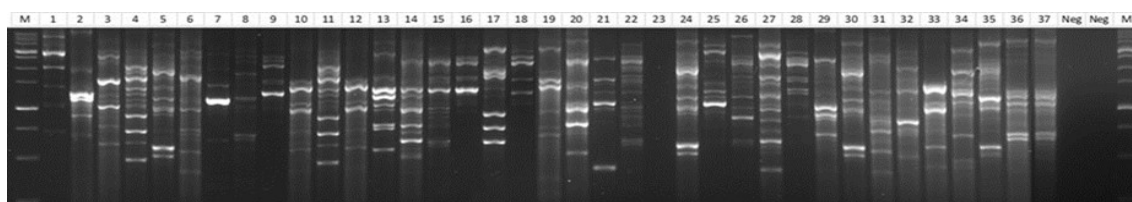


Рис. 2 - Электрофореграмма (0.8% TAE агарозный гель) ампликонов, полученных в ходе Вох-PCR. М. маркер длин ДНК «DNA ladder 1 kb» (Евроген, Москва, Россия); 1. NE09 B02-1; 2. NE09 B02-2; 3. NE09 L1 B01; 4. R06 B01; 5. R05 B01; 6. NE09 L2 B04; 7. NE09 L2 B03; 8. ZT B01; 9. D04 B10 14/5; 10. D03 L2 B06; 11. D01 L2 B05; 12. D03 L2 B03; 13. NE09 B03; 14. D05-1; 15. D05-2; 16. R01 B01; 17. R06 Y02; 18. PI B04; 19. PI B03 14/5; 20. D03 L2 B01 14/5; 21. D02 B06; 22. D01 B01; 23. D05 B12; 24. D01 B03 14/5; 25. NE09 B05; 26. NE09 B06; 27. DB02; 28. DB01; 29. R05 B01; 30. R06 B03; 31. D01 L2 B02; 32. D01 L2 B01; 33. D0 L2 B04; 34. D01 L2 B04; 35. D01 L2 B03; 36. D03 L2 B02; 37. D03 L2 B05. Neg. отрицательный контроль

Таким образом, применение метода ВОХ-PCR в сочетании с сравнительным анализом профилей позволило надежно дифференцировать исследуемые штаммы по видовой принадлежности и выделить предполагаемые внутривидовые группы.

Биотехническое применение в открытых системах предполагает использование непатогенных микроорганизмов. На основе данных идентификации штаммы *B. subtilis* R06B01, *P. plecoglossica* NE09L2B04, *R. phenolicus* D03L2B06, *P. megaterium* PIB04, *B. tropicus* PIB0314/5, *L. macroides* NE09B05, *P. tai-chungensis* NE09B06, *B. amyloliquefaciens* R06B03, *P. putida* D01L2B02, *B. amyloliquefaciens* D01L2B03, *R. ruber* D03L2B02 были выбраны как непатогенные бактериальные штаммы перспективные для создания системы фитобиоремедиации почв, загрязненных диоксином.

Определение энзиматических свойств непатогенных изолятов. Энзиматические свойства штаммов важны как для фенотипирования штаммов, так и для их дальнейшего использования в биотехнологии. Семь из одиннадцати штаммов секретируют протеазы. Амилолитической активностью обладали штаммы *B. amyloliquefaciens* R06B03 и *B. amyloliquefaciens* D01L2B03, что характерно для данного вида бацилл [26, 27]. Липазная активность была обнаружена у штамма *P. plecoglossica* NE09L2B04 и *R. ruber* D03L2B02. Фиксация атмосферного азота, является признаком, ценным для взаимодействия с растением [28]. Способность фиксировать азот показана для четырех штаммов (табл. 2). Целлюлолитической способностью обладали только бациллярные штаммы (табл. 2), что характерно для микроорганизмов С-цикла [29]. Так же, как и фиксация азота, фитазная активность

улучшает минеральное питание растений [30, 31]. *P. plecoglossicida* NE09L2B04 был единственным штаммом, обладающим фитазной активностью. На основании полученных данных энзиматической

активности наибольшую ценность как симбионты растений могут представлять штаммы *P. plecoglossicida* NE09L2B04, *P. putida* D01L2B02 и *R. ruber* D03L2B02.

Таблица 2 - Энзиматические активности выделенных штаммов

Штамм	Амилаза	Липаза	Протеаза	Фиксация азота	Целлюлаза	Фитаза
<i>B. subtilis</i> R06B01	—	—	+	—	+	—
<i>P. plecoglossicida</i> NE09L2B04	—	+	+	+	—	+
<i>R. phenolicus</i> D03L2B06	—	—	—	—	—	—
<i>P. megaterium</i> PIB04	—	—	—	—	—	—
<i>B. tropicus</i> PIB0314/5	—	—	+	—	+	—
<i>L. macroides</i> NE09B05	—	—	—	+	—	—
<i>P. taichungensis</i> NE09B06	—	—	+	—	+	—
<i>B. amyloliquefaciens</i> R06B03	+	—	+	—	—	—
<i>P. putida</i> D01L2B02	—	—	—	+	—	—
<i>B. amyloliquefaciens</i> D01L2B03	+	—	+	—	+	—
<i>R. ruber</i> D03L2B02	—	+	+	+	—	—

Фитостимулирующие свойства изолятов. Ризосферные микроорганизмы часто выделяют фитогормоны или аналогичные им вещества для стимуляции роста растения-хозяина [32]. Бактериальные агенты, способные стимулировать рост растения также могут быть полезны для повышения эффективности общего процесса фиторемедиации, поскольку в условиях загрязнения часто наблюдается угнетение роста растений [33]. При инокуляции семян томата в случае штаммов *Bacillus tropicus* PIB0314/5,

P. putida D01L2B02, *L. macrolides* NE09B05 и *R. ruber* D03L2B02 показали стимуляцию роста растений, однако только для штамма *B. tropicus* PIB0314/5 эта разница была статистически достоверной (рис. 3А). Инокуляция также приводила к небольшому увеличению роста пшеницы у штаммов *B. tropicus* PIB0314/5, *B. amyloliquefaciens* R06B03 и *L. macroides* NE09B05, однако разница была статистически не достоверной по сравнению с контрольным вариантом (рис. 3Б).

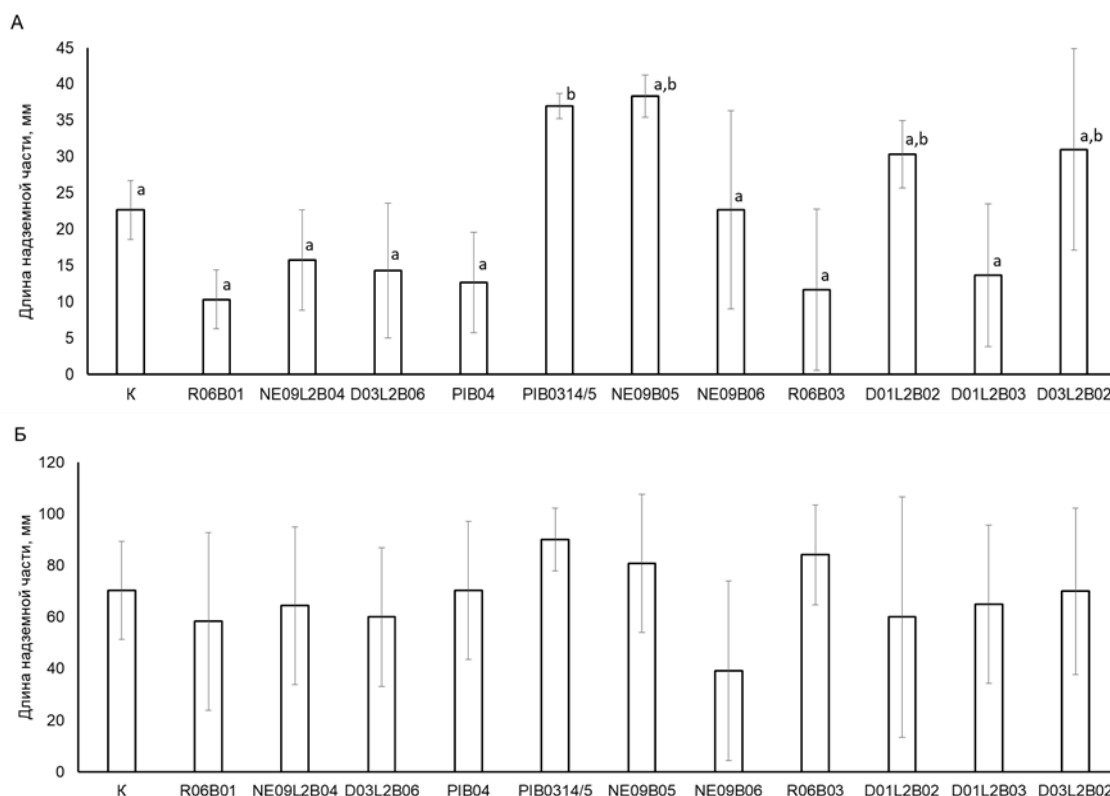


Рис. 3 - Определение фитостимулирующих свойств выделенными бактериальными деструкторами диоксинов штаммов на (А) томате и (Б) пшенице. Одинаковыми строчными латинскими буквами на панели А обозначены статистически не различающиеся варианты

Синтез индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) у выделенных изолятов.

Причиной фитостимулирующих свойств штаммов ризобактерий может быть синтез фитогормонов [34]. Мы анализировали синтез ИУК у выделенных непатогенных штаммов для объяснения фитостимулирующих свойств

штаммов. Результаты анализа показали, что ни один из изолятов не производит ИУК в значительных количествах (табл. 3). Таким образом, выявленный эффект фитостимуляции у штамма *B. tropicus* PIB0314/5, должен быть обусловлен какими-либо другими факторами.

Таблица 3 - Синтез индолил-3-уксусной кислоты

Штамм	Количество синтезируемого ИУК, мкг/мл
<i>B. subtilis</i> R06B01	0,72 ±0,4
<i>P. plecoglossicida</i> NE09L2B04	3,01±2,8
<i>R. phenolicus</i> D03L2B06	3,99±3,2
<i>P. megaterium</i> PI B04	2,48±0,9
<i>B. tropicus</i> PIB0314/5	3,31±2,8
<i>L. macroides</i> NE09B05	1,12±0,2
<i>P. taichungensis</i> NE09B06	0,85±0,7
<i>B. amyloliquefaciens</i> R06B03	0,91±0,2
<i>P. putida</i> D01L2B02	6,19±0,2
<i>B. amyloliquefaciens</i> D01L2B03	10,44±4,1
<i>R. ruber</i> D03L2B02	8,69±1,4

Определение колонизационных свойств непатогенных изолятов

Колонизационные свойства очень важны для штаммов, осуществляющих фитобиоремедиацию, поскольку эффективная колонизация корня растения с одной стороны является средством распространения агента ремедиации в почве, а с другой может частично обеспечивать защиту растения от токсичных веществ. Кроме того, активные колонизаторы могут защищать растение, ослабленное в условиях диоксинового загрязнения, от фитопатогенов, благодаря механизму конкурентной колонизации [35]. Штаммы, принадлежащие к непатогенным видам, выделенные из почвы аэродрома Бен Хоа тестировали на проростках томатов. Наилучшие

результаты показали четыре штамма: *B. amyloliquefaciens* D01L2B03 и *B. tropicus* PIB0314/5, которые колонизовали корни томатов с плотностью $6,25 \times 10^5$ и $2,01 \times 10^5$ клеток/см кончика корня, соответственно, *P. putida* D01L2B02, колонизационные способности которого были ещё выше и составляли $2,80 \times 10^6$ клеток/см и *P. plecoglossicida* NE09L2B04 $3,29 \times 10^5$ клеток/см (рис. 4). Выдающиеся колонизационные способности псевдомонад хорошо известны и описаны на примере штаммов *P. fluorescens* WCS365 [36], *P. fluorescens* PCL1751 [37] или *P. putida* PCL1760 [35]. Остальные тестированные штаммы колонизировали корень томатов с эффективностью 103 – 104 клеток на 1 см кончика корня.

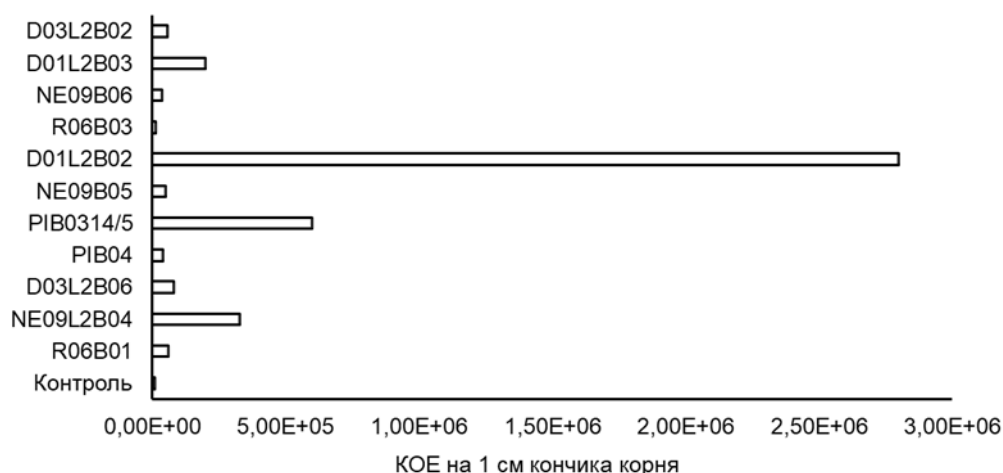


Рис. 4 - Колонизационная активность штаммов деструкторов диоксида. В качестве растения был использован томат сорта Белый налив

Помимо жгутиков, с помощью которых происходит перемещение этих бактерий в жидких средах, они также обладают многочисленными системами хемотаксиса, что позволяет им следовать по градиенту

питательных веществ в корневых экссудатах, эффективно колонизируя корень растения [38]. Представители рода *Bacillus* являются группой микроорганизмов, также широко представленной в ризосфере [39]. Кроме того,

анализ видового состава в почве аэродрома Бьен Хоа показал доминирование бациллярных штаммов (47%), что указывает на их важную роль в микробиоме загрязненных почв. По результатам данного эксперимента штаммы *B. amyloliquefaciens* D01L2B03, *Bacillus tropicus* PIB0314/5 и *P. putida* D01L2B02 можно рассматривать как бактериальные компоненты будущей фиторемедиационной системы.

Выводы. Из почв, загрязнённых диоксинами в районе аэродрома Бьен Хоа (Вьетнам), было выделено 37 бактериальных изолятов, демонстрирующих таксономическое разнообразие с преобладанием грамположительных спорообразующих бактерий родов *Bacillus*, *Priestia*, *Niallia*, а также актиноциетов рода *Rhodococcus*. Несомненно, дальнейшее изучение данных штаммов предполагает, как их полногеномное секвенирование, так и подробное биохимическое описание процесса деградации диоксинов данными штаммами.

Среди выделенных штаммов идентифицированы непатогенные изоляты с комбинацией полезных свойств: способностью к активной колонизации корней растений (*P. putida*

D01L2B02, *B. amyloliquefaciens* D01L2B03, *B. tropicus* PIB0314/5 и *P. plecoglossicida* NE09L2B04), наличием ферментативной активности (*P. plecoglossicida* NE09L2B04, *B. amyloliquefaciens* D01L2B03 и *B. tropicus* PIB0314/5), а также способностью к фиксации атмосферного азота (*P. putida* D01L2B02 и *P. plecoglossicida* NE09L2B04).

Штамм *Bacillus tropicus* PIB0314/5 проявил статистически значимую фитостимулирующую активность на томатах, не связанную с синтезом индолил-3-уксусной кислоты. Поскольку данный микроорганизм не производит фитазу и не фиксирует атмосферный азот, мы предполагаем, что фитостимулирующий эффект данного штамма может быть обусловлен синтезом других стимулирующих веществ, отличных от ИУК.

Полученные штаммы-деструкторы, обладающие колонизационной и фитостимулирующей активностью, такие как *B. tropicus* PIB0314/5, *P. putida* D01L2B02, *B. amyloliquefaciens* D01L2B03 и *P. plecoglossicida* NE09L2B04 являются перспективными кандидатами для разработки микробных препаратов и создания эффективных систем фиторемедиации почв, загрязнённых диоксинами.

Литература

1. Kulkarni P. S., Crespo J. G., Afonso C. A. M. Dioxins sources and current remediation technologies — A review // *Environment International*. 2008. Т. 34, № 1. С. 139–153. doi: 10.1016/j.envint.2007.07.009
2. Mandal P. K. Dioxin: a review of its environmental effects and its aryl hydrocarbon receptor biology // *J Comp Physiol B*. 2005. Т. 175, № 4. С. 221–230. doi: 10.1007/s00360-005-0483-3
3. Kirkok S. K. et al. A review of persistent organic pollutants: dioxins, furans, and their associated nitrogenated analogues // *SN Appl. Sci.* 2020. Т. 2, № 10. С. 1729. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03551-y>
4. Dopico M., Gómez A. Review of the current state and main sources of dioxins around the world // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2015. Т. 65, № 9. С. 1033–1049. doi: 10.1080/10962247.2015.1058869
5. Haemers J. et al. Bien Hoa Dioxin/Agent Orange thermal desorption treatment - Full report. Unpublished, 2022. doi: 10.13140/RG.2.2.13849.70248
6. Wittich R. M. et al. Metabolism of dibenzo-p-dioxin by *Sphingomonas* sp. strain RW1 // *Appl Environ Microbiol*. 1992. Т. 58, № 3. С. 1005–1010. doi: 10.1128/aem.58.3.1005-1010.1992
7. Saibu S., Adebuseye S. A., Oyetibo G. O. Aerobic bacterial transformation and biodegradation of dioxins: a review // *Bioresour. Bioprocess*. 2020. Т. 7, № 1. С. 7. doi: 10.1186/s40643-020-0294-0
8. Field J. A., Sierra-Alvarez R. Microbial degradation of chlorinated dioxins // *Chemosphere*. 2008. Т. 71, № 6. С. 1005–1018. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.10.039
9. Persistent, Bioaccumulative, and Toxic Chemicals I: Fate and Exposure / под ред. Lipnick R. L. et al. Washington, DC: American Chemical Society, 2000. Т. 772.
10. Nguyen B.-A. T. et al. Biodegradation of dioxins by *Burkholderia cenocepacia* strain 869T2: Role of 2-haloacid dehalogenase // *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Т. 401. С. 123347. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123347
11. Pöritz M. et al. *Dehalococcoides mccartyi* Strain DCMB5 Respires a Broad Spectrum of Chlorinated Aromatic Compounds // *Appl Environ Microbiol* / под ред. Löffler F. E. 2015. Т. 81, № 2. С. 587–596. doi: 10.1128/AEM.02597-14
12. Gribble G. W. The diversity of naturally produced organohalogens // *Chemosphere*. 2003. Т. 52, № 2. С. 289–297. doi: 10.1016/S0045-6535(03)00207-8
13. Habe H. et al. Degradation of Chlorinated Dibenzofurans and Dibenzo-*p*-Dioxins by Two Types of Bacteria Having Angular Dioxygenases with Different Features // *Appl Environ Microbiol*. 2001. Т. 67, № 8. С. 3610–3617. doi: 10.1128/AEM.67.8.3610-3617.2001
14. Hong H.-B. et al. Biodegradation of Dibenzo-p-dioxin, Dibenzofuran, and Chlorodibenzo-p-dioxins by *Pseudomonas veronii* PH-03 // *Biodegradation*. 2004. Т. 15, № 5. С. 303–313. doi: 10.1023/b:biod.0000042185.04905.0d
15. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. Т. 67. С. 192–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.024>
16. Bais H. P. et al. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2006. Т. 57, № 1. С. 233–266. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159
17. Berendsen R. L., Pieterse C. M. J., Bakker P. A. H. M. The rhizosphere microbiome and plant health // *Trends in Plant Science*. 2012. Т. 17, № 8. С. 478–486. doi: 10.1016/j.tplants.2012.04.001
18. Weisburg W. G. et al. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study // *J Bacteriol*. 1991. Т. 173,

- № 2. С. 697–703. doi: 10.1128/jb.173.2.697-703.1991
19. Heras J. et al. GelJ – a tool for analyzing DNA fingerprint gel images // BMC Bioinformatics. 2015. Т. 16, № 1. С. 270. doi: 10.1186/s12859-015-0703-0
20. Simons M. Gnotobiotic System for Studying Rhizosphere Colonization by Plant Growth-Promoting *Pseudomonas* Bacteria Gnotobiotic System for Studying Rhizosphere // MPMI. 1996. Т. 9, № 7. С. 600. doi: 10.1094/mpmi-9-0600
21. Gordon S. A., Weber R. P. Colorimetric estimation of indoleacetic acid // Plant Physiol. 1951. Т. 26, № 1. С. 192–195. doi: 10.1104/pp.26.1.192
22. Harms H. et al. Transformation of Dibenzo-*p*-Dioxin by *Pseudomonas* sp. Strain HH69 // Appl Environ Microbiol. 1990. Т. 56, № 4. С. 1157–1159. doi: 10.1128/aem.56.4.1157-1159.1990
23. Nakazawa T. Travels of a *Pseudomonas*, from Japan around the world // Environmental Microbiology. 2002. Т. 4, № 12. С. 782–786. doi: 10.1046/j.1462-2920.2002.00310.x
24. Larkin M. J., Kulakov L. A., Allen C. C. Biodegradation and Rhodococcus – masters of catabolic versatility // Current Opinion in Biotechnology. 2005. Т. 16, № 3. С. 282–290. doi: 10.1016/j.copbio.2005.04.007
25. Chikere C. B., Okpokwasili G. C., Chikere B. O. Monitoring of microbial hydrocarbon remediation in the soil // 3 Biotech. 2011. Т. 1, № 3. С. 117–138. doi: 10.1007/s13205-011-0014-8
26. Yuan S. et al. Improving thermostability of *Bacillus amyloliquefaciens* alpha-amylase by multipoint mutations // Biochemical and Biophysical Research Communications. 2023. Т. 653. С. 69–75. doi: 10.1016/j.bbrc.2023.02.064
27. Du R. et al. Purification and characterization of novel thermostable and Ca-independent α -amylase produced by *Bacillus amyloliquefaciens* BH072 // International Journal of Biological Macromolecules. 2018. Т. 115. С. 1151–1156. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.05.004
28. Smercina D. N. et al. Erratum for Smercina et al., “To Fix or Not To Fix: Controls on Free-Living Nitrogen Fixation in the Rhizosphere” // Appl Environ Microbiol. 2019. Т. 85, № 22. С. e02103-19. doi: 10.1128/AEM.02103-19
29. Johansen J. E., Binnerup S. J. Contribution of Cytophaga-like Bacteria to the Potential of Turnover of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus by Bacteria in the Rhizosphere of Barley (*Hordeum vulgare* L.) // Microbial Ecology. 2002. Т. 43, № 3. С. 298–306. doi: 10.1007/s00248-002-2006-z
30. Kumar V. et al. Isolation of phytase-producing bacteria from Himalayan soils and their effect on growth and phosphorus uptake of Indian mustard (*Brassica juncea*) // World J Microbiol Biotechnol. 2013. Т. 29, № 8. С. 1361–1369. doi: 10.1007/s11274-013-1299-z
31. Gomez-Ramirez L. F., Uribe-Velez D. Phosphorus Solubilizing and Mineralizing *Bacillus* spp. Contribute to Rice Growth Promotion Using Soil Amended with Rice Straw // Curr Microbiol. 2021. Т. 78, № 3. С. 932–943. doi: 10.1007/s00284-021-02354-7
32. Lugtenberg B., Kamilova F. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria // Annu. Rev. Microbiol. 2009. Т. 63, № 1. С. 541–556. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918
33. Xun F. et al. Effect of plant growth-promoting bacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on oats in saline-alkali soil contaminated by petroleum to enhance phytoremediation // Environ Sci Pollut Res. 2015. Т. 22, № 1. С. 598–608. doi: 10.1007/s11356-014-3396-4
34. Ahmed A., Hasnain S. Auxins as One of the Factors of Plant Growth Improvement by Plant Growth Promoting Rhizobacteria // Pol J Microbiol. 2014. Т. 63, № 3. С. 261–266. PMID: 25546935
35. Validov S. et al. Selection of bacteria able to control *Fusarium oxysporum* f. sp. radicle-lycopersici in stone-wool substrate // J Appl Microbiol. 2007. Т. 102, № 2. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03083.x
36. De Weert S. et al. Flagella-Driven Chemotaxis Towards Exudate Components Is an Important Trait for Tomato Root Colonization by *Pseudomonas fluorescens* // MPMI. 2002. Т. 15, № 11. С. 1173–1180. doi: 10.1094/MPMI.2002.15.11.1173
37. Kamilova F. et al. Enrichment for enhanced competitive plant root tip colonizers selects for a new class of biocontrol bacteria // Environmental Microbiology. 2005. Т. 7, № 11. С. 1809–1817. doi: 10.1111/j.1462-2920.2005.00889.x
38. Feng H. et al. Chemotaxis of Beneficial Rhizobacteria to Root Exudates: The First Step towards Root–Microbe Rhizosphere Interactions // IJMS. 2021. Т. 22, № 13. С. 6655. doi: 10.3390/ijms22136655
39. Hashem A., Tabassum B., Fathi Abd_Allah E. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Т. 26, № 6. С. 1291–1297. doi: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Работа была выполнена в рамках Государственного задания ФИЦ КазНИЦ РАН и проекта Эколан Э-2.2: Разработка биопрепаратов для фитобиоремедиации почвы загрязненных диоксинами программы научно-исследовательских и прикладных работ на период 2025-2029 гг., утвержденной Межправительственным Координационным Комитетом по Российско-Вьетнамскому Тропическому центру.

Сведения об авторах:

Нго Као Кьонг - доктор биологических наук, заведующий лабораторией Микробиологии, email: ngosaocuong2011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9286-0571>

Нгуен Тхи Ким Тхань - научный сотрудник, email: kimthanht2301@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9840-7527>

Нгуен Вьет Кьонг - научный сотрудник, email: cuongnguyen300902@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-3309-234>

Ле Ван Тханг - научный сотрудник, email: lethang3128@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8726-0862>

Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам.

Сапармырадов Керемли Ашурмухамедович - кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: saparmuradov.k@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5640-8756>

Комиссаров Эрнест Наилевич - младший научный сотрудник, e-mail: e.komissarov@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5640-8756>

orcid.org/0000-0002-9112-6973

Фролов Михаил Дмитриевич - лаборант-исследователь, e-mail: m.frolov@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6751-436X>

Суханов Артемий Юрьевич - младший научный сотрудник, e-mail: ay.sukhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8697-9616>

Трахтман Наталия Викторовна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: n.trahman@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3291-8329>

Валидов Шамиль Завдатович - PhD в биологии, заведующий лабораторией МГММ, e-mail: sh.validov@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9441-409X>

Федеральный Исследовательский Центр «Казанский Научный Центр Российской Академии Наук», Казань, Россия.

ISOLATION OF MICROORGANISMS FROM SOIL CONTAMINATED WITH DIOXINS

Ngo Cao C., Nguen Thi Kim T., Nguen Viet K., Le Van T., K. A. Saparmyradov,
E. N. Komissarov, M. D. Frolov, A. Yu. Sukhanov, N. V. Trakhtman, Sh. Z. Validov

Abstract. Soil pollution with dioxins is a serious environmental problem, especially in Vietnam, where the military use of herbicides by the US Army has led to long-term contamination. Existing physicochemical remediation methods are ineffective for large areas, which makes it urgent to develop biological approaches, particularly phytoremediation using microbial destructors. The aim of this study was to isolate bacterial strains capable of dioxin degradation from contaminated soils at Bien Hoa Airfield (Vietnam) and evaluate their potential for phytoremediation. Thirty-seven morphologically distinct isolates were isolated using selection methods on a medium containing 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin. Taxonomic analysis using the 16S rRNA gene revealed a predominance of gram-positive spore-forming bacteria of the genera *Bacillus*, *Priestia*, and *Niallia* (approximately 41%) and actinomycetes of the genus *Rhodococcus* (approximately 14%). Box-PCR genotyping confirmed the genetic diversity of the collection. Non-pathogenic strains were selected, including active tomato root colonizers (*Pseudomonas putida* D01L2B02, *Bacillus amyloliquefaciens* D01L2B03, *Bacillus tropicus* PIB0314/5), possessing a complex of enzymatic activities (protease, amylase, lipase, phytase) and the ability to fix nitrogen. *B. tropicus* PIB0314/5 demonstrated a statistically significant phytostimulating effect on tomatoes. The results indicate that the isolated native bacterial strains are promising candidates for the development of microbial preparations and the creation of effective phytoremediation systems for soils contaminated with dioxins.

Key words: dioxins, plant colonization, plant growth stimulation, phytobioremediation, IAA.

For citation: Ngo Cao C., Nguen Thi Kim T., Nguen Viet K., Le Van T., Saparmyradov K.A., Komissarov E.N., Frolov M.D., Sukhanov A.Yu., Trakhtman N.V., Validov Sh.Z. Isolation of microorganisms from soil contaminated with dioxins. Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 4(16). 73-84 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-4-73-84>

References

1. Kulkarni PS, Crespo JG, Afonso CAM. Dioxins sources and current remediation technologies: a review. *Environment International*. 2008; Vol.34. 1. 139-153 p. doi: 10.1016/j.envint.2007.07.009
2. Mandal PK. Dioxin: a review of its environmental effects and its aryl hydrocarbon receptor biology. *J Comp Physiol B*. 2005; Vol.175. 4. 221-230 p. doi: 10.1007/s00360-005-0483-3
3. Kirkok SK. A review of persistent organic pollutants: dioxins, furans, and their associated nitrogenated analogues. *SN Appl. Sci*. 2020; Vol.2. 10. 1729 p. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03551-y>
4. Dopico M, Gomez A. Review of the current state and main sources of dioxins around the world. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2015; Vol.65. 9. 1033-1049 p. doi: 10.1080/10962247.2015.1058869
5. Haemers J. Bien Hoa Dioxin/Agent Orange thermal desorption treatment - Full report. Unpublished. 2022; doi: 10.13140/RG.2.2.13849.70248
6. Wittich RM. Metabolism of dibenzo-p-dioxin by *Sphingomonas sp.* strain RW1. *Appl Environ Microbiol*. 1992; Vol.58. 3. 1005-1010 p. doi: 10.1128/aem.58.3.1005-1010.1992
7. Saibu S, Adebosoye SA, Oyetibo GO. Aerobic bacterial transformation and biodegradation of dioxins: a review. *Bioresour. Bioprocess*. 2020; Vol.7. 1. 7 p. doi: 10.1186/s40643-020-0294-0
8. Field JA, Sierra-Alvarez R. Microbial degradation of chlorinated dioxins. *Chemosphere*. 2008; Vol.71. 6. 1005-1018 p. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.10.039
9. Lipnick RL. Persistent, bioaccumulative, and toxic chemicals I: Fate and Exposure. Washington, DC: American Chemical Society. 2000; Vol. 772.
10. Nguyen BAT. Biodegradation of dioxins by *Burkholderia cenocepacia* strain 869T2: Role of 2-haloacid dehalogenase. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; Vol.401. 123347 p. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123347
11. Poritz J, Loffler FE. *Dehalococcoides mccartyi* Strain DCMB5 respire a broad spectrum of chlorinated aromatic compounds. *Appl Environ Microbiol*. 2015; Vol.81. 2. 587-596 p. doi: 10.1128/AEM.02597-14
12. Gribble GW. The diversity of naturally produced organohalogenes. *Chemosphere*. 2003; Vol.52. 2. 289-297 p. doi: 10.1016/S0045-6535(03)00207-8
13. Habe H. Degradation of chlorinated Dibenzofurans and Dibenzo-*p*-dioxins by two types of bacteria having angular dioxygenases with different features. *Appl Environ Microbiol*. 2001; Vol.67. 8. 3610-3617 p. doi: 10.1128/AEM.67.8.3610-3617.2001
14. Hong HB. Biodegradation of Dibenzo-p-dioxin, Dibenzofuran and Chlorodibenzo-p-dioxins by *Pseudomonas veronii* PH-03. *Biodegradation*. 2004; Vol.15. 5. 303-313 p. doi: 10.1023/b:biod.0000042185.04905.0d
15. Blagodatskaya E, Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013; Vol.67. 192-211 p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.024>
16. Bais HP. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol*. 2006; Vol.57. 1. 233-266 p. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159
17. Berendsen RL, Pieterse CMJ, Bakker PAHM. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*. 2012; Vol.17. 8. 478-486 p. doi: 10.1016/j.tplants.2012.04.001
18. Weisburg WG. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. *J Bacteriol*. 1991; Vol.173. 2. 697-703 p. doi: 10.1128/jb.173.2.697-703.1991
19. Heras J. GelJ - a tool for analyzing DNA fingerprint gel images. *BMC Bioinformatics*. 2015; Vol.16. 1. 270 p. doi: 10.1186/s12859-015-0703-0

20. Simons M. Gnotobiotic system for studying rhizosphere colonization by plant growth-promoting *Pseudomonas* bacteria gnotobiotic system for studying rhizosphere. MPMI. 1996; Vol.9. 7. 600 p. doi: 10.1094/mpmi-9-0600
21. Gordon SA, Weber RP. Colorimetric estimation of indoleacetic acid. Plant Physiol. 1951; Vol.26. 1. 192-195 p. doi: 10.1104/pp.26.1.192
22. Harms H. Transformation of Dibenzo- *p* -Dioxin by *Pseudomonas* sp. Strain HH69. Appl Environ Microbiol. 1990; Vol.56. 4. 1157-1159 p. doi: 10.1128/aem.56.4.1157-1159.1990
23. Nakazawa T. Travels of a *Pseudomonas*, from Japan around the world. Environmental Microbiology. 2002; Vol.4. 12. 782-786 p. doi: 10.1046/j.1462-2920.2002.00310.x
24. Larkin MJ, Kulakov LA, Allen CC. Biodegradation and Rhodococcus – masters of catabolic versatility. Current Opinion in Biotechnology. 2005; Vol.16. 3. 282-290 p. doi: 10.1016/j.copbio.2005.04.007
25. Chikere CB, Okpokwasili GC, Chikere BO. Monitoring of microbial hydrocarbon remediation in the soil. 3 Biotech. 2011; Vol.1. 3. 117-138 p. doi: 10.1007/s13205-011-0014-8
26. Yuan S. Improving thermostability of *Bacillus amyloliquefaciens* alpha-amylase by multipoint mutations. Biochemical and Biophysical Research Communications. 2023; Vol.653. 69-75 p. doi: 10.1016/j.bbrc.2023.02.064
27. Du R. Purification and characterization of novel thermostable and Ca-independent α -amylase produced by *Bacillus amyloliquefaciens* BH072. International Journal of Biological Macromolecules. 2018; Vol.115. 1151-1156 p. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.05.004
28. Smercina DN. Erratum for Smercina. To fix or not to fix: controls on free-living nitrogen fixation in the rhizosphere. Appl Environ Microbiol. 2019; Vol.85. 22. e02103-19 p. doi: 10.1128/AEM.02103-19
29. Johansen JE, Binnerup SJ. Contribution of Cytophaga-like bacteria to the potential of turnover of carbon, nitrogen, and phosphorus by bacteria in the rhizosphere of Barley (*Hordeum vulgare* L.). Microbial Ecology. 2002; Vol.43. 3. 298-306 p. doi: 10.1007/s00248-002-2006-z
30. Kumar V. Isolation of phytase-producing bacteria from Himalayan soils and their effect on growth and phosphorus uptake of Indian mustard (*Brassica juncea*). World J Microbiol Biotechnol. 2013. Vol.29. 8. 1361-1369 p. doi: 10.1007/s11274-013-1299-z
31. Gomez-Ramirez LF, Uribe-Velez D. Phosphorus solubilizing and mineralizing *Bacillus* spp. contribute to rice growth promotion using soil amended with rice straw. Curr Microbiol. 2021; Vol.78. 3. 932-943 p. doi: 10.1007/s00284-021-02354-7
32. Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annu. Rev. Microbiol. 2009; Vol.63. 1. 541-556 p. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918
33. Xun F. Effect of plant growth-promoting bacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on oats in saline-alkali soil contaminated by petroleum to enhance phytoremediation. Environ Sci Pollut Res. 2015; Vol.22. 1. 598-608 p. doi: 10.1007/s11356-014-3396-4
34. Ahmed A, Hasnain S. Auxins as one of the factors of plant growth improvement by plant growth promoting rhizobacteria. Pol J Microbiol. 2014; Vol.63. 3. 261-266 p. PMID: 25546935
35. Validov S. Selection of bacteria able to control *Fusarium oxysporum* f. sp. radicis-lycopersici in stonewool substrate. J Appl Microbiol. 2007; Vol.102. 2. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03083.x
36. De Weert S. Flagella-driven chemotaxis towards exudate components is an important trait for tomato root colonization by *Pseudomonas fluorescens*. MPMI. 2002; Vol.15. 11. 1173-1180 p. doi: 10.1094/MPMI.2002.15.11.1173
37. Kamilova F. Enrichment for enhanced competitive plant root tip colonizers selects for a new class of biocontrol bacteria. Environmental Microbiology. 2005; Vol.7. 11. 1809-1817 p. doi: 10.1111/j.1462-2920.2005.00889.x
38. Feng H. Chemotaxis of beneficial rhizobacteria to root exudates: the first step towards root-microbe rhizosphere interactions. IJMS. 2021; Vol.22. 13. 6655 p. doi: 10.3390/ijms22136655
39. Hashem A, Tabassum B, Fathi Abd Allah E. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. Saudi Journal of Biological Sciences. 2019; Vol.26. 6. 1291-1297 p. doi: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest. This work was carried out within the framework of the State Assignment of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and Ecolan E-2.2 project: Development of biopreparations for phytobioremediation of soil polluted with dioxins, part of the research and applied work program for the period from 2025 to 2029, approved by Intergovernmental Coordination Committee for the Russian-Vietnamese Tropical Center.

Authors:

Ngo Cao Cuong - Doctor of Biological Sciences, Head of Microbiology Laboratory, email: ngocaocuong2011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9286-0571>
 Nguen Thi Kim Thanh - researcher, email: kimthanht2301@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9840-7527>
 Nguen Viet Cuong - researcher, email: cuongnguyen300902@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-3309-234>
 Le Van Thang - researcher, email: lethang3128@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8726-0862>
 Joint Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Center, Hanoi, Vietnam.
 Saparmuradov Keremli Ashurmukhamedovich – Ph.D. of Biological Sciences, researcher, e-mail: saparmuradov.k@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5640-8756>
 Komissarov Ernest Nailevich - junior researcher, e-mail: e.komissarov@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9112-6973>
 Frolov Mikhail Dmitrievich - Laboratory Research Assistant, e-mail: m.frolov@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6751-436X>
 Sukhanov Artemiy Yurevich - junior researcher, e-mail: ay.sukhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8697-9616>
 Trakhtman Nataliya Viktorovna – Ph.D. of Biological Sciences, senior researcher, e-mail: n.trakhtman@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3291-8329>
 Validov Shamil Zavdatovich – Ph.D. of Biological Sciences, Head of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: sh.validov@knc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9441-409X>
 Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia.

Требования к оформлению статьи в журнале «АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ»

Предоставляемые к публикации статьи, должны содержать результаты научных исследований в области сельскохозяйственной биотехнологии, агрономии, зоотехнии, ветеринарии и цифрового земледелия. Статьи проходят отбор на критерий актуальности и новизны рассматриваемых научных проблем. Журнал имеет следующие основные рубрики:

- Сельскохозяйственная биология
- Агрономия
- Зоотехния и ветеринария
- Цифровое сельское хозяйство.

Предполагается проверка предоставленного авторами материала в системе «Антиплагиат». Рекомендуемый объем статьи, включая приложения, должен составлять не менее 10 и не более 14 страниц. Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, размер – 14 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля (обычные) сверху и снизу – 2 см, слева – 2,5 см справа – 1,5 см, абзац (отступ) – 0,5 см (не задавать пробелами), формат – книжный.

Если статья была или будет отправлена в другое издание, то она не может быть принята к рассмотрению в журнале.

Оформление статьи

1. Слева в верхнем углу без абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского Института Научной и Технической Информации – ВИ-НиТИ).

2. Ниже, по центру строки название статьи (название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом заглавными буквами.

3. Затем жирными строчными буквами – фамилия и инициалы автора(ов). Пропускается одна строка. **Рекомендуемое количество авторов не более 5.** Список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также те, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали согласие на ее публикацию.

4. После этого через пробел – реферат статьи (**рекомендуемый объем – 200–250 слов**) отражает тематику статьи, ценность, новизну, основные положения и выводы исследований. Запрещается разбивка реферата на абзацы, использование вводных слов и оборотов. Реферат может публиковаться самостоятельно и, следовательно, должна быть понятной без обращения к тексту статьи. По реферату публикации читатель должен иметь возможность определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации.

5. С нового абзаца – ключевые слова (**не более 9 слов**).

Слева строчными буквами печатается «Ключевые слова:» (без кавычек) и через запятую приводятся ключевые слова или словосочетания. Пропускается одна строка.

6. При написании научной статьи необходимо придерживаться следующей структуры изложения: «**Введение**», «**Цель исследований**», «**Условия, материалы и методы**», «**Результаты и обсуждение**», «**Выводы**».

7. В случае если ваша статья подготовлена при поддержке и есть необходимость прописать данный источник, добавляем после выводом раздел, «**Благодарности**». **К примеру – Сведения об источнике финансирования:** Работа выполнена по государственному заданию НИОКТР № 0477–2019–0005 при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

В разделе «Введение» предлагается постановка проблемы, должна быть сформулирована и обоснована цель работы и, если необходимо, рассмотрена ее связь с важными научными и практическими направлениями, дается теоретическое обоснование исследования. Должны присутствовать ссылки на публикации последних лет, в данной области включая зарубежных авторов.

Далее необходимо четко сформулировать **цель исследований** (для чего проводятся исследования результаты, которых приводятся в статье?) без использования таких расплывчатых формулировок как «изучить», «определить» и др., которая будет раскрыта в последующем тексте.

В следующем разделе раскрываются особенности данного исследования, приводятся условия, материалы и методы исследований. Место исследования уточняется до области (края). Следует отразить время, место, методику и условия проведения опытов.

Главный раздел статьи посвящается представлению, анализу и обсуждению результатов. Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

В завершении представляются выводы и рекомендации.

Подзаголовки и заголовки набираются жирным шрифтом с заглавной буквы. Нумерация ссылок на библиографический список в тексте располагается в порядке упоминания источников. Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например: [1].

8. После основного текста статьи пропускается одна строка и по центру печатается заглавие «Литература» (без кавычек). Через одну строку помещается пронумерованный перечень источников в порядке ссылок по тексту.

Список литературы (не менее 15 источников и не более 30) оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и требованиями журнала, тщательно проверяется авторами и приводится в конце статьи. Нумерация ссылок в списке приводится в соответствии с порядком их упоминания в тексте. В одном пункте перечня следует указывать только один источник информации. Злоупотребление самоцитированием не допускается. Доля ссылок на собственные публикации авторов должна составлять не более 30 % списка литературы. Цитирование работ какого-либо одного автора, не входящего в состав авторского коллектива рукописи, также не должно превышать 30 %. Рекомендуется ссылаться не более чем на 2 публикации каждого из авторов. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна превышать 30 % списка литературы. Доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должна составлять не менее 30 % списка литературы. Ссылки на материалы конференций старше 3 лет не должны превышать 20 % списка литературы. Ссылки на учебники, учебные пособия, авторефераты диссертаций не принимаются. Число источников в «серийных» списках должно быть не более трех.

Все источники должны иметь ссылку в тексте статьи.

Необходимо правильно оформить ссылку на источник. Следует указать фамилии авторов, журнал, год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки.

Примеры оформления ссылок в конце документа.

9. «Сведения об авторах» Ф.И.О. (полностью), ученая степень, должность, e-mail, с новой строки, полное наименование организации. **Звездочкой отмечается фамилия автора, с которым необходимо вести переписку.**

Пропускается одна строка.

10. На английском языке печатается по центру печатается название статьи.

Так же на английском языке слева печатается реферат, затем ключевые слова.

11. «Authors:» – информация на английском языке.

Иллюстрации к статье (при наличии) в формате JPEG, PNG, TIF должны быть четко выполненными, хорошего качества, наглядно иллюстрирующими текст. В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Нумерация рисунков производится в порядке ссылок по тексту. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру. Тематический заголовок в той же строке, сразу после нумерационного (например: Рис. 1 – Ссылка на рисунок в основном тексте оформляется в скобках: (рис. 1), если в тексте только один рисунок, то не нумеруется.

Таблицы представляются в редакторе WORD. Нумерация таблиц производится в порядке ссылок по тексту. В тексте статьи обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные таблицы. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру (например: Таблица 1. ...). Ссылка на таблицу в основном тексте оформляется в скобках, например: (табл. 1), если в тексте только одна таблица, то не нумеруется.

Простые формулы, не содержащие специальных символов (отсутствующих на клавиатуре), должны быть набраны символами с клавиатуры без использования специальных редакторов. Формулы, содержащие специальные символы (отсутствующие на клавиатуре), а также сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул Microsoft Equation 2.0, 3.0 или Math Type equation. Не допускается набор части формулы символами, а части – в редакторе формул. Не рекомендуется вставлять в текст формулы в виде рисунков. Ссылка на формулы в основном тексте оформляется в скобках, например: (1). В тексте обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные формулы. Если в тексте статьи формулы нумеруются, то эту нумерацию следует выполнить ручным набором чисел. Автоматическая нумерация не допускается.

Авторы предоставляют в редакцию (одновременно):

– электронная версия статьи (по электронной почте: agrobiotech@kazgau.com). Файл со статьей следует называть по фамилии первого автора (Иванов И.И. – Определение силы);

– сведения об авторах (в электронном виде): Ф.И.О. (полностью), ученая степень, учёное звание, должность, полное наименование организации, телефон и адрес для связи, e-mail; эти же сведения на английском языке. **Звездочкой отмечается фамилия автора, с которым необходимо вести переписку;**

– сопроводительное письмо на имя главного редактора журнала;

– аспиранты предоставляют справку подтверждающую место учебы.

Поступившие и принятые к публикации статьи не возвращаются.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию, представленная автором рукопись статьи рецензируется, согласно установленного порядка рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного

редактора), а при необходимости – редколлегией в целом.

Редакция оставляет за собой право не регистрировать статьи, не отвечающие настоящим требованиям, а также право на воспроизведение материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража. Рукописи статей подвергаются редакционной обработке. Редакция оставляет за собой право вносить изменения, имеющие редакционный характер и не затрагивающие содержания статьи. Все статьи проходят институт рецензирования (экспертной оценки), по результатам которого редакционная коллегия принимает окончательное решение о целесообразности опубликования. За содержание статей юридическую и иную ответственность несут авторы. Статьи, направленные в редакцию без выполнения основных требований к публикуемым статьям, не рассматриваются. В случае отклонения статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

Публикация статей в журнале платно.

Статьи необходимо отправлять на электронный адрес: **agrobiotech@kazgau.com**

Научный журнал

**Агробιοтехнологии
и цифровое земледелие**
№ 4 (16), 2025 г.

Редактор – Михайлова Л.В.
Технический редактор – Шумков Т.А.
Коррекция переводов – Галлямова Н.Р.
Корректор – Барсукова Р.С.

Формат 60x84/8. Тираж 500. Дата выхода в свет: 29.12.2025 год
Печать офсетная. Усл. п. л. 11 Заказ 39. 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