

Агробитехнологии и цифровое земледелие



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (14) 2025 год



ISSN 2782-490X

DOI 10.12737/2782-490X-2025-4-2



АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

AGROBIOTECHNOLOGIES AND DIGITAL FARMING

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 2 (14)



Казань, 2025

Агробιοтехнологии и цифровое земледелие

научный журнал

Институт агробιοтехнологий и землепользования

Казанского государственного аграрного университета



№ 2 (14)
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 растение-
водство (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, биологиче-
ские науки);
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормле-
ние, технологии приготовления
кормов и производства продукции
животноводства
(сельскохозяйственные науки,
биологические науки);
- 4.2.5. Разведение, селекция, генети-
ка 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:

Валиев 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, Институт агробιοтехнологий 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, 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

Осилов 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 «Шёлково 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. Выхлебского (Белоруссия)

Надежкин 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)

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

©Агробιοтехнологии и цифровое земледелие, 2025



№ 2 (14)
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 Agrobiotechnologies 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, Kazan Scientific Center of Russian Academy of Science

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

Panasyyuk 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. Vyshel'sky (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

Амиров М. Ф., Семенов П. Г., Шаймуллина Г.Х. Влияние эндофитных бактерий рода <i>Bacillus</i> на продуктивность яровой пшеницы.....	стр. 6
Амиров М.Ф., Сулейманов Р.Р. Формирование урожайности многорядного ярового ячменя в зависимости от внесения влагосорбента и минеральных удобрений в условиях Республики Татарстан	13
Гаффарова Л.Г., Смирнова Е.В., Матвеева А.И. Вариабельность агрохимических показателей и урожайность яровой пшеницы в Высокогорском районе Республики Татарстан.....	21
Михайлова М.Ю., Шарафиева И.З. , Капустин Д.Ю. Зависимость урожайности кукурузы на зерно от агрометеорологических показателей в условиях Республики Татарстан.....	27
Погодина А.В. Организация территории полевых севооборотов, насыщенных кружными культурами и экономика применения агрохимикатов при возделывании полбы.....	34
Сабирова Р. М., Вафин И. Х., Сафин Р.И. Влияние приемов биологизации и систем обработки почвы на формирование урожая озимой пшеницы.....	40
Сержанов И.М., Шайхутдинов Ф.Ш., Гараев Р.И., Ногуманов И.З., Закеев Л.Р. Влияние предшественников и способы посева на продуктивность яровой пшеницы в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан	48

ЗООТЕХНИКА И ВЕТЕРИНАРИЯ

Шайдуллин Р.Р., Загидуллин Л.Р., Шамаева Э.В. Изменчивость показателей молочной продуктивности у молочного скота разных пород и генотипов	53
---	----

ЦИФРОВОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Каличкин В.К., Донченко А.С., Голохваст К.С. Формирование системы цифрового управления земледелием на основе мониторинга и длительных полевых опытов.....	58
Трофимов Н.В., Яхин И.Ф. Проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве.....	69

CONTENTS

AGRONOMY

Pages

Amirov M.F., Semenov P.G., Shaymullina G.Kh. Study of endophytic bacteria influence of <i>Bacillus</i> genus on spring wheat productivity.....	6
Amirov M.F., Suleimanov R.R. Formation of the multi-row spring barley productivity depending on the application of moisture sorbent and mineral fertilizers in the conditions of the Republic of Tatarstan.....	13
Gaffarova L.G., Smirnova E.V., Matveeva A.I. Variability of agrochemical indicators and spring wheat yield in Vysokogorskiy district of the Republic of Tatarstan.....	21
Mikhaylova M.Yu., Sharafieva I.Z., Kapustin D.Yu. Dependence of corn yield on agrometeorological indicators in the Republic of Tatarstan.....	27
Pogodina A.V. Organization of the territory of field crop rotations saturated with cereal crops and economics of the use of agrochemicals in spelt cultivation.....	34
Sabirova R.M., Vafin I.Kh., Safin R.I. Influence of biologization methods and soil cultivation systems on winter wheat crop formation.....	40
Serzhanov I.M., Shaykhutdinov F.Sh., Garaev R.I., Nogumanov I.Z., Zakiev L.R. The influence of predecessors and sowing methods on the productivity of spring wheat in the conditions of the Predkama zone of the Republic of Tatarstan	48

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDECINE

Shaydullin R.R., Zagidullin L.R., Shamaeva E.V. Variability of milk productivity indicators in dairy cattle of different breeds and genotypes.....	53
---	----

DIGITAL AGRICULTURE

Kalichkin V.K., Donchenko A.S., Golokhvast K.S. Formation of a digital agriculture management system based on monitoring and long-term field experiments.....	58
Trofimov N.V., Yakhin I.F. Problems and prospects of using unmanned aerial vehicles in agriculture.	69

ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

М.Ф. Амиров, П.Г. Семенов, Г.Х. Шаймуллина

Реферат. В ходе научного исследования изучалось влияние биопрепаратов на рост и развитие яровой пшеницы сорта Экада 109 (*Triticum aestivum* L.). Особое внимание уделялось обработке семян и вегетирующих растений штаммами эндофитных бактерий *Bacillus velezensis* KS-25 и *Bacillus velezensis* KS-31. Работа проводилась в 2023–2024 годах на опытных полях ООО «Агробιοтехнопарк», входящего в структуру Казанского государственного аграрного университета. Агрохимический анализ почвы показал содержание гумуса на уровне 3,0%, количество подвижного фосфора составило 250 мг/кг (по Кирсанову), а обменного калия – 170 мг/кг, pH — 6,6. Схема опыта: контроль (без обработки); инокуляция семян KS-25 (1 л/т); инокуляция семян KS-31 (1 л/т); листовая обработка KS-25 (1 л/га); листовая обработка KS-31 (1 л/га). Предусматривалась четырёхкратная повторность с последовательным размещением делянок, площадь каждой из которых составляла 24 м². Результаты исследований выявили положительное влияние обработки семян штаммом KS-25 (доза 1 л/т) на накопление сухой биомассы корней и стеблей в течение двух вегетационных сезонов. В 2023 году прирост сухой массы корневой системы достиг 0,13 г, а надземной части – 0,66 г. В 2024 году динамика сохранилась: показатели составили 0,15 г для корней и 0,64 г для стеблей. Применение штамма KS-31 (доза 1 л/га) способствовало повышению сохранности всходов на 2,9% относительно контроля. Проведенные исследования выявили положительное влияние обработки семян изучаемым штаммом на продуктивность яровой пшеницы. В частности, применение препарата в дозировке 1 л/т способствовало увеличению количества продуктивных стеблей на единицу площади. Наибольшая масса зерна с колоса (0,84 г) зафиксирована при обработке KS-25 (1 л/га), что статистически значимо (НСР₀₅=0,04). Максимальная урожайность достигнута при применении KS-31 (1 л/т) — 4,05 т/га (+0,44 т/га к контролю, 12,1%). Содержание сырой клейковины увеличилось на 4,1% при использовании KS-25 и KS-31 (1 л/га).

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), эндофитные бактерии, Экада 109, урожайность, сухая масса, *Bacillus*.

Для цитирования: Амиров М.Ф., Семенов П.Г., Шаймуллина Г.Х. Влияние эндофитных бактерий рода *Bacillus* на продуктивность яровой пшеницы // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2 (14). С. 6-12

Введение. На сегодняшний день химические средства защиты растений являются основным инструментом в борьбе с вредными организмами. Их применение позволяет ежегодно сохранять 17-18 миллионов тонн зерна [1, 2, 3]. Однако у химических средств защиты растений существует серьёзная проблема – накопление резистентности к пестицидам [4, 5, 6]. Также важной проблемой является экологическая и токсикологическая безопасность этих средств. Поэтому поиск альтернатив, таких как биологические препараты, становится особенно актуальным [7, 8, 9].

С развитием сельского хозяйства в России активно проводятся научные исследования по созданию биологических препаратов. Для этого создаются научные центры, занимающиеся разработкой этих препаратов и технологий их применения [10, 11].

На сегодняшний день большой интерес у сельскохозяйственных товаропроизводителей вызывают препараты на основе эндофитных бактерий рода *Bacillus* [12, 13, 14]. Эти препараты безопасны для человека, животных и окружающей среде, а также обладают селективным действием, что является немаловажным фактором.

Эндофитные бактерии рода *Bacillus* способствуют растениям в усвоении питательных веществ из почвы и стимулируют их рост за счёт синтеза ростостимулирующих

фитогормонов, таких как индол-3-уксусная кислота (ИУК), гиббереллины и цитокинины. Например, *Bacillus subtilis* усиливает доступность фосфора и азота для растений, выделяя органические кислоты и ферменты (например, фосфатазы), которые растворяют минеральные соединения в почве. Кроме того, эти бактерии синтезируют сидерофоры — низкомолекулярные хелаторы железа, что повышает усвоение железа в условиях его дефицита. Защитная функция *Bacillus* реализуется через несколько механизмов. Во-первых, они продуцируют антибиотики (например, бацитрацин, фенигицин), подавляющие рост фитопатогенных грибов и бактерий. Во-вторых, бактерии выделяют литические ферменты (хитиназы, глюканазы), разрушающие клеточные стенки патогенов. Например, хитиназы *Bacillus amyloliquefaciens* деградируют хитин в клеточных стенках грибов рода *Fusarium*, предотвращая их развитие [15, 16, 17].

Эндофитные бактерии могут оказывать положительное влияние на зерновые культуры, в частности на пшеницу. Они стимулируют рост растений, повышают их устойчивость к различным стрессам, включая абиотические, и способствуют улучшению общего состояния растений. Эти бактерии помогают укрепить защитные механизмы пшеницы, что в свою очередь может привести к увеличению урожайности

и улучшению качества зерна [18, 19].

Основной целью нашего исследования являлась оценка влияния агробιοтехнологических методов, включающих предпосевную обработку семян и внекорневое внесение биопрепаратов в течение вегетационного периода, на ростовые процессы и урожайность яровой пшеницы. В рамках эксперимента изучались реакции растений на применение биологических составов, направленных на оптимизацию ростовых процессов и продуктивности сельскохозяйственной культуры.

Условия, материалы и методы. В качестве объекта исследования использовалась яровая пшеница сорта Экада 109 (*Triticum aestivum* L.). Исследования проводились в 2023–2024 годах на экспериментальных полях ООО «Агробιοтехнопарк» с. Нармонка Лаишевского района, Республики Татарстан. (научно-производственная база Казанского государственного аграрного университета). Почвенные условия участка представлены серыми лесными почвами, характерными для данного агроэкологического региона. Агрохимический анализ пахотного слоя выявил следующие показатели:

содержание гумуса – 3,0% (по Тюрину);
уровень подвижного фосфора (по Кирсанову) – 250 мг/кг (очень высокий);
обменного калия – 170 мг/кг (повышенное содержание);
реакция почвенной среды (рН солевой вытяжки) – 6,6 (близкая к нейтральной).

Объектом изучения выступили два штамма эндофитных бактерий *Bacillus velezensis* (KS-25 и KS-31), выделенные из ризосферы пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в агроэкосистемах Республики Татарстан. Предварительно отобранные по результатам лабораторных тестов, подтвердивших их ростостимулирующую активность в отношении проростков пшеницы.

Схема опыта включала пять вариантов:

1. Контроль (без обработки биопрепаратами);
2. Инокуляция семян штаммом KS-25 (1 л/т семян);
3. Инокуляция семян штаммом KS-31 (1 л/т семян);
4. Листовая обработка вегетирующих растений KS-25 (1 л/га);
5. Листовая обработка вегетирующих растений KS-31 (1 л/га).

В ходе исследования посевы обрабатывали биопрепаратами в фазе выхода растений в трубку. Для обеспечения надёжности результатов полевые испытания повторяли четыре раза. Экспериментальные участки располагались последовательно, каждый имел общую площадь 24 м², из которых 20 м² были учётными. Предшествующей культурой на этих участках был чистый пар. В ходе вегетационного периода яровой пшеницы на этапе кущения осуществлялась гербицидная обработка,

включающей препараты Ластик Экстра КЭ (на основе этофумезата), которую применяли в дозе 1,5 л/га, и Балерина Супер СЭ (метсульфурон-метил + тритосульфурон), которую вносили в дозе 0,20 л/га в фазу кущения яровой пшеницы. Для комплексной оценки эффективности изучаемых агроприемов проводился детальный анализ продуктивности агрофитоценоза, включающий:

определение сохранности растений к уборке;

учет коэффициента продуктивной кустистости;

измерение массы 1000 зерен;

вычисление элементов структуры урожая.

Все исследования проводились в строгом соответствии с методическими рекомендациями Госсортокмиссии РФ. Содержание сырой клейковины определяли согласно ГОСТ 13586.1-2018 «Зерно. Метод определения количества и качества клейковины в пшенице» с использованием лабораторной мельницы и клейковиномоечного аппарата. Уборочные работы проводились при достижении зерном физиологической спелости (фаза восковой спелости, влажность зерна 14%) с использованием зерноуборочного комбайна САМПО-500. Математическая обработка экспериментальных данных выполнялась с применением современных статистических методов. Проведен однофакторный дисперсионный анализ по методике, разработанной профессором Доспеховым Б.А., с последующей оценкой достоверности различий по критерию Стьюдента при 5%-ном уровне значимости.

Агрометеорологические условия в 2023 году оказали выраженное влияние на формирование урожая зерновых культур. Аномалии термического режима в апреле (+6,7°C к климатической норме) спровоцировали интенсивное снеготаяние, что позволило начать посевные работы 25 апреля – на две недели раньше среднестатистических сроков. Майская температура превысила многолетние значения на 1,6°C, создав оптимальные условия для ускоренного развития вегетативной массы пшеницы. Однако в июне наблюдался экстремальный дефицит осадков (11% от нормы), приведший к почвенной засухе. В июле 78% месячной нормы осадков выпало в третьей декаде на фоне понижения температуры, что замедлило налив зерна. В 2024 году погодные факторы также создали стрессовые условия для агроценозов. Первая половина мая характеризовалась пониженными температурами (на 2,1°C ниже нормы), сменившейся резким потеплением в последней декаде (+3,3°C к средним показателям). Осадки в мае соответствовали средне-многолетним значениям, но июньский дефицит влаги (27% от нормы) усилил негативное воздействие на критическую фазу колошения (рис.1).

АГРОНОМИЯ

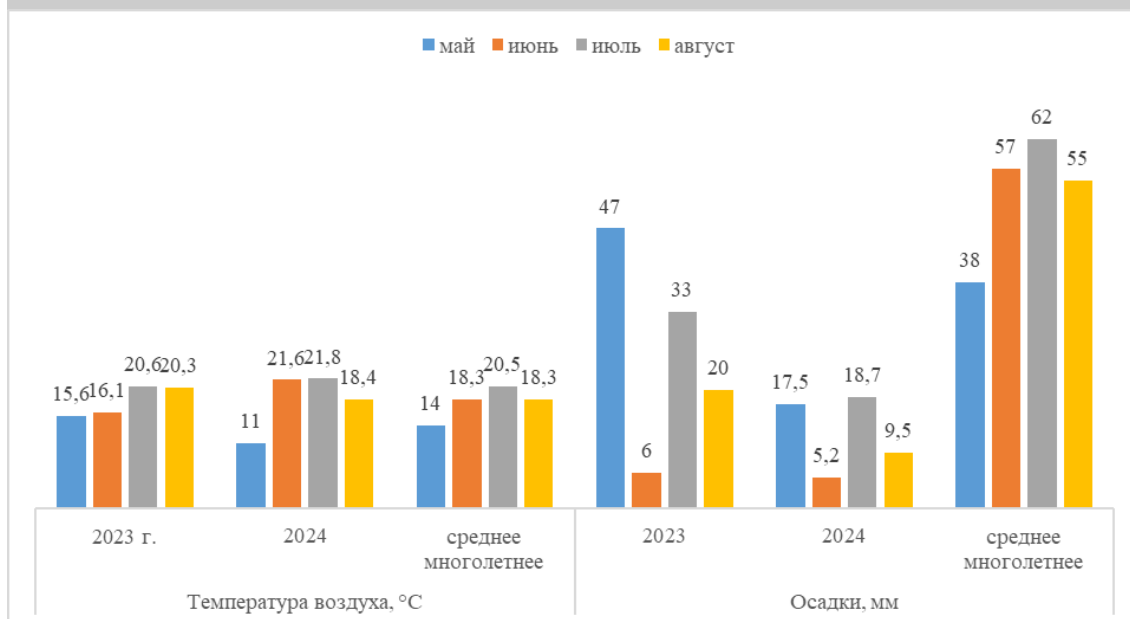


Рисунок 1 – Метеорологические условия в период роста яровой пшеницы в 2023-2024 годах

Результаты и обсуждение. Анализ, проведенный в фазе кущения выявил, что на сухую массу растений напрямую повлияли агрометеорологические условия года, а также прослеживалось действие эндофитных бактерий при обработке семян (рис. 2). За 2023-2024

года наилучшие результаты были получены при применении KS-25 1 л/т, при котором по сравнению с контролем сухая масса корней повысилась в 2023 году на 0,13 г, а в 2024 году на 0,15 г, а масса стебля на 0,66 и 0,64 г, соответственно.

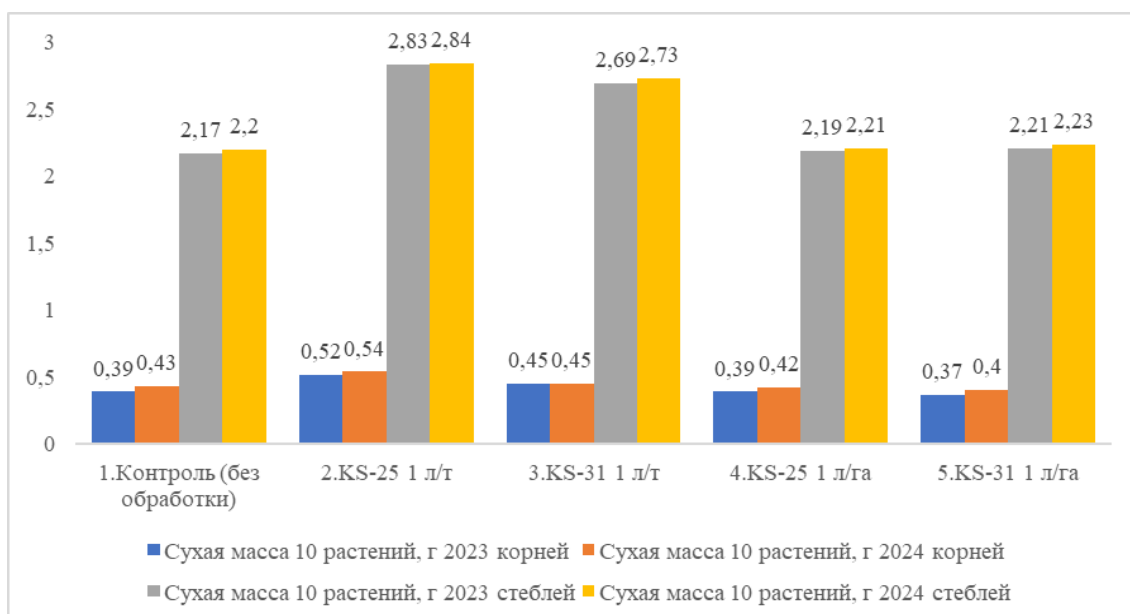


Рисунок 2 – Сухая масса (стеблей, корней) яровой пшеницы сорта Экада 109 в конце фазы кущения, при применении штаммов KS-25 и KS-31, 2023–2024 годы

Проведенные исследования подтвердили существенное влияние биологических препаратов на полевую всхожесть и выживаемость растений. Экспериментальные данные показали, что обработка семян препаратом KS-31 в дозе 1 л/т способствовала достоверному увеличению всхожести на 1,7% по сравнению с контролем. Наибольшая эффективность в отношении сохранности наблюдалась при внесении

того же препарата в норме 1 л/га, что свидетельствует о его положительном воздействии на начальные этапы онтогенеза сельскохозяйственных культур. После обработки посевов этим препаратом, сохранность растений увеличилась на 2,9%. Также было отмечено улучшение показателей выживаемости растений при использовании препарата KS-25 в дозах 1 литр на тонну и 1 литр на гектар по сравнению с контролем (рис.3).

АГРОНОМИЯ

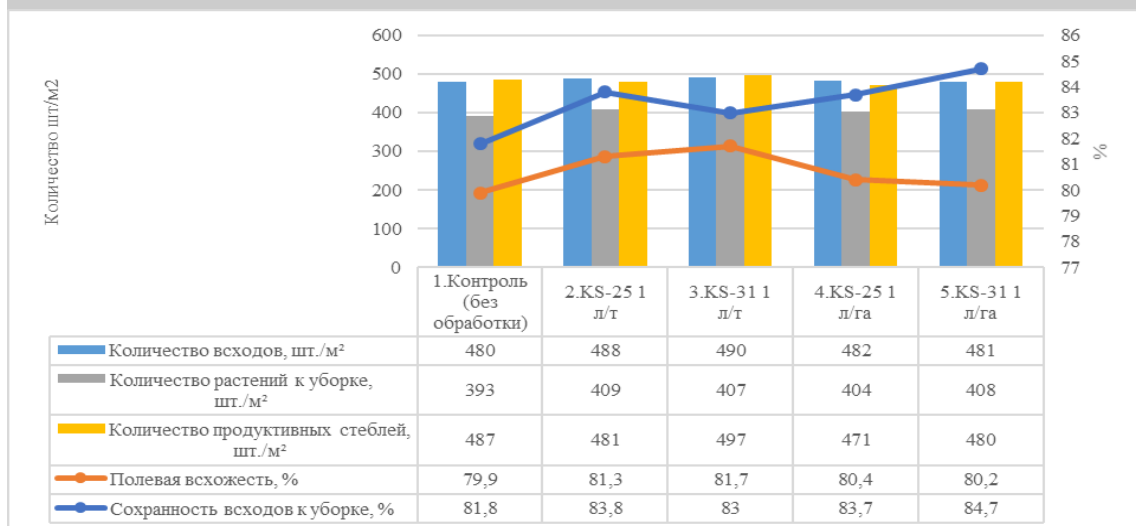


Рисунок 3 – Выживаемость всходов яровой пшеницы сорта Экада 109 к уборке в зависимости от использования штаммов KS-25 и KS-31, среднее за 2023-2024 годы

Структура урожая повысилась при использовании эндофитных бактерий (табл.1). По высоте растений наивысшие значения были получены на варианте с применением KS-31 – 1 л/т (+10 см). Достоверное увеличение длины колоса отмечено при обработке KS-31 (1 л/т) - 8,2 см

(+1 см к контролю; $HC_{05} = 0,94$). По массе зерна с 1 колоса прибавка наблюдалась на варианте с применением KS-25 – 1 л/га (+0,1 гр.). Немногим меньше эти показатели были на вариантах KS-25 – 1 л/т и KS-31 – 1 л/т (+0,09 и +0,08 соответственно).

Таблица 1 – Влияние различных обработок на биометрические показатели растений яровой пшеницы сорта Экада 109, среднее за 2023-2024 годы

Вариант	Высота растений (см)	Продуктивные стебли (шт./м²)	Длина колоса (см)	Масса зерна с колоса (г)
1.Контроль (без обработки)	80	487	7,2	0,74
2.KS-25 1 л/т	88	481	8,0	0,83
3.KS-31 1 л/т	90	497	8,2	0,82
4.KS-25 1 л/га	84	471	7,8	0,84
5.KS-31 1 л/га	87	480	7,0	0,79
HC_{05}	5,9	10,9	0,94	0,04

Максимальная эффективность была достигнута при применении штамма KS-31 в дозировке 1 л/т, где зафиксировано статистически значимое увеличение урожайности зерна на 0,44 т/га (12,1%) относительно контрольной

группы (табл. 2). Незначительно уступали данному варианту обработки: обработка семян штаммом KS-25 (1 л/т) — прибавка 0,36 т/га (9,9%) и внекорневая обработка KS-25 (1 л/га) — рост урожайности на 0,35 т/га (9,6%).

Таблица 2 – Влияние различных обработок на урожайность яровой пшеницы сорта Экада 109, 2023-2024 годы

Вариант	Урожайность зерна, т/га		Средняя урожайность, т/га	Прибавка	
	2023 год	2024 год		т/га	%
1.Контроль (без обработки)	3,83	3,39	3,61	-	-
2.KS-25 1 л/т	4,05	3,90	3,97	0,36	9,9
3.KS-31 1 л/т	3,90	4,21	4,05	0,44	12,1
4.KS-25 1 л/га	3,95	3,98	3,96	0,35	9,6
5.KS-31 1 л/га	4,05	3,50	3,77	0,16	4,4
HC_{05} , т/га	0,46	0,37			

Эндофитные бактерии оказали положительное влияние на качество зерна яровой пшеницы. В частности, применение препаратов KS-25 в дозе 1 л/га и KS-31 в дозе 1 л/га привело к увеличению содержания сырой клейковины на 4,1%. Однако стоит отметить, что обработка семян препаратом KS-25 в дозе 1 л/т показала снижение среднего содержания

клейковины на 1,4% (34,6% против 36,0% в контроле). Стоит отметить, что по результатам исследований за оба года наивысшее содержание клейковины наблюдалось в 2024 году. Это может свидетельствовать о том, что использование эндофитных бактерий способствует улучшению качественных характеристик зерна в условиях конкретного года выращивания.

Таблица 3 – Влияние различных обработок на показатели содержания сырой клейковины в зёрнах яровой пшеницы сорта Экада 109 в 2023-2024 годы

Вариант	Содержание сырой клейковины, %			Отклонение от контроля
				%
	2023	2024	Средняя	
1.Контроль (без обработки)	31,3	40,7	36,0	-
2.KS-25 1 л/т	30,8	38,4	34,6	-1,4*
3.KS-31 1 л/т	32,9	41,2	37,0	1,0
4.KS-25 1 л/га	33,3	41,7	37,5	1,5
5.KS-31 1 л/га	33,2	41,9	37,5	1,5
HCP ₀₅ , %	3,06	1,22		

Примечание: * Разница с контролем статистически не значима

Выводы. Использование биопрепаратов на основе эндофитных бактерий способствовало увеличению выживаемости, урожайности и качества зерна яровой пшеницы сорта Экада 109. Наиболее эффективным вариантом стала обработка семян

штаммом KS-31 (1 л/т), где прибавка составила 0,44 т/га (12,1%) относительно контроля (3,61 т/га). Качество зерна улучшилось: варианты KS-25 (1 л/га) и KS-31 (1 л/га) увеличили содержание сырой клейковины на 1,5%.

Литература

1. Мировой рынок химических средств защиты растений: потенциальные потери урожая, тренды и перспективы производства пестицидов для экономики России / А. И. Тареев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54, № 2. С. 310-329. doi: 10.21603/2074-9414-2024-2-2508.
2. Лысов А. К. Проблемы применения средств защиты растений и пути снижения их техногенного воздействия на окружающую среду // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 3(116). С. 34-51. doi: 10.24412/2713-2641-2023-3116-34-50.
3. Захаренко В. А. Особенности развития технологий защиты растений в агроэкосистемах в условиях рыночной экономики России // Агрохимия. 2023. № 8. С. 45-57. doi: 10.31857/S0002188123080112.
4. Сухорученко Г. И. Резистентность вредных организмов к пестицидам — проблема защиты растений второй половины XX столетия в странах СНГ // Вестник защиты растений. 2001. № 1. С. 18-37.
5. Brown C. D., Baird D. J. Pesticide residues in cereal crops: Current knowledge and future trends // J. Agric. Food Chem. 2019. Vol. 67, no. 19. P. 5391-5402. doi: 10.1021/acs.jafc.9b00123.
6. Степановских А. С., Жернова С. Ю., Жернов Г. О. Химическая защита растений: проблемы и перспективы // Актуальные проблемы медицины и биологии. 2019. № 1. С. 28-34.
7. Яковлев А. В. Актуальность использования биопрепаратов при выращивании сельскохозяйственных культур // Товароведение, технология и экспертиза: инновационные решения и перспективы развития: материалы III нац. науч.-практ. конф. Москва, 02 июня 2022 г. М.: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К. И. Скрябина, 2022. С. 268-271.
8. Захаренко В. А. Химическая защита растений в России в конце XX — начале XXI века // Защита и карантин растений. 2007. № 12. С. 6-10.
9. Захаренко В. А. Экономическая целесообразность системы защиты зерновых культур в России // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 5-8. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10701.
10. Берестецкий А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // Вестник защиты растений. 2017. № 1(91). С. 5-12.
11. Калмыкова Г. В., Горобей И. М., Осипова Г. М. Перспективы использования *Bacillus thuringiensis* как биологического агента защиты растений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 4(251). С. 12-19.
12. Ефимов М. Все препараты нашего производства безопасны для человека, животных и окружающей среды // Аграрная наука. 2020. № 1. С. 66.
13. Создание биопрепаратов, перспективных для сельского хозяйства / Н. Г. Захарова, З. Ю. Сираева, И. П. Демидова [и др.] // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2006. Т. 148, № 2. С. 102-111.
14. Культивируемые эндофитные бактерии стеблей и листьев гороха посевного (*Pisum sativum* L.) / Е. Н. Васильева, Г. А. Ахтемова, А. М. Афонин [и др.] // Экологическая генетика. 2020. Т. 18. № 2. С. 169-184. doi: 10.17816/ecogen17915.
15. Эндофитные бактерии рода *Bacillus* для защиты растений картофеля и томатов от альтернариоза / А. В. Сорокань, В. Ф. Габдрахманова, Д. К. Благова [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 3 (39). С. 205-215. doi: 10.5281/zenodo.13788887.
16. Эндофитные бактерии — основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства / В. К. Чеботарь, А. В. Щербаков, С. Н. Масленникова [и др.] // Агрохимия. 2016. № 11. С. 65-70.
17. Действие микробиологических удобрений и химических протравителей на посевные качества семян

сельскохозяйственных культур / Н. П. Чекаев, Ю. В. Блинохватова, А. В. Нуштаева [и др.] // Нива Поволжья. 2022. № 1(61). С. 01003. doi: 10.36461/NP.2022.61.1.009.

18. Задорожная В. А., Подлесных Н. В., Соколенко Г. Г. Оценка стимулирующего действия микробиологического препарата на основе штамма *Bacillus subtilis* на посевные качества зерновых культур // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1(72). С. 136-142. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_136.

19. Завалин А. А., Сапожников С. Н., Ньямбосе Д. Реакция яровой пшеницы на применение азотного удобрения и биопрепаратов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 4. С. 50-54. doi: 10.31857/2500-2082/2022/4/50-54.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Амиров Марат Фуатович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8585-1186>

Семенов Павел Геннадьевич – ассистент кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-4994-5037>

Шаймуллина Гульназ Хидиятовна – аспирант, научный сотрудник Центра агроэкологических исследований, e-mail: gulnazshajmullina@yandex.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

STUDY OF ENDOPHYTIC BACTERIA INFLUENCE OF *BACILLUS* GENUS ON SPRING WHEAT PRODUCTIVITY

M.F. Amirov, P.G. Semenov, G.Kh. Shaymullina

Abstract. An influence of biopreparations on growth and development of spring wheat of Ekada 109 variety (*Triticum aestivum* L.) was studied in the course of scientific research. Special attention was paid to the treatment of seeds and vegetative plants with strains of endophytic bacteria *Bacillus velezensis* KS-25 and *Bacillus velezensis* KS-31. The work was carried out in 2023-2024 on the experimental fields of LLC "Agrobiotechnopark", which is a part of Kazan State Agrarian University. Agrochemical analysis of soil showed humus content at the level of 3.0%, the amount of mobile phosphorus was 250 mg/kg (according to Kirsanov), and exchangeable potassium - 170 mg/kg, pH - 6.6. The experiment scheme: control (without treatment); seed inoculation with KS-25 (1 l/t); seed inoculation with KS-31 (1 l/t); leaf treatment with KS-25 (1 l/ha); leaf treatment with KS-31 (1 l/ha). It provided four-fold repetition with consecutive placement of plots, the area of each plot was 24 m². The results of the research revealed a positive effect of seed treatment with KS-25 strain (dose 1 l/t) on the accumulation of dry biomass of roots and stems during two growing seasons. In 2023 the dry mass growth of the root system reached 0.13 g, and of the aboveground part - 0.66 g. In 2024 the dynamics remained the same: the indicators amounted to 0.15 g for roots and 0.64 g for stems. Application of strain KS-31 (dose of 1 l/ha) contributed to the increase in seedling survival by 2.9% relative to the control. The conducted studies revealed a positive effect of seed treatment with the studied strain on spring wheat productivity. In particular, the application of the preparation at a dosage of 1 liter/t promoted an increase in the number of productive stems per unit area. The highest grain weight per ear (0.84 g) was recorded at KS-25 treatment (1 l/ha), which is statistically significant ($NCR_{05}=0.04$). The maximum yield was achieved when KS-31 (1 l/t) was applied - 4.05 t/ha (+0.44 t/ha to control, 12.1%). Crude gluten content increased by 4.1% when using KS-25 and KS-31 (1 l/ha).

Key words: spring wheat (*Triticum aestivum* L.), endophytic bacteria, Ekada 109, yield, dry weight, *Bacillus*.

For citation: Amirov M.F., Semenov P.G., Shaymullina G.Kh. Study of endophytic bacteria influence of *Bacillus* genus on spring wheat productivity. Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; № 2 (14). 6-12 p.

References

1. Tareev A.I. and others [World market of chemical plant protection products: potential crop losses, trends and prospects of pesticide production for the Russian economy]. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2024; 54(2). 310-329 p. doi: 10.21603/2074-9414-2024-2-2508.
2. Lysov A.K. [Problems of plant protection products application and ways to reduce their technogenic impact on the environment]. AgroEkolnzheneriya. 2023; 3(116). 34-51 p. doi: 10.24412/2713-2641-2023-3116-34-50.
3. Zakharenko V.A. [Features of plant protection technologies development in agroecosystems under the market economy of Russia]. Agrokimiya. 2023; 8. 45-57 p. doi: 10.31857/S0002188123080112.
4. Sukhoruchenko G.I. [Resistance of harmful organisms to pesticides: the problem of plant protection in the second half of the 20th century in CIS countries]. Vestnik zashchity rasteniy. 2001; 1. 18-37 p.
5. Brown C.D., Baird D.J. Pesticide residues in cereal crops: current knowledge and future trends. J. Agric. Food Chem. 2019; 67(19). 5391-5402 p. doi: 10.1021/acs.jafc.9b00123.
6. Stepanovskikh A.S., Zhernova S.Yu., Zhernov G.O. [Chemical plant protection: problems and prospects]. Aktualnye problemy meditsiny i biologii. 2019; 1. 28-34 p.
7. Yakovlev A.V. [Relevance of biopreparations use in agricultural crops cultivation. Commodity science, technology and expertise: innovative solutions and development prospects]. Materialy III nats. nauch.-prakt. konf. Moscow, June 02, 2022. Moscow: Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - Moscow Academy of Veterinary named after K.I. Skryabin. 2022; 268-271 p.
8. Zakharenko V.A. [Chemical plant protection in Russia at the end of the 20th - beginning of the 21st century]. Zashchita i karantin rasteniy. 2007; 12. 6-10 p.
9. Zakharenko V.A. [Economic feasibility of the grain crops protection system in Russia]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018; 32(7). 5-8 p. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10701.
10. Berestetskiy A.O. [Prospects for the development of biological and biorational herbicides]. Vestnik zashchity rasteniy. 2017; 1(91). 5-12 p.
11. Kalmykova G.V., Gorobey I.M., Osipova G.M. [Prospects of *Bacillus thuringiensis* use as a biological plant protection agent]. Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. 2016; 4(251). 12-19 p.

12. Efimov M. [All preparations of our production are safe for humans, animals and the environment]. *Agrarnaya nauka*. 2020; 1. 66 p.
13. Zakharova NG, Siraeva ZYu, Demidova IP. [Development of biopreparations promising for agriculture]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*. 2006; 148(2). 102-111 p.
14. Vasileva EN, Akhtemova GA, Afonin AM. [Cultivated endophytic bacteria of stems and leaves of pea (*Pisum sativum* L.)]. *Ekologicheskaya genetika*. 2020; 18(2). 169-184 p. doi: 10.17816/ecogen17915.
15. Sorokan AV, Gabdrakhmanova VF, Blagova DK. [Endophytic bacteria of *Bacillus* genus for protection of potato and tomato plants from alternariosis]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2024; 3(39). 205-215 p. doi: 10.5281/zenodo.13788887.
16. Chebotar VK, Shcherbakov AV, Maslennikova SN. [Endophytic bacteria as a basis for complex microbial preparations for agriculture and forestry]. *Agrokimiya*. 2016; 11. 65-70 p.
17. Chekaev NP, Blinohvatova YuV, Nushtaeva AV. [Effect of microbiological fertilizers and chemical seed dressers on the sowing qualities of agricultural crops seeds]. *Niva Povolzhya*. 2022; 1(61). 01003 p. doi: 10.36461/NP.2022.61.1.009.
18. Zadorozhnaya VA, Podlesnykh NV, Sokolenko GG. [Evaluation of the stimulating effect of a microbial preparation based on *Bacillus subtilis* strain on the sowing qualities of grain crops]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 15(1). 136-142 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_136.
19. Zavalin AA, Sapozhnikov SN, Nyambose D. [Spring wheat response to nitrogen fertilizer and biopreparations application]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2022; 4. 50-54 p. doi: 10.31857/2500-2082/2022/4/50-54.

Conflict of interest.

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

Authors:

Amirov Marat Fuatovich - Doctor of Agricultural Sciences, Head of Plant Production and Horticulture Department, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8585-1186>
 Semenov Pavel Gennadevich - Assistant Professor of Plant Production and Horticulture Department, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-4994-5037>
 Shaymullina Gulnaz Khidiyatovna – post-graduate student, researcher of Center for Agroecological Research, e-mail: gulnazshajmullina@yandex.ru.
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

**ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ МНОГОРЯДНОГО ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕСЕНИЯ ВЛАГОСОРБЕНТА И МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН****М.Ф. Амиров, Р.Р. Сулейманов**

Реферат. Статья посвящена изучению влияния влагосорбента (Аквасин) и минеральных удобрений (НРК) на урожайность многорядного ярового ячменя в условиях Республики Татарстан. Актуальность исследования обусловлена недостаточной влагообеспеченностью в критические фазы развития культуры и необходимостью оптимизации агротехнологий для повышения продуктивности. Полевые опыты (2022-2024 годы) проведены на серых лесных почвах с использованием сорта Тевкеч. Изучались дозы влагосорбента (0, 50, 100 кг/га) и удобрений (контроль, $N_{37}P_{60}K_{73}$), их влияние на листовой фотосинтетический потенциал (ЛФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), структуру урожая и биологическую урожайность. Результаты показали, что применение влагосорбента улучшает водоудержание почвы, повышая ЛФП на 16,3% при увеличении дозы с 0 до 100 кг/га. Максимальная урожайность (4,56 т/га) достигнута при комбинации 100 кг/га сорбента и удобрений $N_{37}P_{60}K_{73}$, что на 23% выше контроля. ЧПФ снижалась с ростом доз гидрогеля и удобрений из-за увеличения листовой массы и незначительного накопления сухого вещества. Структура урожая улучшилась: число продуктивных стеблей возросло до 324 шт./м², длина колоса – до 6,8 см. Выявлен эффект насыщения: при высоких дозах сорбента роль удобрений становится доминирующей. Исследование подтвердило синергию влагосорбентов и минеральных удобрений, а также необходимость адаптации агроприёмов к засушливым условиям. Результаты имеют практическое значение для повышения устойчивости ячменя к климатическим рискам и оптимизации ресурсосберегающих технологий в регионе.

Ключевые слова: многорядный яровой ячмень, расчетные дозы минеральных удобрений, гидрогель, урожайность.

Для цитирования: Амиров М.Ф., Сулейманов Р.Р. Формирование урожайности многорядного ярового ячменя в зависимости от внесения влагосорбента и минеральных удобрений в условиях Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2 (14). С. 13-20

Введение. Яровой ячмень занимает одну из ключевых позиций в сельскохозяйственном производстве России, являясь универсальной полевой культурой. По масштабам посевных площадей и валовому сбору в мировом земледелии данная культура занимает четвертое место среди зерновых. Благодаря своей скороспелости, пластичности и невысоким требованиям к почвенно-климатическим условиям, яровой ячмень способен формировать стабильные урожаи в различных агроэкологических зонах [1, 2, 3]. В зерне ячменя содержится 9-12% белка, 65-68% безазотистых экстрактивных соединений, 1,5-2% жира, что определяет его высокую кормовую ценность – 1,27 кормовой единицы в 1 кг. Помимо кормового использования, ячмень служит незаменимым сырьем для производства высококачественного пива и перерабатывается на крупу.

В условиях Республики Татарстан, где средняя температура воздуха за первую половину вегетационного периода составляет 11,4°C, а годовое количество осадков – 588 мм, из которых 144 мм приходится на критически важный для формирования урожая период апрель-июнь, актуальной остается проблема оптимизации условий выращивания ячменя. При этом урожайность ячменя в республике в последние годы достигает показателя 30,4 ц/га, что выше среднероссийских значений, но существенно ниже потенциальных возможностей культуры.

Одним из лимитирующих факторов повышения продуктивности ячменя является недостаточное влагообеспечение растений

в критические фазы развития, особенно в период от начала кущения до фазы цветения. Нерациональное использование почвенной влаги приводит к замедлению роста и развития культур, снижает их конкурентоспособность с сорняками и увеличивает восприимчивость к болезням и вредителям [4, 5, 6].

Современные агротехнологии предлагают новые подходы к решению проблемы оптимизации водного и питательного режимов почвы. Перспективным направлением является применение влагосорбентов, способных значительно улучшать водно-физические и агрохимические свойства почвы [7, 8, 9]. Внесение влагосорбентов способствует уменьшению уплотненности почвы, повышению количества водопрочных агрегатов и увеличению содержания гумуса и основных питательных элементов [10, 11, 12]. Исследования показывают, что применение гидрогелей может поддерживать влажность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в диапазоне 15-22% на протяжении всей вегетации, что значительно выше показателей без их использования (10-13%) [13].

Эффективность минеральных удобрений существенно зависит от влагообеспеченности почвы. В условиях недостаточной влагообеспеченности актуальным становится изучение взаимодействия влагосорбентов и минеральных удобрений, их комплексного влияния на формирование урожайности ячменя [14, 15, 16].

В последние годы особый интерес представляет выращивание многорядного ярового

ячменя, который обладает более высоким потенциалом продуктивности по сравнению с традиционно возделываемыми в Поволжье двурядными формами. Однако площади, занимаемые многорядным ячменем, остаются минимальными, что связано с недостаточной изученностью особенностей его возделывания в конкретных агроклиматических условиях [17, 18].

В связи с вышеизложенным, целью нашего исследования является изучение влияния различных доз влагосорбентов и минеральных удобрений на формирование урожайности многорядного ярового ячменя в условиях Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. Полевые опыты были заложены в 2022-2024 годах на серых лесных почвах ООО «Агробiotехнопарк» при ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». Агрохимические показатели участка: содержанием гумуса 3,6%, подвижного фосфора по Кирсанову

в модификации ЦИНАО 256-270 мг/кг, обменного калия 121-125 мг/кг, кислотностью почвы – 6,2 pH. Схема опыта:

Доза влагосорбента Аквасин (фактор А) – 1. Без влагосорбента; 2. Аквасин 50 кг/га; 3. Аквасин 100 кг/га.

Дозы NPK (фактор В) – 1. Без удобрений (контроль); 2. Расчет на получение 4 т/га зерна (N5P5K37); 3. Расчет на получение 5 т/га зерна (N37P60K73).

Общая площадь делянки – 26 м², учетная – 20 м². Повторность – четырехкратная. Предшественник – озимая пшеница. Объект исследования – многорядный яровой ячмень Тевкеч. Способ посева рядовой нормой 4,0 млн всхожих семян на 1 га. Метеорологические условия в период вегетации ярового ячменя за 2022–2024 годы демонстрируют значительные отклонения от среднееголетних данных, что существенно повлияло на рост изучаемой культуры (рис. 1).



Рисунок 1 – Метеорологические условия в период вегетации ярового ячменя

В 2022 году май характеризовался аномально высокими осадками (78 мм при норме 38 мм) и пониженной температурой воздуха (10,7°C против 14,0°C), создав благоприятные стартовые условия для вегетации. Однако в июне осадки резко сократились до 19 мм (при норме 57 мм), а гидротермический коэффициент (ГТК) упал до 0,35, что указывает на засушливость. Июльские осадки соответствовали многолетним значениям (62 мм).

В 2023 году майские осадки (47 мм) превысили среднемноголетние показатели (38 мм), но последующие месяцы оказались крайне засушливыми: в июне выпало лишь 6 мм (при норме 57 мм), а ГТК достиг минимума (0,12). Температура воздуха в июне (16,3°C) была ниже многолетней (18,3°C), но в июле и августе превышала норму (21,5°C и 20,2°C соответственно). Низкие значения ГТК (0,12–0,50) в течение всего сезона свидетельствуют о высоком дефиците влаги, что могло вызвать стресс у растений и снизило продуктивность.

2024 год выделяется резкими контрастами: майские осадки (53 мм) вновь превысили среднемноголетние данные, но июнь (16 мм) и август (29 мм) оставались засушливыми. Температура в июне (21,7°C) и июле (22,1°C) значительно превысила многолетние значения, усилив испарение. ГТК в июне (0,24) и августе (0,50) оставался ниже 1, что подтверждает недостаточную увлажненность. Лишь в июле коэффициент приблизился к норме (0,82),

но этого могло быть недостаточно для компенсации дефицита в другие месяцы.

Общей тенденцией за три года стало снижение осадков в июне и июле относительно многолетних данных, особенно выраженное в 2023 и 2024 годах. Повышение температуры в июне-июле (на 1–2°C выше нормы) в сочетании с дефицитом осадков создавало условия для атмосферной засухи. Низкие значения ГТК (менее 1) в ключевые месяцы вегетации (июнь-июль) указывают на преобладание засушливых периодов, что негативно сказалось на формировании урожая.

Исследование формирования листового фотосинтетического потенциала (ЛФП) многозерного ярового ячменя в период с 2022 по 2024 год было направлено на оценку влияния влагосорбента и минеральных удобрений на продуктивность культуры. ЛФП, измеряемый в тыс. м²/суток на 1 га, отражает способность растений эффективно использовать солнечную энергию для фотосинтеза и напрямую связан с площадью листовой поверхности и её функциональной активностью.

Результаты и обсуждение. Анализ данных формирования листового фотосинтетического потенциала (ЛФП) многозерного ярового ячменя за 2022–2024 годы выявляет комплексное влияние влагосорбента и минеральных удобрений на продуктивность культуры (рис. 2).

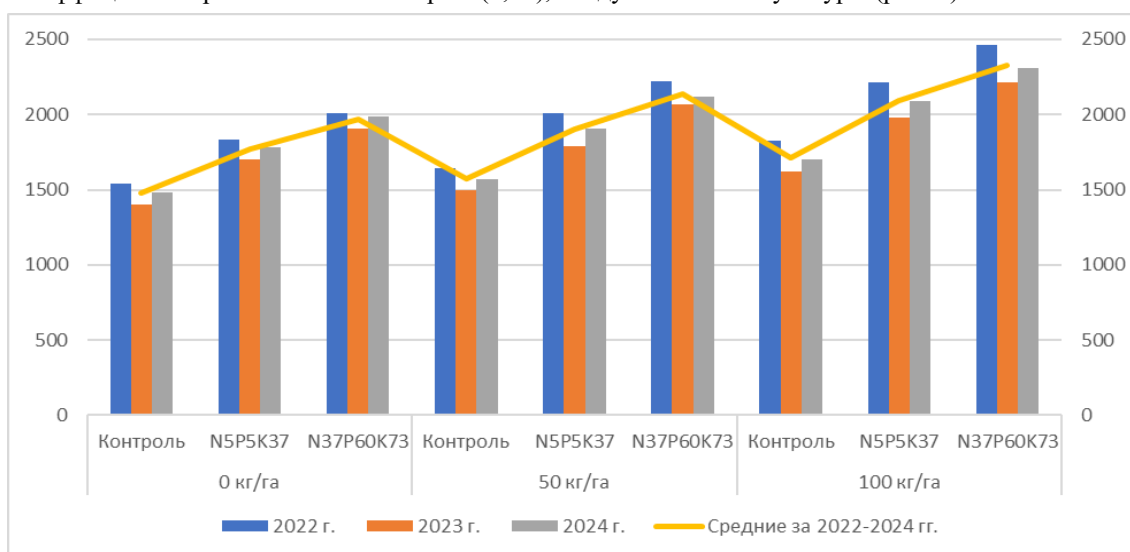


Рисунок 2 – Формирование ЛФП многозерного ярового ячменя в зависимости от влагосорбента и минеральных удобрений за 2022–2024 года, тыс. м²/суток на 1 га

За три года наблюдений средние значения ЛФП варьировали от 1797 до 1973 тыс. м²/суток, при этом в 2023 году зафиксировано снижение показателя во всех вариантах опыта. Например, при максимальной дозе влагосорбента (100 кг/га) и удобрения N₃₇P₆₀K₇₃ ЛФП упал с 2463 тыс. м²/суток в 2022 году до 2215 тыс. м²/суток в 2023-м, частично восстановившись до 2307 тыс. м²/суток в 2024-м. Такая динамика связана с неблагоприятными климатическими условиями

в 2023 году, такими как засуха или температурные аномалии, что подчеркивает важность адаптации агротехнических методов к изменчивым погодным рискам.

Использование влагосорбента даже без удобрений демонстрирует положительный эффект: увеличение его дозы с 0 до 100 кг/га повышает средний ЛФП на 16,3% (с 1475 до 1715 тыс. м²/суток). Это подтверждает роль влагосорбента в улучшении вододержания почвы, что критически важно

для фотосинтеза. Однако наибольший прирост ЛФП достигается при комбинации с минеральными удобрениями. Так, применение $N_{37}P_{60}K_{73}$ при 50 кг/га влагосорбента обеспечило увеличение показателя на 35,9% относительно контроля, достигнув 2134 тыс. м²/суток. При этом дальнейшее увеличение дозы влагосорбента до 100 кг/га, хотя и дало более высокий абсолютный результат (2328 тыс. м²/суток), привело к снижению процентного прироста до 35,7%. Это указывает на эффект насыщения: после определенного уровня влагосорбента основную роль в стимулировании фотосинтеза играют питательные вещества, а дополнительные объемы сорбента приносят меньшую отдачу.

Сравнение эффективности удобрений показывает, что комплекс $N_{37}P_{60}K_{73}$ с высоким содержанием азота и фосфора обеспечивает на 13–16% больший прирост ЛФП по сравнению

с $N_5P_5K_{37}$. Это связано с тем, что азот и фосфор напрямую влияют на развитие листовой поверхности и интенсивность фотосинтеза.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), отражающая количество органического вещества, синтезированного растением за вегетационный период, является ключевым показателем для оптимизации агротехнических методов и повышения урожайности.

На рисунке 3 представлены данные по трем годам наблюдений, включая различные дозы влагосорбента (0, 50, 100 кг/га) и дозы удобрений (контроль, $N_5P_5K_{37}$, $N_{37}P_{60}K_{73}$), что позволяет проанализировать их комбинированное воздействие на продуктивность. Результаты демонстрируют как межгодовую динамику, связанную с внешними условиями, так и вариативность отклика растения на агрохимические обработки.

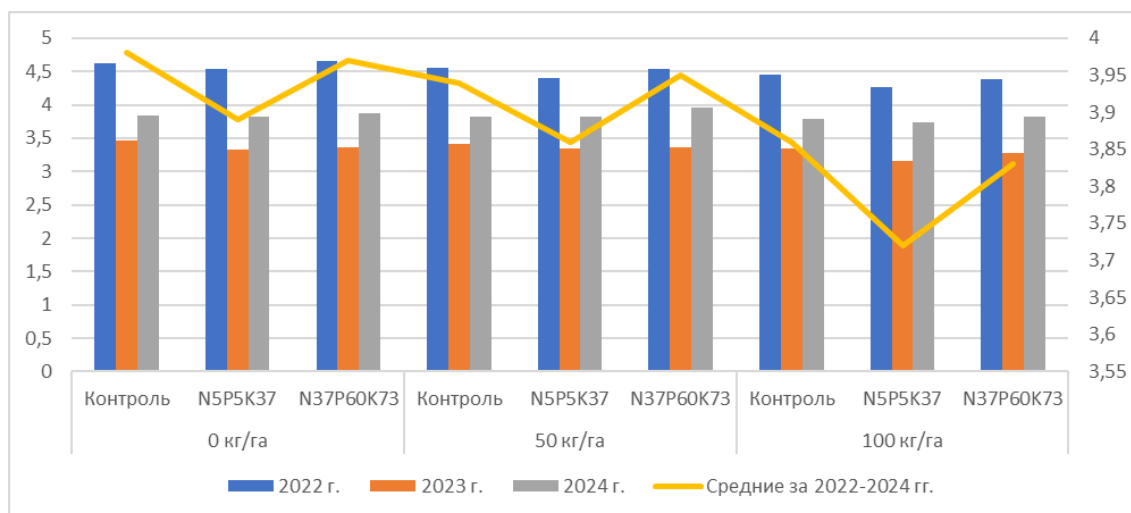


Рисунок 3 – Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) многорядного ярового ячменя в зависимости от влагосорбента и минеральных удобрений за 2022-2024 года, г/м²

Наибольшие значения ЧПФ зафиксированы в 2022 году (среднее 4,49 г/м²), тогда как в 2023 и 2024 годах продуктивность снизилась до 3,34 и 3,84 г/м² соответственно.

При отсутствии влагосорбента (0 кг/га) максимальная средняя ЧПФ за три года (3,97–3,98 г/м²) достигнута на контрольном варианте и при внесении удобрения $N_{37}P_{60}K_{73}$. Однако применение удобрения $N_5P_5K_{37}$ при той же дозе влагосорбента привело к снижению продуктивности на 2,3% (-0,09 г/м²).

Увеличение дозы влагосорбента до 50 кг/га незначительно снизило среднюю ЧПФ в контроле (3,94 г/м² против 3,98 г/м² при 0 кг/га). При этом удобрение $N_{37}P_{60}K_{73}$ в этой группе обеспечило небольшой прирост (+0,01 г/м², +0,2%), тогда как $N_5P_5K_{37}$ вновь вызвало снижение (-2,1%). Наибольшее снижение ЧПФ наблюдалось при максимальной дозе влагосорбента (100 кг/га): применение $N_5P_5K_{37}$ снизило ЧПФ на 3,7% (-0,14 г/м²), а $N_{37}P_{60}K_{73}$ — на 0,8%.

Средние значения по всем вариантам демонстрируют, что наименьшая

продуктивность характерна для 2023 года (3,34 г/м²), что связано с засухой.

В целом по данным рисунка 3 можно увидеть, что количество сухой массы растений в граммах, которое синтезирует 1 м² листовой поверхности за сутки по мере роста дозы гидрогеля и минеральных удобрений снижается. Уменьшение количества сухой массы растений на единицу листовой поверхности при увеличении доз гидрогеля и минеральных удобрений связано с комплексом физиологических и экологических факторов. К основным причинам этого явления можно отнести: растения могут направлять ресурсы на увеличение площади листьев (за счёт растяжения клеток и накопления воды), но не на синтез структурных компонентов. Это приводит к формированию тонких, крупных листьев с низким содержанием сухого вещества.

А также при чрезмерной листовой массе нижние слои листьев затеняются, их фотосинтетическая активность падает, а затраты на дыхание и поддержание тканей растут. Чистая продуктивность (разница между синтезом

и расходом органики) снижается.

Кроме того, избыток азота стимулирует рост зелёной массы с высоким содержанием воды, но низким – сухих веществ. Гидрогель усиливает этот эффект, поддерживая высокий тургор клеток без увеличения синтеза органики.

Структура урожая отражает взаимосвязь таких показателей, как число продуктивных стеблей, длина колоса, количество зерен в колосе, масса зерна и его качество. Эти параметры не только определяют количественные характеристики урожая, но и свидетельствуют о физиологическом состоянии растений, их способности эффективно использовать ресурсы почвы и удобрений. Биологическая урожайность, выраженная в тоннах зерна с гектара, является интегральным показателем,

объединяющим все перечисленные компоненты.

Как видно из рисунка 4, при отсутствии влагосорбента (0 кг/га) и контрольных условиях (без удобрений) биологическая урожайность составила 3,74 т/га. Внесение удобрений $N_5P_5K_{37}$ и $N_{37}P_{60}K_{73}$ повысило урожайность до 4,02 и 4,31 т/га соответственно, что свидетельствует о значимой роли минеральных удобрений. Добавление влагосорбента в дозе 50 кг/га усилило эффект: при тех же удобрениях урожайность достигла 4,09 и 4,49 т/га, а в контроле (без удобрений) – 3,82 т/га. Максимальный результат (4,61 т/га) зафиксирован при комбинации 100 кг/га влагосорбента и удобрений $N_{37}P_{60}K_{73}$, что на 23% выше исходного контроля.



Рисунок 4 – Структура урожая многорядного ярового ячменя в зависимости от влагосорбента и минеральных удобрений за 2022-2024 года

Рост урожайности коррелирует с улучшением параметров структуры урожая. Например, число продуктивных стеблей увеличилось с 304 до 324 шт./м² при максимальных дозах влагосорбента и удобрений. Длина колоса возросла с 6,0 см в контроле до 6,8 см, а число зерен в колосе – с 33 до 37 шт. Масса зерна с одного колоса повысилась на 15% (с 1,23 до 1,42 г), а масса 1000 зерен – с 36,6 до

37,9 г. Это указывает на то, что влагосорбент, улучшая водный режим почвы, усиливает усвоение питательных веществ из удобрений, что в совокупности стимулирует рост вегетативных и генеративных органов растения.

Примечательно, что даже без удобрений влагосорбент в дозе 100 кг/га обеспечил прирост урожайности до 3,95 т/га против 3,74 т/га в контроле, подтверждая его самостоятельную

агрономическую ценность. Однако наибольшая эффективность достигается при их совместном применении: удобрения оказывают более выраженное влияние, но влагосорбент выступает катализатором, усиливающим их действие. Оптимальным решением для повышения урожайности ярового ячменя является сочетание высоких доз минеральных удобрений ($N_{37}P_{60}K_{73}$) с влагосорбентом (100 кг/га),

что обеспечивает комплексное улучшение почвенных условий и питательного режима.

При отсутствии удобрений увеличение дозы влагосорбента с 0 до 100 кг/га сопровождалось ростом средней урожайности с 3,68 до 3,89 т/га, что указывает на его положительную роль в улучшении условий выращивания даже без дополнительного внесения минеральных удобрений (рис. 5).

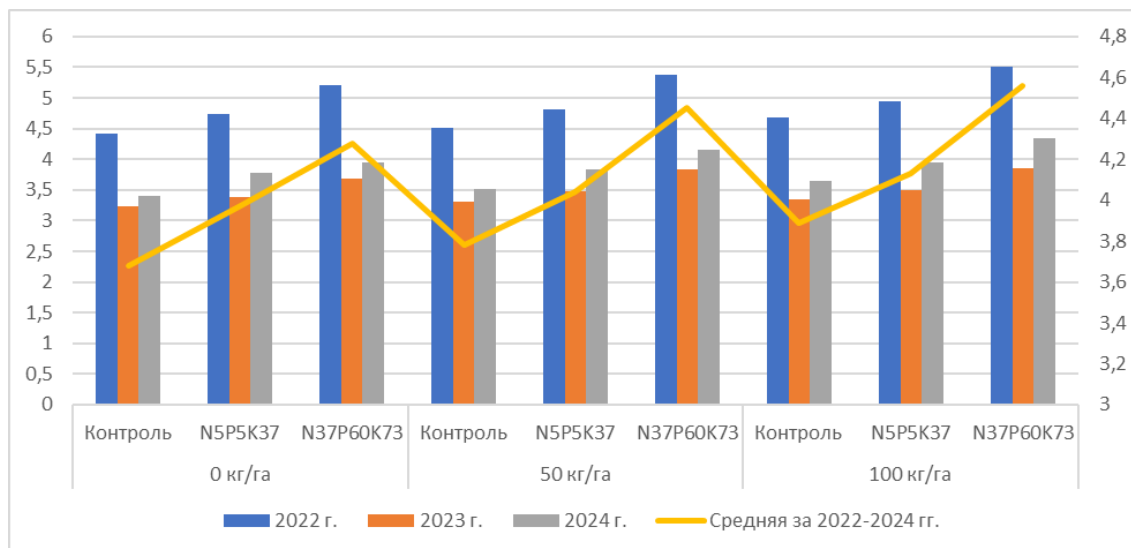


Рисунок 5 – Урожайность многолетнего ярового ячменя в зависимости от влагосорбента и минеральных удобрений за 2022-2024 года, т/га

Однако наиболее значимый прирост обеспечило применение минеральных удобрений. Например, при дозе влагосорбента 0 кг/га использование состава $N_{37}P_{60}K_{73}$ повысило среднюю урожайность до 4,28 т/га (+16,3% к контролю), тогда как более низкая доза удобрений ($N_5P_5K_{37}$) дала увеличение лишь до 3,97 т/га (+7,8%). С ростом дозы влагосорбента до 50 и 100 кг/га сохранилась тенденция к повышению урожайности при внесении удобрений, однако относительная эффективность немного снизилась. Так, при 100 кг/га влагосорбента удобрение $N_{37}P_{60}K_{73}$ обеспечило прирост на 17,2% против 17,7% при 50 кг/га. Это свидетельствует о снижении окупаемости дополнительной прибавкой зерна гидрогеля в зависимости от увеличения вносимой доз. При этом максимальная урожайность (4,56 т/га) достигнута при комбинации 100 кг/га сорбента и высоких доз удобрений, что подчеркивает синергию этих факторов.

Динамика по годам показывает снижение урожайности после 2022 года во всех вариантах. Например, в контроле (0 кг/га) показатели упали с 4,41 т/га в 2022 году до 3,23 т/га в 2023-м, что связано с неблагоприятными погодными условиями.

Выводы. Исследование подтвердило значимое влияние влагосорбента (Аквасин) и минеральных удобрений на урожайность многолетнего ярового ячменя в условиях Республики Татарстан. Применение влагосорбента в дозе 100 кг/га повысило листовой фотосинтетический потенциал (ЛФП) на 16,3% за счёт улучшения водоудержания почвы, однако максимальная эффективность достигнута при его сочетании с удобрением $N_{37}P_{60}K_{73}$, обеспечившим урожайность 4,56 т/га (+23% к контролю). Установлено, что чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) снижалась при увеличении доз гидрогеля и удобрений из-за роста затрат на дыхание и затенения нижних листьев. Оптимизация структуры урожая выразилась в увеличении числа продуктивных стеблей (до 324 шт./м²), длины колоса (до 6,8 см) и массы зерна (1,42 г/колос). Выявлен эффект насыщения: после дозы 50 кг/га влагосорбента доминирующую роль в стимулировании продуктивности играли минеральные удобрения. Результаты подтверждают необходимость комплексного применения влагосорбентов и высоких доз НРК для повышения устойчивости ячменя к засухе и оптимизации ресурсосберегающих технологий в условиях дефицита осадков.

Литература

- Ганиева И.С., Блохин В.И., Сержанов И.М. Сравнительная оценка сортов ярового ячменя по количеству и качеству белка // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019 № 1(52). С. 17-21. doi: 10.12737/article_5cceddb791c96f2.14695900.
- Амиров М.Ф. Совершенствование агротехнологий производства сельскохозяйственных культур // Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности: Научные труды

международной научно-практической конференции, Казань, 01–03 июля 2021 года. — Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. С. 32–38.

3. Оценка адаптивного потенциала сортов и линий ярового ячменя селекции татарского НИИСХ / В.И. Блохин, И.Ю. Никифорова, И.С. Ганиева, М.А. и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. №4 (40). С. 82-92. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-82-92.

4. Фомин Д. С., Яркова Н. Н., Полякова С. С. Урожайность ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий в условиях Среднего Предуралья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 6. С. 852-859. doi: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859.

5. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата / О. А. Юсова, П. Н. Николаев, Я. Б. Бендина и др. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 44-55. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55.

6. Семинченко Е. В. Влияние погодных условий на урожайность ярового ячменя в зоне влияния лесной полосы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т.13. № 2. С. 114–127. doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127.

7. Максимова, Ю. Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 1. С. 23-42. doi: 10.15389/agrobiology.2023.1.23rus.

8. Гидрогели как новая среда для сельскохозяйственных культур / Е. Л. Краснопева, Г. Г. Панова, С. Г. Лаишевкина и др. // Journal of Agriculture and Environment. 2023. № 11(39). doi: 10.23649/JAE.2023.39.19.

9. Годунова Е.И., Шаповалова Н.Н. Гидрогель и эффективность минеральных удобрений на обыкновенных черноземах Центрального Предкавказья // Агрохимический вестник. 2020. № 4. С. 46-50. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10054.

10. Шилов А. Н., Плотников А.М. Баланс элементов питания в зернопаровом севообороте при совместном применении азотных, фосфорных удобрений и почвенного кондиционера // Аграрный вестник Урала. 2014. № 11(129). С. 22-25.

11. Абрамов Н. В., Плотников А.М., Созинов А.В. Эффективность удобрений и мелиорантов в зависимости от погодных условий при возделывании зерновых культур в Курганской области // Плодородие. 2023. № 5(134). С. 16-20. doi: 10.25680/S19948603.2023.134.04.

12. Пулатов Я.Э. Бахриев С.Х., Пулатов Ш.Я. Инновационная влагосберегающая технология: гидрогель и устройство для его внесения в почву // Водные ресурсы, энергетика и экология. 2022. Т. 2. № 3. С. 52-58.

13. Оценка зависимости урожайности зерновых культур от применения полимерного гидрогеля, азотного и фосфорного удобрения в севообороте / И.В. Синявский, А.М. Плотников, А.В. Созинов и др. // Проблемы агрохимии и экологии. 2021. № 3-4. С. 9–16. doi: 10.26178/AE.2021.61.47.001.

14. Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding / Zaryab Tariq, Dure Iqbal, Muhammad Rizwan [et al.] // RSC Advances. 2023. Vol. 13. P. 24731–24754. doi: 10.1039/d3ra03472k.

15. Yershova L.A. Golova T.G. New genotypes of barley distinguished by the complex of economically valuable characteristics // International Research Journal. 2017. № 12 (66). doi: 10.23670/IRJ.2017.66.102.

16. Левакова, О. В. Использование стимуляторов роста и гуминовых веществ в звене первичного семеноводства ячменя сорта Знатный при посеве колосом // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 1(77). С. 12-17. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-12-17.

17. Урожайность ярового ячменя в зависимости от метеорологических факторов и фона питания / П. А. Постников, В. В. Попова, О. В. Васина [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 2. С. 19-24. doi: 10.53859/02352451_2025_39_2_19.

18. Левакова О. В. Перспективы экологической селекции ярового ячменя в лесостепной агроклиматической зоне Центрального региона РФ // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 1. С. 23-27. doi: 10.53859/02352451_2024_38_1_23.

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, <https://orcid.org/0000-0001-8585-1186>

Сулейманов Рузаль Разяпович – аспирант, e-mail: ruzal.suleymanov@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

FORMATION OF THE MULTI-ROW SPRING BARLEY PRODUCTIVITY DEPENDING ON THE APPLICATION OF MOISTURE SORBENT AND MINERAL FERTILIZERS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

M.F. Amirov , R.R. Suleymanov

Abstract. The article is devoted to the study of the effect of a moisture sorbent (Aquasin) and mineral fertilizers (NPK) on multi-row spring barley productivity in the conditions of the Republic of Tatarstan. The relevance of the study is due to insufficient moisture supply in critical phases of crop development and the need to optimize agricultural technologies to increase productivity. Field experiments (2022-2024) were carried out on gray forest soils using Tевкеч variety. The doses of moisture sorbent (0, 50, 100 kg/ha) and fertilizers (control, N5P5K37, N37P60K73), their effect on leaf photosynthetic potential (LPP), net photosynthetic productivity (NPP), crop structure and biological yield were studied. The results showed that the use of moisture sorbent improves soil water retention, increasing LPP by 16.3% with an increase in the dose from 0 to 100 kg/ha. The maximum yield (4.56 t/ha) was achieved with a combination of 100 kg/ha of sorbent and N37P60K73 fertilizers, which is 23% higher than the control. Net photosynthetic productivity decreased with an increase in the doses of hydrogel and fertilizers due to an increase in leaf mass and an insignificant accumulation of dry matter. The crop structure has improved: the number of productive stems has increased to 324 pcs/m², the ear length – to 6.8 cm. The saturation effect has been revealed: at high doses of the sorbent, the role of fertilizers becomes dominant. The study confirmed the synergy of moisture sorbents and mineral fertilizers, as well as the need to adapt agricultural practices to dry conditions. The results are of practical importance for increasing the resistance of barley to climate risks and

optimizing resource-saving technologies in the region.

Key words: multi-row spring barley, calculated doses of mineral fertilizers, hydrogel, yield.

For citation: Amirov M.F., Suleimanov R.R. Formation of the multi-row spring barley productivity depending on the application of moisture sorbent and mineral fertilizers in the conditions of the Republic of Tatarstan. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; № 2 (14). 13-20 p.

References

1. Ganieva IS, Blokhin VI, Serzhanov IM. [Comparative evaluation of spring barley varieties for protein quantity and quality]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; 1(52). 17-21 p. doi: 10.12737/article_5cced791c96f2.14695900.
2. Amirov MF. [Improving agricultural technologies for the production of agricultural crops. Global challenges to food security: risks and opportunities]. *Nauchnye trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kazan, 01-03 iyulya 2021 goda*. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2021; 32-38 p.
3. Blokhin VI, Nikiforova IYu, Ganieva IS. [Assessment of the adaptive potential of spring barley varieties and lines bred by Tatar Research Institute of Agriculture]. *Zernobovoye i krupyanye kultury*. 2021; 4 (40). 82-92 p. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-82-92.
4. Fomin DS, Yarkova NN, Polyakova SS. [Spring barley productivity depending on hydrothermal conditions in the Middle Urals]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2022; Vol.23. 6. 852-859 p. doi: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859.
5. Yusova OA, Nikolaev PN, Bendina YaB. [Stress resistance of barley varieties of different agroecological origin for conditions of a sharply continental climate]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2020; Vol.181. 4. 44-55 p. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55.
6. Seminchenko EV. [Influence of weather conditions on spring barley yield in the zone of influence of the forest belt]. *Siberian journal of life sciences and agriculture*. 2021; Vol.13. 2. 114-127 p. doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127.
7. Maksimova YuG, Shchetko VA, Maksimov AYU. [Polymer hydrogels in agriculture (review)]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2023; Vol.58. 1. 23-42 p. doi: 10.15389/agrobology.2023.1.23rus.
8. Krasnopeeva EL, Panova GG, Laishevskina SG. [Hydrogels as a new medium for agricultural crops]. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; 11(39). doi: 10.23649/JAE.2023.39.19.
9. Godunova EI, Shapovalova NN. [Hydrogel and the efficiency of mineral fertilizers on ordinary chernozems of the Central Ciscaucasia]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2020; 4. 46-50 p. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10054.
10. Shilov AN, Plotnikov AM. [Balance of nutrients in grain-fallow crop rotation with the combined use of nitrogen, phosphorus fertilizers and soil conditioner]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2014; 11(129). 22-25 p.
11. Abramov NV, Plotnikov AM, Sozinov AV. [Efficiency of fertilizers and ameliorants depending on weather conditions during cultivation of grain crops in Kurgan region]. *Plodorodie*. 2023; 5 (134). 16-20 p. doi: 10.25680 / S19948603.2023.134.04.
12. Pulatov YaE, Bakhriev S.Kh, Pulatov Sh.Ya. [Innovative moisture-saving technology: hydrogel and device for its application into the soil]. *Vodnye resursy, energetika i ekologiya*. 2022; Vol.2. 3. 52-58 p.
13. Sinyavskiy IV, Plotnikov AM, Sozinov AV. [Evaluation of grain crop yield dependence on application of polymeric hydrogel, nitrogen and phosphorus fertilizer in crop rotation]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2021; 3-4. 9-16 p. doi: 10.26178/AE.2021.61.47.001.
14. Zaryab Tariq, Dure Iqbal, Muhammad Rizwan. Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC Advances*. 2023; Vol.13. 24731-24754 p. doi: 10.1039/d3ra03472k.
15. Ershova LA, Golova TG. New genotypes of barley distinguished by the complex of economically valuable characteristics. *International Research Journal*. 2017; 12 (66). doi: 10.23670/IRJ.2017.66.102.
16. Levakova OV. [Use of growth stimulants and humic substances in the primary seed production link of barley of Znatnyy variety at ear sowing]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2025; Vol.20. 1(77). 12-17 p. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-12-17.
17. Postnikov PA, Popova VV, Vasina OV. [Spring barley productivity depending on meteorological factors and nutritional background]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2025; Vol.39. 2. 19-24 p. doi: 10.53859/02352451_2025_39_2_19.
18. Levakova OV. [Prospects for ecological selection of spring barley in the forest-steppe agroclimatic zone of the Central region of the Russian Federation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2024; Vol.38. 1. 23-27 p. doi: 10.53859/02352451_2024_38_1_23.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Amirov Marat Fuatovich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Plant Production and Horticulture Department, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8585-1186>
Suleymanov Ruzal Razyapovich – post-graduate student, e-mail: ruzal.suleymanov@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ВЫСОКОГОРСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**Л. Г. Гаффарова, Е. В. Смирнова, А. И. Матвеева**

Реферат. Проведена оценка по данным ретроспективного анализа данных содержания подвижного фосфора и калия и урожайности яровой пшеницы во временном ряду с выявлением функциональной зависимости на примере Высокогорского муниципального района Республики Татарстан за 52 года (1972-2023 годы). Климат в Высокогорском районе умеренно - континентальный. Характерен баланс осадков и испаряемости. Почвенный покров пахотных угодий Высокогорского района представлен серыми лесными почвами и незначительной долей дерново-подзолистых почв. За годы наблюдения в районе увеличивалось средневзвешенное содержание подвижного фосфора, достигая значений от 49 в первом цикле до 165,1 мг/кг почвы (пятый цикл). За 50 лет концентрация подвижного калия в почве постепенно возросла со 110 до 151,4 мг/кг, но к 2023 году зафиксировано снижение до 145,1 мг/кг. Годовой прирост в среднем составлял 0,77 мг/кг. Упрощенный баланс элементов питания за годы наблюдения (52 года) имеет положительные значения по всем исследуемым элементам питания, по азоту он равен +482,3 кг/га, показатели подвижного фосфора и калия накапливаются в почвах района 1019,8 и 553,2 кг соответственно. С 1972 года, за 52 года в Высокогорском районе на каждый гектар возделываемых земель ежегодное внесение минеральных удобрений составило 90 кг и 4 т/га органических удобрений. Использование как минеральных, так и органических удобрений существенно повысило продуктивность посевов яровой пшеницы, так с 1972 по 2023 год урожайность увеличилась на 16,1 центнера с каждого гектара. Применение минеральных и органических удобрений обеспечило высокое содержание средневзвешенных значений подвижного фосфора (в диапазоне от 51,9 до 157,2 мг/кг), уровень подвижного калия остался на повышенном уровне (от 96,9 до 145,1 мг/кг). Показатели урожайности яровой пшеницы напрямую связаны с изменениями в содержании доступных форм питательных элементов. Статистические данные показывают умеренную степень взаимосвязи показателей (коэффициент корреляции от 0,61 до 0,67).

Ключевые слова: подвижный фосфор, подвижный калий, интенсификация земледелия, плодородие, урожайность, яровая пшеница.

Для цитирования: Гаффарова Л.Г., Смирнова Е.В., Матвеева А.И. Вариабельность агрохимических показателей и урожайность яровой пшеницы в Высокогорском районе Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. № 2(14). С. 21-26

Введение. Почвенный покров является незаменимым ресурсом и средством производства в сельском хозяйстве. Антропогенное воздействие оказывает на них всестороннее влияние. В первую очередь это сказывается на почвенном плодородии. Нарушая естественное сложение почвенного профиля, изменяются физические и физико-химические свойства, что может повышать риск возникновения водной и ветровой эрозии, а также различных видов деградации пахотных земель [1, 2, 3].

Проанализировать показатели уровня плодородия, по данным содержания подвижного фосфора и калия, а также степень кислотности, возможно с помощью данных периодического агрохимического обследования проводимого центром агрохимической службы «Татарский» [1].

Для яровой пшеницы ключевым фактором урожайности является выбор районированных сортов [4, 5].

Основные макроэлементы, необходимы растениям для здорового роста и развития. Так, фосфор улучшает обмен углеводов, способствует накоплению сахаров, которые увеличивают морозоустойчивость и зимостойкость культур [6].

Кислотность почвы обуславливается наличием в ППК обменных ионов водорода и алюминия. От нее зависит выбор удобрений, культур для возделывания и применяемые

агротехнические приемы. Декальцинация почвы способствует снижению микробиологической активности, ухудшению агрофизических параметров, эффективности вносимых удобрений и подкислению почвенного раствора, что отражается на качестве и товарном виде производимой продукции [7].

В начале развития сельскохозяйственного производства продуктивность обрабатываемых земель была не выше естественных угодий. Это связано с развитием агротехники, агроприемов и земледелия как науки в целом [2, 3].

Главным рычагом управления урожайностью растений являются удобрения. Человек напрямую воздействует на урожайность, применяя составы с разным содержанием действующего вещества элементов питания и в определенные периоды вегетации. Неправильное и не своевременное применение удобрений приводит к ухудшению качества урожая, а в некоторых случаях и вовсе к его потере. Микроэлементы, хотя и не поглощаются растениями в больших количествах, но также оказывают немаловажное влияние на качество продукции. Первооткрывателями внесения минеральных удобрений в мире стали Германия, Канада, Европа и Соединенные Штаты Америки, где их начали использовать на несколько лет раньше России. В нашу же страну удобрения пришли сначала в северные

регионы, где климат достаточно увлажнен. Далее их начали применять в Беларуси, Прибалтике и северо-западных регионах [1, 2, 3].

В нашей республике годом начала интенсивного земледелия был 1958, как утверждают И. Д. Давлятшин и Н. Бакиров (1999г.). Урожайность яровой пшеницы в республике с применением удобрений заметно возросла. В 1960 году урожайность составляла 8,8 ц/га, а же в 1990 увеличилась в два раза и была равна 17,8 ц/га, а в 1999 году – 24,4 ц/га, что напрямую показывает значимость применения удобрений и как они способны повышать массу полученной продукции с одного гектара территории [2, 3].

Для поддержания стабильных и высоких урожаев пахотных угодий, нужен постоянный агрохимический мониторинг с целью контроля необходимости внесения минеральных и органических удобрений, плодородия пахотных земель, нуждаемости в мелиорации [8, 9, 10].

Цель исследования: по данным ретроспективного анализа данных установить как содержание подвижного фосфора и калия влияет на урожайность яровой пшеницы во временном ряду, выявить зависимость на примере Высокогорского муниципального района Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования выступают почвы Высокогорского района Республики Татарстан.

В качестве исходных данных были использованы результаты агрохимических обследований, которые проводились специалистами Центра агрохимической службы «Татарский». Полученные данные, а именно урожайность яровой пшеницы и агрохимические показатели были сопоставлены между собой для выявления корреляционной и регрессионной зависимости во временных рядах. Лабораторные анализы проводились по следующим методикам: определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011); определение обменной кислотности (ГОСТ Р 58594-2019).

Почвенный покров Высокогорского района в основном сложен из представителей пахотных серых лесных почв, незначительную часть занимают почвы дерново-подзолистые почвы [11,12].

Согласно большинству источников, в Республике Татарстан серые лесные почвы были сформированы под широколиственными травянистыми лесами в условиях периодически промывного водного режима. Почвообразовательный процесс складывается из следующих ЭПП: гумусово-аккумулятивный, иллювиальный, оподзоливание и лессиваж [3, 12].

Климат в Высокогорском районе умеренно – континентальный, с относительно влажным и прохладным летом и умеренно-холодной и снежной зимой. Лишь весной во время снеготаяния почва может промачиваться до грунтовых вод. Летом при высоких

температурах все осадки испаряются [11,12].

Статистические параметры агрохимических показателей и урожайности яровой пшеницы проводились с применением методов математической статистики при помощи пакета программы «программного пакета STATISTICA» (6) [13, 14, 15].

Получение растениеводческой продукции в достаточном количестве зависит от правильной обработки плодородного слоя. С помощью агротехнических приемов можно повлиять на физико-химические свойства почвы, ее структуру, влагоемкость, плотность, водно-воздушный режим и т.д. Любая технология возделывания включает основную обработку почвы, внесение удобрений, применение средств защиты от сорняков и вредителей [16, 17, 18].

Результаты и обсуждение. В середине 50-х годов в Республике Татарстан началось активное возделывание сельскохозяйственных угодий с применением удобрений. В особенности почвенный покров зоны Предкамья отличался повышенной кислотностью и низким плодородием, поэтому началось применение химических мелиорантов, минеральных и органических удобрений. Следующим значимым периодом интенсификации аграрного сектора намечился в период с 1986 по 1992 годы, получив дальнейшее развитие.

В Республике Татарстан результаты интенсификации земледелия возникли на базе Казанского государственного университета и Казанского государственного сельскохозяйственного института. Научные исследования основывались на повышении урожайности сельскохозяйственных культур при помощи применения различных форм и доз минеральных и органических удобрений. Такой прием земледелия получил название окультуривание почв [1, 2, 3].

В 1972 году на пахотных угодьях Высокогорского района было внесено 70 кг/га действующего вещества минеральных удобрений. Наблюдалась тенденция к увеличению этой дозы, достигшей пика в 1991 году – 235 кг д.в./га. В дальнейшем количество вносимых удобрений сократилось и на данный момент не превышает 100 кг д.в./га.

За все годы наблюдения внесение органических удобрений колеблется от 1,1 до 6,6 т/га. Такое количество органических удобрений недостаточно для получения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах. Применение минеральных удобрений совместно с органическими способствует замедлению процессов дегумификации.

Анализ упрощенного варианта баланса элементов питания, проведенный на основе изученных материалов, показал, что с 1972 по 2023 год урожайность зерна в районе составляла 1090 ц с гектара в сумме за 52 года, а посевной материал – 104 ц.

Согласно данным Зиганшина А.А. (1990), на тонну урожая пшеницы (зерно:солома =

АГРОНОМИЯ

1:1,5) требуется 30 кг азота, 12 кг фосфора и 18 кг калия. Общий вынос азота с урожаем составил 2958 кг, фосфора – 1183,2 кг, калия – 1774,8 кг.

Так за годы наблюдения вносилось на сельскохозяйственные поля Высокогорского района 4501 кг д.в. минеральных удобрений. При соотношении N:P:K = 50:30:20 (Якушкин и др., 1997) на каждый гектар

пашни поступило 2250,5 кг азота, 350,3 кг фосфора и 900,2 кг калия. А с внесением 198,3 т/га навоза (4 месяца хранения) в почву поступало до 6 кг азота, 4,3 кг фосфора и 7,2 кг калия на тонну, то есть 1189,8 кг азота, 852,7 кг фосфора и 1427,8 кг. Основные результаты упрощенного баланса элементов питания представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Баланс элементов питания в почве за 1972-2023 годы в Высокогорском районе

Показатели	Всего, д.в.	Азот, д.в.	Фосфор, д.в.	Калий, д.в.
Положительные статьи баланса				
1. Минеральные удобрения -NPK= 5:3:2	4501	2250,5	1350,3	900,2
2. Органические удобрения	3470,3	1189,8	852,7	1427,8
Всего	7971,3	3440,3	2203	2328
Отрицательная статья баланса				
Отчуждение с урожаем N:P:K	5916	2958	1183,2	1774,8
Баланс (положительный + и отрицательный -)	+2055,3	+482,3	+1019,8	+553,2

Баланс элементов питания имеет положительные значения по всем исследуемым элементам питания. В упрощенном балансе не учитываются процессы денитрификации и вымывания, поскольку учитывались многолетние статистические данные в разрезе района, без полевых исследований. По азоту баланс равен +482,3 кг за изучаемый период. В данном случае при возделывании яровой пшеницы азот может фиксироваться в результате биологического поглощения. При использовании больших количеств азотных удобрений существует риск загрязнения почвы нитратами, которые также могут накапливаться в овощных культурах.

Показатели подвижного фосфора и калия накапливаются в почве района 1019,8 и 553,2 кг соответственно. Оба элемента имеют положительный баланс. Фосфор – это малоподвижный элемент, его соединения труднорастворимы в воде, поэтому он практически не вымывается из почвенной толщи и аккумулируется в ее запасах. Калий не менее важный элемент и больше подвержен вымыванию. Следовательно, для повышения урожая и сохранения положительного баланса нужно вносить калийные и фосфорные удобрения.

Результаты агрохимического состояния почв Высокогорского района представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Динамика содержания подвижного фосфора, калия и показателей pH в пахотных почвах Высокогорского района

Циклы и годы	P ₂ O ₅	K ₂ O	рН	Удобрения		Урожайность яровой пшеницы, ц/га, У _ф
	мг/кг			мин., кг/га	орг., т/га	
I -1966	51,9	100,8	5,3	нет сведений		
II – 1972	86,9	96,9	5,4	70	4,0	8,2
III -1980	112,4	105,8	5,5	89	5,0	13,1
IV -1987	141,5	113,4	5,5	120	6,6	14,9
V -1991	145,4	124,5	5,5	235	5,3	24,0
VI -1996	165,1	151,4	5,8	92	4,1	19,4
VII–2000	153,0	142,5	5,7	60,2	4,2	35,2
VIII-2002	146,7	130,6	5,7	53,6	1,6	25,3
IX-2006	142,3	125,2	5,7	27,8	1,1	28,2
X-2010	146,9	133,4	5,7	68,7	1,5	32,4
XI-2014	154,0	145,0	5,7	56,7	1,4	24,3
XII-2019	147,2	134,2	5,7	52,2	1,8	27,1
XIII - 2023	157,2	145,1	5,7	55	4,4	24,3

При начальном этапе сельскохозяйственного использования земель, по первому циклу агрохимического обследования данные анализов показали, что большая часть почвенного покрова района (50,8%) характеризовалась низким содержанием фосфора. В то же время доля со средним уровнем обеспеченности фосфора составляла менее 20%. В последующие годы с развитием интенсификации сельского хозяйства соотношение изменилось в сторону сначала доли площади полей

со средним, затем и повышенным содержанием подвижного фосфора. А уже к 1996 году наблюдалось преобладание площадей с высокой степенью обеспеченности подвижным фосфором. И увеличивались средневзвешенные значения подвижного фосфора, достигая значений от 49 в первом цикле до 165,1 мг/кг почвы.

Средневзвешенное содержание калия в почвах района находилось в среднем диапазоне до 5 цикла агрохимического

обследования, а затем повышенного содержания. Однако, в связи с периодически промывным водным режимом, концентрация подвижного калия подвержена значительным колебаниям. Эти данные подтверждаются результатами агрохимических исследований и количеством вносимых удобрений на гектар пашни района представленными в таблице 2.

В отличие от динамики фосфора, содержание калия в почве демонстрирует меньшую изменчивость. За 52 года концентрация калия в почве постепенно возросла со 110 до 151,4 мг/кг, но с XI тура отмечаются волнообразные колебания и к XIII туру зафиксировано средневзвешенное содержание равным 145,1 мг/кг. Годовой прирост в среднем составлял 0,67 мг/кг. Значения pH почвы – ключевой фактор для успешного земледелия. В исследуемом районе преобладают площади слабокислых почв (45,1%). Значительна доля среднекислых – 25,0% и близких к нейтральным – 19,0% почв.

Первоначально средневзвешенный pH пахотных земель составлял 5,4. К последнему обследованию доминируют почвы, близкие к нейтральным (30,1%), а нейтральные почвы занимают 28,0% площади пашни. Участие площади почв со средней кислотностью – 13,8%, а с сильной – 4,3%.

Рост кислотности почвы происходит из-за антропогенного влияния, в том числе за счет применения физиологически кислых удобрений, водной эрозии, которая тоже оказывает негативное влияние на pH почвенного раствора. Так по данным из таблицы 2 средневзвешенная pH почвенного раствора пашни района сдерживается периодическим известкованием и к 2023 году оказалась согласно группировки по степени кислотности в близкой к нейтральной группе (5,6 – 6,0).

Чтобы привести показатели к оптимальным значениям, которые для большинства культур находятся в диапазоне 6,0-7,0 (нейтральные) применяют известкование. Со временем процент площади почв района с нейтральной реакцией среды повышается за счет применения химической мелиорации.

Яровая пшеница – основная культура, возделываемая в Предкамье Республики Татарстан. Ее урожайность отражает состояние АПК на сегодняшний день в целом и интенсификацию земледелия данной территории.

Климатические условия имеют очень большое влияние на получение урожая. От температурного режима и количества получаемых осадков в течение вегетационного периода растений напрямую зависит количество и качество урожая. Как видно из таблицы 2, урожайность яровой пшеницы варьирует по годам от 8,2 до 35,2 ц/га, что можно объяснить постоянно изменяющимися климатическими условиями, которые заметно осложняют мониторинг продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Содержание подвижного фосфора

и подвижного калия за все годы имеют довольно близкие значения, за исключением первого цикла агрохимического обследования, когда они были равны соответственно 51,9 мг/кг и 100,8 мг/кг. За все годы динамика их содержания имеет волнообразный характер. Максимальные значения у фосфора и калия равны 157,2 и 151,4, минимальные – 51,9 и 145,1. Оба максимума характеризуют 10 тур обследования.

Кислотность солевой суспензии колеблется в пределах от 5,3 до 5,8 единиц pH. Сейчас уровень pH почвы зафиксирован на отметке 5,7. Насыщенность почвы минеральными удобрениями в среднем составляет 86,6 килограмм на гектар. Показатель изменчивости для этого параметра – 56,2%.

На каждый гектар земли было внесено 4,4 т навоза. Годовой объем внесения навоза варьируется в диапазоне от 1,6 до 6,6 т, с коэффициентом вариации 32,3%, а в среднем 3,8 т/га.

Ежегодная площадь известкования земель в районе колеблется от 3,4 до 11,4 тыс.га. Средний размер обрабатываемой пашни составляет 5,74 тыс. га при коэффициенте вариации, равном 55%.

Вышеприведенные данные определяют зависимость урожайности яровой пшеницы от количества внесенных удобрений. Подтверждают эту зависимость полученные коэффициенты корреляции, который для фосфора равен 0,61 ($R_2 = 0.37$, $p < 0.05$) а для калия – 0,67 ($R_2 = 0.46$, $p < 0.05$). Наряду с полученными коэффициентами корреляции рассчитаны уравнения регрессии (1, 2).

$$Уф = 0,029 \times P_{205} - 19,47 \quad (1),$$

$$Уф = 0,399 \times K_{20} - 29,49 \quad (2).$$

Используя представленные формулы, становится возможным прогнозировать урожайность яровой пшеницы на заданном участке.

Выводы. 1. С 1972 года, за 52 года в Высокогорском районе на каждый гектар возделываемых земель применялось 4501 килограмм действующих веществ минеральных удобрений и 198,3 т органического удобрения, что в пересчете на ежегодное внесение приходится 90 кг/га и 4 т/га удобрений соответственно. Внесение по годам минеральных удобрений в хозяйствах Высокогорского района существенно варьируют, коэффициент вариации равен 56,2 %.

2. Использование как минеральных, так и органических удобрений существенно повысило продуктивность посевов яровой пшеницы. С 1972 по 2023 год урожайность увеличилась на 18,9 центнера с каждого гектара.

3. Широкое применение минеральных и органических удобрений обеспечило высокое содержание подвижного фосфора, тогда как уровень подвижного калия остался

на повышенном уровне. Это повлияло на изменение концентрации фосфора в пахотном слое (в диапазоне от 51,9 до 157,2 мг/кг) и доступного калия (от 96,9 до 145,1 мг/кг).

4. Показатели урожайности яровой

пшеницы напрямую связаны с изменениями в содержании доступных форм питательных элементов. Статистические данные показывают достоверную степень взаимосвязи показателей (коэффициент от 0,61 до 0,67).

Литература

1. Лукманов А.А. Эколого-агрохимические основы плодородия почв Республики Татарстан Казань: Логос-Пресс, 2024. 272 с. ISBN:978-5-00205-060-4
2. Справочник агрохимика / И.Д. Давлятшин, М.Ю. Гилязов, А.А. Лукманов и др. Казань: ООО «МеДДок», 2013. 300 с.
3. Справочник агрохимика Республики Татарстан / П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, И.Д. Давлятшин и др. Казань: ИП Шайхутдинова А.И., 2015. 324 с.
4. Амиров М. Ф. Толокнов Д. И. Формирование урожая яровой пшеницы в зависимости от использования минеральных удобрений, микроэлементов и гербицида в условиях республики Татарстан // Плодородие. 2020. № 3(114). С. 6-9. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.01.
5. Влияние антропогенной нагрузки на изменение агробиологических свойств почвы, урожайность и качество зерна яровой пшеницы / Н.А. Селезнева, А. Г. Тишкова, Т. Н. Федорова, Т. А. Асеева // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2021. № 3(217). С. 113-118. doi: 10.37102/0869-7698_2021_217_03_18.
6. 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, Г. С. Миннуллин // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 2(46). С. 34-41.
7. Влияние фосфорных удобрений при известковании дерново-подзолистой почвы на качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя / Н.А. Кирпичников, С. П. Бижан, Е. Н. Старостина [и др.] // Агрохимический вестник. 2022. № 2. С. 22-27. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-004.
8. Лукин С. В. Мониторинг плодородия пахотных почв юго-западной части Центрально-Черноземного района России // Агрохимия. 2021. № 3. С. 3-14. doi: 10.31857/S000218812103011X.
9. Конищев А.А., Гарифуллин И.И., Конищева Е.Н. Анализ приемов повышения продуктивности зерновых культур для снижения межгодовой вариации их урожайности //Агрохимия. 2024. №2 С.95-102. doi: 10.31857/80002188124020118.
10. Бадин А. Е., Логошина Т. П. Мониторинг плодородия почв Тамбовской области // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 10. С. 18-21. doi:10.24411/0235-2451-2019-11004.
11. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / О.П. Ермолаев, М.Е. Игонин, А.Ю. Бубнов и др. / Казань: «Слово», 2007. с. 411
12. Красная книга Республики Татарстан. / А.Б. Александрова, Н.А. Бережная, Б.Р. Григорян и др. – Казань: ИЗД-во «Фолант» 2012. 192 с.
13. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Книжный дом «ЛИБРИКОРМ», 2019. 334с. ISBN:978-5-397-06493-4
14. Характер и сила корреляции урожайности яровой пшеницы с почвенными факторами в условиях серой лесной почвы / А. Р. Сержанова, М. Ю. Гилязов, Ф. Ш. Шайхутдинов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т.18. № 2(70). С. 42-49. doi: 10.12737/2073-0462-2023-42-49.
15. Агрохимическое состояние пахотных почв и урожайность озимой ржи ООО "Дуслык" Балтасинского района Республики Татарстан / К. Р. Гарафутдинова, Л. Г. Гаффарова, Е. А. Прищепенко, Г. Ф. Рахманова // Владимирский земледелец. 2020. № 3(93). С. 8-11. doi: 10.24411/2225-2584-2020-10124. EDN CSBPAM.
16. Миникаев Р. В., Фасхутдинов Ф. Ш., Михайлова М. Ю. Управление факторами почвенного плодородия в условиях Республики Татарстан // Агроботехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 4(4). С. 34-39. doi: 10.12737/2782-490X-2022-34-39.
17. Характер и сила корреляции урожайности яровой пшеницы с почвенными факторами в условиях серой лесной почвы / А. Р. Сержанова, М. Ю. Гилязов, Ф.Ш. Шайхутдинов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т.18. № 2(70). С. 42-49. doi: 10.12737/2073-0462-2023-42-49.
18. Влияние фосфорных удобрений при известковании дерново-подзолистой почвы на качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя / Н.А. Кирпичников, С. П. Бижан, Е. Н. Старостина [и др.] // Агрохимический вестник. 2022. № 2. С. 22-27. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-004.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Гаффарова Лилия Габдулбаровна - кандидат биологических наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: gaffarovalylya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3511-7378>

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

Смирнова Елена Васильевна - кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой почвоведения имени И. В. Тюрина Института экологии, биотехнологии и природопользования, email: elenavsmirnova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3081-7615>

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

Матвеева Анастасия Игоревна - студент 4 курса, кафедра агрохимии и почвоведения, e-mail: anastasia.matveeva02@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

VARIABILITY OF AGROCHEMICAL INDICATORS AND SPRING WHEAT YIELD IN VYSOGORSKIY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN L.G. Gaffarova, E.V. Smirnova, A.I. Matveeva

Abstract. An assessment was made based on the retrospective analysis of the content of mobile phosphorus and potassium and spring wheat yield in a time series with the identification of a functional dependence using the example of Vysokogorskiy municipal district of the Republic of Tatarstan for 52 years (1972-2023). The climate in Vysokogorskiy district is moderate - continental. The balance of precipitation and evaporation is characteristic. The soil cover of arable

lands of Vysokogorskiy district is represented by gray forest soils and an insignificant proportion of sod-podzolic soils. Over the years of observation, the average weighted content of mobile phosphorus increased in the district, reaching values from 49 in the first cycle to 165.1 mg/kg of soil (fifth cycle). Over 50 years, the concentration of mobile potassium in the soil gradually increased from 110 to 151.4 mg/kg, but by 2023 a decrease to 145.1 mg/kg was recorded. The annual increase was on average 0.77 mg/kg. The simplified balance of nutrients over the years of observation (52 years) has positive values for all the studied nutrients, for nitrogen it is +482.3 kg/ha, the indicators of mobile phosphorus and potassium accumulate in the soils of the district 1019.8 and 553.2 kg, respectively. Since 1972, for 52 years in Vysokogorskiy district, for each hectare of cultivated land, the annual application of mineral fertilizers was 90 kg and 4 t/ha of organic fertilizers. The use of both mineral and organic fertilizers significantly increased the productivity of spring wheat crops, so from 1972 to 2023, the yield increased by 16.1 centners per hectare. The use of mineral and organic fertilizers ensured a high content of average weighted values of mobile phosphorus (in the range from 51.9 to 157.2 mg/kg), the level of mobile potassium remained at an elevated level (from 96.9 to 145.1 mg/kg). The yield indicators of spring wheat are directly related to changes in the content of available forms of nutrients. Statistical data show a moderate degree of relationship between the indicators (correlation coefficient from 0.61 to 0.67).

Key words: mobile phosphorus, mobile potassium, intensification of agriculture, fertility, productivity, spring wheat.

For citation: Gaffarova L.G., Smirnova E.V., Matveeva A.I. Variability of agrochemical indicators and spring wheat yield in Vysokogorskiy district of the Republic of Tatarstan. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025;2(14). 21-26 p.

References

1. Lukmanov AA. *Ekologo-agrokhimicheskie osnovy plodorodiya pochv Respubliki Tatarstan*. [Ecological and agrochemical basis of soil fertility of the Republic of Tatarstan]. Kazan: Logos-Press. 2024; 272 p. ISBN:978-5-00205-060-4
2. Davlyatshin ID, Gilyazov MYu, Lukmanov AA. *Spravochnik agrokhimika*. [Handbook of agrochemistry]. Kazan: OOO "MeDDok". 2013; 300 p.
3. Chekmarev PA, Lukmanov AA, Davlyatshin ID. *Spravochnik agrokhimika Respubliki Tatarstan*. [Handbook of agrochemistry of the Republic of Tatarstan]. Kazan: IP Shaykhutdinova A.I. 2015; 324 p.
4. Amirov MF, Toloknov DI. [Formation of spring wheat yield depending on the use of mineral fertilizers, trace elements and herbicide in the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Plodorodie*. 2020; 3(114). 6-9 p. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.01.
5. Selezneva NA, Tishkova AG, Fedorova TN, Aseeva TA. [Influence of anthropogenic load on changes in soil agrobiological properties, yield and quality of spring wheat grain]. *Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*. 2021; 3(217). 113-118 p. doi: 10.37102/0869-7698_2021_217_03_18.
6. Mikhaylova MYu, Gilyazov MYu, Nizamov RM, Minnullin GS. [The role of macro- and microfertilizers in increasing the yield and quality of green mass of corn on gray forest soils of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2023; 2(46). 34-41 p.
7. Kirpichnikov NA, Bizhan SP, Starostina EN. [The influence of phosphorus fertilizers during liming of turf-podzole soil on the quality of grain of winter wheat and spring barley]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2022; 2. 22-27 p. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-004.
8. Lukin SV. [Monitoring fertility of arable soils of the south-western part of the Central Chernozem district of Russia]. *Agrokhimiya*. 2021; 3. 3-14 p. doi: 10.31857/S000218812103011X.
9. Konishchev AA, Garifullin II, Konishcheva EN. [Analysis of techniques of increasing the productivity of cereal crops to reduce the interannual variation of their yield]. *Agrokhimiya*. 2024; 2. 95-102 p. doi: 10.31857/80002188124020118.
10. Badin AE, Logoshina TP. [Monitoring of soil fertility of Tatarstan region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019; Vol.33. 10. 18-21 p. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11004.
11. Ermolaev OP, Igonin ME, Bubnov AYU. *Landshafty Respubliki Tatarstan. Regionalnuy landshaftno-ekologicheskiy analiz*. [Landscapes of the Republic of Tatarstan. Regional landscape and ecological analysis]. Kazan: "Slovo". 2007; 411 p.
12. Aleksandrova AB, Berezhnaya NA, Grigoryan BR. *Krasnaya kniga Respubliki Tatarstan*. [Red Book of the Republic of Tatarstan]. Kazan: "Foleant". 2012; 192 p.
13. Dmitriev EA. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii*. [Mathematical statistics in soil science]. Moscow: Knizhnyy dom "LIBRIKORM". 2019; 334 p. ISBN:978-5-397-06493-4
14. Serzhanova AR, Gilyazov MYu, Shaykhutdinov FSh. [The nature and strength of the correlation of the yield of spring wheat with soil factors in conditions of gray forest soil]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 2(70). 42-49 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-42-49.
15. Garafutdinova KR, Gaffarova LG, Prishchepenko EA, Rakhmanova GF. [Agrochemical state of arable soils and yield of winter rye LLC "Duslyk" of Baltasinskiy district of the Republic of Tatarstan]. *Vladimirskiy zemledelets*. 2020; 3 (93). 8-11 p. doi: 10.24411/2225-2584-2020-10124.
16. Minikae RV, Fashutdinov FSh, Mikhaylova MYu. [Management of soil fertility factors in the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2022; 4(4). 34-39 p. doi: 10.12737/2782-490X-2022-34-39.
17. Serzhanova AR, Gilyazov MYu, Shaykhutdinov FSh. [Nature and strength of correlation of spring wheat yield with soil factors in conditions of gray forest soil]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 2 (70). 42-49 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-42-49.
18. Kirpichnikov NA, Bizhan SP, Starostina EN. [The influence of phosphorus fertilizers during liming of turf-podzole soil on the quality of grain of winter wheat and spring barley]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2022; 2. 22-27 p. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-004.

Conflict of interest

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

Authors:

Gaffarova Liliya Gabdulbarovna – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science, e-mail: gaffarovalylya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3511-7378>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.
Smirnova Elena Vasilevna – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Soil science Department named after I.V. Tyurin of Institute of Ecology, Biotechnology and Nature Management, email: elenavsmirnova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3081-7615>
Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia.
Matveeva Anastasiya Igorevna – student of the 4th year, Agrochemistry and Soil science Department, e-mail: anastasiya.matveeva02@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО ОТ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

М. Ю. Михайлова, И. З. Шарафиева, Д. Ю. Капустин

Реферат. Исследования по изучению зависимости урожайности кукурузы на зерно от климатических условий проводились на серых лесных тяжелосуглинистых почвах Предкамья Республики Татарстан с 2021 по 2023 годы. Содержание гумуса по Тюрину 3,8%, подвижного фосфора по Кирсанову более 250 мг/кг, обменного калия также по Кирсанову 145 мг/кг. Высевали четыре гибрида, включенных в Государственный реестр по Средневолжскому региону: ультраранние – Сибирский-135 и Нур и раннеспелые – Байкал и Машук-171. Оригинатор ВНИИ «Кукурузы». Технология возделывания кукурузы была общепринятой для Республики Татарстан. Под предпосевную культивацию вносили фоновое удобрение $N_{16}P_{16}K_{16}$. Общая площадь опытного участка 672 м², площадь одной делянки 42 м². Повторность опыта четырехкратная. Годы исследований характеризовались засушливостью и отсутствием или небольшим количеством осадков в июне, июле и августе. Высота растений сильно коррелирует с погодными условиями. При достаточной обеспеченности влагой гибриды формируют высокий габитус растения. Наибольшая величина урожайности кукурузы с выполненными и выравненными початками формируется в 2022 году. Содержание белка в зерне кукурузы обратно пропорционально величине урожайности, а содержание крахмала, наоборот, прямо пропорционально урожайности. Из всех изучаемых гибридов гибрид Байкал за три года исследований показал наибольшую засухо- и стрессоустойчивость. В среднем за 2021-2023 года высота растений составила 235,0 см, урожайность 7,48 т/га, содержание белка 10,11%.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays*), гибрид, продуктивность, климатические условия, стрессоустойчивость, урожайность, зерно, качество.

Для цитирования: Михайлова М.Ю., Шарафиева И.З., Капустин Д.Ю. Зависимость урожайности кукурузы на зерно от агрометеорологических показателей в условиях Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2(14). С. 27-33.

Введение. Кукуруза – культура теплолюбивая. Предпочитает теплую погоду и хорошо увлажненную почву. Критический период в обеспеченности влагой у кукурузы приходится на период от 30 дней до 10 дней до выметывания и около 20 дней после выбрасывания метелки. В этот период нехватка влаги особенно остро сказывается на величине урожайности. При изменениях климатических условий в последние десятилетия сельскому хозяйству приходится искать пути для получения стабильных урожаев в годы с неблагоприятными погодными условиями. Одним из приемов считается подбор высокопродуктивных, стрессоустойчивых, засухоустойчивых гибридов кукурузы [1, 2].

Рост и развитие кукурузы тесно коррелирует с погодными условиями года возделывания. Кукуруза теплолюбивая культура, хорошо растет при температуре +18-25 °С и хорошей обеспеченности влагой, особенно в период раннего роста и от 30 дней до 10 дней до выметывания и около 20 дней после выбрасывания метелки. Хорошая обеспеченность кукурузы влагой в данный период создает благоприятные условия для формирования высоты растения, а в дальнейшем и урожайности на зерно [3, 4].

В условиях меняющегося климата в сельском хозяйстве особенно остро встает вопрос возделывания пластичных сортов и гибридов, легко адаптирующихся под изменения климатических условий и обеспечивающих стабильным урожаем по годам [5, 6, 7]. За последние десять лет погодные условия в Республике

Татарстан значительно изменились в сторону потепления и засушливости в преобладающую часть вегетационного периода основных сельскохозяйственных культур [8, 9, 10]. Таким образом накладывается отпечаток на величине и качестве урожайности. Многие ранее возделываемые сорта и гибриды не способны выдерживать полное отсутствие осадков в течение месяца [11, 12, 13]. Поэтому на полях все чаще встречаются низкорослые растения пшеницы, ячменя, подсолнечника, кукурузы, не типично для данных сортов и гибридов. Засушливые условия приводят к укорачиванию колоса, щуплости зерна, череззернице початков. Аграрии недополучают урожайность повсеместно [14, 15, 16]. Поэтому были разработаны приемы для уменьшения зависимости величины урожайности и его качества от погодных условий года возделывания культуры. Один из таких приемов является выведение стрессоустойчивых и пластичных сортов и гибридов [17, 18, 19]. Такой прием подходит к возделыванию кукурузы на зерно по общепринятой технологии для условий Республики Татарстан на серых лесных почвах [20, 21].

Цель исследований. Установить зависимость формирования урожая кукурузы на зерно в условиях Республики Татарстан от агрометеорологических условий.

Задачи:

- проанализировать динамику агрометеорологических условий в Республике Татарстан за период 2021-2023 годов.
- проанализировать уровень урожайности кукурузы на зерно с 2021 года;

АГРОНОМИЯ

- выявить наиболее значимые климатические показатели, оказывающие значительное влияние на величину урожайности кукурузы на зерно.

Условия, материалы и методы. Опыты по влиянию климатических условий на урожайность кукурузы на зерно проводились на опытных полях Казанского ГАУ. Почва опытного участка, в основном, типичная серая лесная тяжелосуглинистая. Содержание гумуса по Тюрину 3,8 %, подвижного фосфора по Кирсанову более 250 мг/кг, обменного калия также по Кирсанову

145 мг/кг. Закладывался однофакторный опыт по изучению следующих гибридов кукурузы:

- ультраранний гибрид кукурузы Сибирский - 135 (ФАО 140);
- ультраранний гибрид кукурузы Нур (ФАО 150);
- раннеспелый гибрид кукурузы Байкал (ФАО 170);
- раннеспелый гибрид кукурузы Машук-171 (ФАО 170).

Информация о гибридах по сведению оригинатора представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сведения о гибридах кукурузы по данным оригинаторов

Наименование	Категория	Направление использования	Высота роста, см	Средняя урожайность, т/га
Сибирский-135	трехлинейный гибрид	универсальный	190-200	6,80
Нур	трехлинейный гибрид	универсальный	170-180	10,68
Байкал	трехлинейный гибрид	универсальный	200-210	5,35
Машук-171	трехлинейный гибрид	универсальный	235-240	10,10

Технология возделывания кукурузы была общепринятой для Республики Татарстан. Общий фон минерального питания был представлен основным внесением 150 кг/га азотосодержащего удобрения под предпосевную культивацию разбросным способом ($N_{24}P_{24}K_{24}$).

Погодные условия периода проведения исследований характеризовались как удовлетворительные, засушливые (табл. 2). Показания взяты с метеостанции, установленной на полях ООО «Агробiotехнопарк» в Лаишевском районе Республики Татарстан. Температура воздуха в три года исследований была выше нормативного значения. Осадков

практически не выпадало ежегодно в июне и августе. Благоприятные погодные условия были в 2022 году. Температура отклонялась от средних многолетних данных в мае ниже на $-3,32^{\circ}C$, в июне на $+0,26^{\circ}C$ выше, в июле на $+0,82^{\circ}C$ выше, в августе на $+4,50^{\circ}C$ выше и в августе на $-0,61^{\circ}C$ ниже. По осадкам в 2022 году в мае выпало осадков в два раза больше средних многолетних данных вдвое. В июне выпадало лишь 33,9% от нормы. В июле выпало практически по норме 61,60 мм при средней многолетней величине 62,00 мм. Этого хватило для благоприятного роста и развития кукурузы в течение вегетации.

Таблица 2 – Метеорологические показатели с 2021 по 2023 года

Месяц, декада	Температура воздуха, $^{\circ}C$				Осадки, мм			
	год			среднемноголетние	год			среднемноголетние
	2021	2022	2023		2021	2022	2023	
Май	+18,73	+10,68	+16,02	+14,0	15,0	78,40	46,79	38,00
Июнь	+23,42	+18,56	+16,28	+18,3	15,3	19,3	6,08	57,00
Июль	+22,46	+21,32	+21,48	+20,5	38,6	61,60	33,07	62,00
Август	+22,37	+22,50	+20,15	+18,0	10,7	0,00	20,44	55,00
Сентябрь	+9,7	+11,69	+14,93	+12,3	53,3	60,32	0,84	50,00

Результаты и обсуждение. Высота растений существенно зависит от погодных условий. При достаточном количестве осадков на ранних стадиях развития, а также в критический период потребности

кукурузы в воде (период от 30 дней до 10 дней до выметывания и около 20 дней после выбрасывания метелки (приходится на середину июня и весь июль)) кукуруза формирует нормальный габитус растения. Высота

АГРОНОМИЯ

растений достигает значений, указанных оригинатором гибрида. Показатели были измерены в фазу молочной спелости зерна кукурузы (табл. 3). Важно отметить прямую зависимость значений высоты растений кукурузы и количества осадков в годы проведения исследований. В 2022 году отмечается наибольшая высота растений по четырем исследуемым гибридам. В среднем за три года закладки

опытов гибриды показали высокую засухоустойчивость: средняя высота растений была больше величин, указанных в характеристиках оригинатора на 19,4-40,0 см. Только гибрид Машук-171 в 2023 году сформировал меньшую высоту растений, чем указана в описании данного гибрида. Поэтому средняя величина оказалась ниже на 12,7 см, чем указана в описании оригинатором гибрида.

Таблица 3 – Высота растений в период с 2021 по 2023 года в фазу молочной спелости зерна, см

Гибрид	Высота растений за период, см				По оригинатору	Отклонение
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя		
Сибирский-135	221,3	257,5	164,3	214,4	195	+19,4
Нур	222,0	232,0	191,0	215,0	175	+40,0
Байкал	249,3	256,5	199,3	235,0	205	+30,0
Машук-171	240,8	251,3	180,7	224,3	237	-12,7
НСР ₀₅	40,28	29,74	26,00			

Существенное снижение урожайности от неблагоприятных погодных условий отмечалось у гибридов Сибирский-135 в 2023 году 5,42 т/га, что меньше значения, указанного в описании гибрида на 1,38 т/га (табл. 4). Хотя в более благоприятный 2022 году урожайность при возделывании данного гибрида составила 7,46 т/га. Урожайность гибрида Нур сильно коррелирует с климатическими условиями периода вегетации культуры. Урожайность сильно по годам меняется в зависимости от количества выпавших осадков. Наименьшая урожайность сформировалась в 2021 году, а наибольшая – в 2022 году. В среднем за годы

исследований уровень урожайности данного гибрида не достигал значений, указанных оригинатором гибрида Нур. Гибрид Байкал обеспечивал получение высоких урожаев и в 2023 год, и в 2022 году. Во все три года исследований возделывание гибрида обеспечивало получение большей урожайности, чем указано в описании оригинатора гибрида. В среднем за три года исследований урожайность гибрида Байкал была выше на 2,13 т/га значения оригинатора. Урожайность гибрида Машук-171 была близка уровню урожайности гибрида Нур. Наибольшая урожайность была получена в 2022 году, наименьшая в 2021 году.

Таблица 4 – Урожайность кукурузы на зерно за период с 2021 по 2023 года, т/га

Гибрид	Урожайность за период, т/га				По оригинатору	Отклонение
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя		
Сибирский-135	7,07	7,46	5,42	6,65	6,80	-0,15
Нур	4,64	7,92	5,13	5,90	10,68	-4,78
Байкал	5,98	8,29	8,16	7,48	5,35	+2,13
Машук-171	4,78	7,92	5,62	6,11	10,10	-3,99
НСР ₀₅	0,64	0,97	1,00			

Анализ структуры урожая можно оценить по рисунку. Невыполненные початки были получены в 2021 году у гибрида Сибирский-135, Нур, Байкал. Более выравненные и выполненные початки были получены

в 2023 году у гибрида Сибирский-135, в 2022 и 2023 у гибрида Нур, в 2022 году у гибридов Байкал и Машук-171. У последнего в 2021 и 2023 годах были мелкие початки, в среднем длина початков не превышала 20 см.

АГРОНОМИЯ		
Гибрид кукурузы Сибирский-135		
		
2021 год	2022 год	2023 год
Гибрид кукурузы Нур		
		
2021 год	2022 год	2023 год
Гибрид кукурузы Байкал		
		
2021 год	2022 год	2023 год
Гибрид кукурузы Машук-171		
		
2021 год	2022 год	2023 год

Рисунок - Початки изучаемых гибридов кукурузы за период с 2021 по 2023 года

Оценка влияния погодных условий на качественные характеристики кукурузы на зерно представлены в таблице 5. При высоком

уровне урожайности содержание протеина в зерне кукурузы уменьшается. Если в 2022 году у исследуемых гибридов была получена

максимальная урожайность, то содержание протеина в зерне было наименьшим. Наибольшее содержание протеина было получено в 2023 году. За три года проведения опытов содержание протеина в зерне кукурузы всех гибридов оказалось больше, чем указано в описании оригинаторов. Можно сделать вывод, что содержание протеина в зерне кукурузы

несущественно зависело от климатических условий года. С ростом средней величины урожайности содержание белка в зерне кукурузы уменьшается. В среднем увеличение содержания белка в зерне наблюдается у гибридов в следующей последовательности: Машук-171, Байкал, Сибирский-135, Нур.

Таблица 5 – Содержание белка (протеина) в зерна кукурузы за период с 2021 по 2023 года

Гибрид	Содержание белка, %				По оригинатору	Отклонение
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя		
Сибирский-135	11,84	11,31	12,20	11,78	8,61	+3,17
Нур	12,50	10,13	13,60	12,08	9,60	+2,48
Байкал	12,10	10,31	12,80	11,74	10,80	+0,94
Машук-171	10,60	8,87	11,50	10,32	8,30	+2,02
НСР ₀₅	2,16	0,59	2,15			

Содержание крахмала в зерне кукурузы по годам исследований значительно варьировало, и выявить какой-либо зависимости между изменением климатических условий и ростом или, наоборот, снижением урожайности невозможно (табл. 6) Однако максимальное содержание крахмала в зерне трех гибридов отмечалось в 2022 году при наиболее

благоприятных погодных условиях и наибольшей величине урожайности. Наибольшее среднее содержание крахмала было получено в зерне гибрида Сибирский-135 – 72,62%. Наиболее близкое значение содержания крахмала в зерне к данным оригинатора отмечалось у гибрида Байкал (60,14% против 64,30%).

Таблица 6 – Содержание крахмала в зерна кукурузы за период с 2021 по 2023 года

Гибрид	Содержание крахмала, %				По оригинатору	Отклонение
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя		
Сибирский-135	75,40	56,46	86,00	72,62	80,00	-7,38
Нур	55,61	56,85	54,00	55,49	72,40	-16,91
Байкал	60,32	61,10	59,00	60,14	64,30	-4,16
Машук-171	62,75	63,70	46,00	57,48	69,50	-12,02
НСР ₀₅	9,74	7,96	10,18			

Выводы. Наибольшей высоты растений гибриды достигали в 2022 году. В этот же год была получена наибольшая урожайность по всем гибридам. Засушливые условия и отсутствие влаги приводит к формированию невыполненных початков. Более выравненные и выполненные початки формируются в 2023 году у гибрида Сибирский-135, в 2022 и 2023 году у гибрида Нур, в 2022 году у гибридов Байкал и Машук-171. Содержание белка в зерне менялось от величины урожайности: чем выше урожайность, тем ниже содержание белка в

зерне кукурузы. А содержание крахмала, наоборот, в прямой зависимости: чем больше урожайность, тем выше содержание крахмала в зерне. Из анализируемых гибридов за три года исследований с 2021 по 2023 год выделяется гибрид Байкал, который характеризовался наибольшей высотой растений 235,0 см, максимальной урожайностью зерна 7,48 т/га, более выравненными початками по годам не менее 20 см длиной и наибольшим содержанием белка в зерне 10,11%.

Литература

1. 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. doi 10.12737/2073-0462-2024-33-39.
2. Таланов И. П., Михайлова М. Ю., Каримова Л. З. Отзывчивость гибридов кукурузы на внесения расчетных доз минеральных удобрений в условиях Предволжья РТ // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10, № 2(36). С. 123-127. doi 10.12737/12516.
3. Яхин, И. Ф. Влияние агрономических и агрохимических факторов на продуктивность орошаемой гибридной кукурузы Росс 140 СВ в почвенно-климатических условиях Республики Татарстан / И. Ф. Яхин // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 4(12). С. 52-58. doi 10.12737/2782-490X-2024-52-58.
4. Багрянцева В. Н., Ивашенко И. Н. Влияние погодных условий на эффективность применения азотного

удобрения под кукурузу на зелёную массу // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102, № 3. С. 126-134. doi 10.33284/2658-3135-102-3-126.

5. Mikhailova M. Yu., Minikaev R. V., Faskhutdinov F. Sh., Vafina L. T. Potential of corn hybrids of universal use // BIO Web of Conferences. 2022. Vol. 52. P. 00085. doi 10.1051/bioconf/20225200085.

6. Шарифьянов Б. Г., Юмагузин И.Ф., Аминова А. Л., Шагалиев Ф. М. "Кубические" гибриды - прорыв в силосном направлении // Аграрная наука. 2022. № 2. С. 88-89.

7. Михайлова М. Ю., Таланов И. П. Питательная ценность гибридов кукурузы при возделывании на зелёную массу // Аграрная наука. 2016. № 4. С. 9–11.

8. Мустафина А. Б. Изменения основных климатических показателей на территории Республики Татарстан за период 1966-2013 гг. // Географический вестник. 2017. № 2(41). С. 99-108. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108.

9. Мустафина А. Б. Агроклиматические условия Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. Т. 28, № 3. С. 298-307.

10. Оценка агроклиматических ресурсов и урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан / В. Н. Павлова, Ю. П. Переведенцев, А. А. Караченкова [и др.] // Метеорология и гидрология. 2023. № 1. С. 90-102. doi 10.52002/0130-2906-2023-1-90-102.

11. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / А. Р. Валиев, Р. М. Низамов, Р. И. Сафин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 1(65). С. 97-107. doi 10.12737/2073-0462-2022-97-107.

12. Панфилова О. Н., Дерунова С.Н. Основные элементы технологии возделывания гибридов кукурузы на зерно на северо-западе Волгоградской области // Орошаемое земледелие. 2023. № 1(40). С. 20-24. doi 10.35809/2618-8279-2023-1-5.

13. Продуктивность кукурузы Росс 140 в зависимости от уровня химизации зональных почв республики Татарстан / Ф. Н. Сафиоллин, М. М. Хисматуллин, А. А. Лукманов [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2023. № 115. С. 199-223. doi 10.19047/0136-1694-2023-115-199-223.

14. Мустафина А. Б. Основные особенности влияния погодных условий на урожайность зерновых культур в Республике Татарстан // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 2(372). С. 144-153.

15. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы по агрохимическим свойствам в условиях Тетюшского района Республики Татарстан / А. А. Лукманов, Ю. П. Переведенцев, А. Б. Мустафина [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 3(71). С. 39-45. doi 10.12737/2073-0462-2023-39-45.

16. Mikhailova M. U., Talanov P. I. Cultivation of corn hybrids on the expected nutritional background in the Volga region of the Republic of Tatarstan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. Vol. 341. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012008. doi 10.1088/1755-1315/341/1/012008.

17. 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.

18. Экологический подход в адаптированной системе селекции среднепоздних гибридов кукурузы (ФАО 300-399) в Нижнем Поволжье / С. А. Зайцев, В. И. Жужукин, Л. А. Гудова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 19-24. doi 10.28983/asj.y2021i3pp19-24.

19. Шмалко И. А. Урожайность раннеспелых гибридов кукурузы в зависимости от густоты стояния растений // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 19-24.

20. Особенности системы основной обработки почвы на орошении в почвенно-климатических условиях Республики Татарстан / И. И. Габбасов, С. Р. Сулейманов, Ф. Н. Сафиоллин [и др.] // Земледелие. 2023. № 7. С. 7-10. doi 10.24412/0044-3913-2023-7-7-10.

21. Чекмарев П. А., Фомин В. Н., Турнин С. Д. Влияние сорта и удобрений на урожайность кукурузы при возделывании на зерно // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 9. С. 22-24.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Михайлова Марина Юрьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения¹, e-mail: marisha.m.u@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0894-9275>

Шарафиева Илоса Зульфатовна – аспирант¹, агроном², e-mail: kurbangaliev_1999@mail.ru

Капустин Денис Юрьевич – аспирант¹, заместитель начальника Управления организации страхования профессиональных рисков³, e-mail: denis.kapustin17@mail.ru

¹Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

²ООО «Агрокомплекс «Ак Барс» Арского района Республики Татарстан, г. Арск, Россия

³Отделение Социального фонда Российской Федерации по Республике Татарстан, г. Казань, Россия

DEPENDENCE OF CORN YIELD ON AGROMETEOROLOGICAL INDICATORS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

M.Yu. Mikhaylova, I.Z. Sharafieva, D.Yu. Kapustin

Abstract. Studies on the dependence of corn yield on climatic conditions were carried out on gray forest heavy loamy soils of Kama region of the Republic of Tatarstan from 2021 to 2023. Humus content according to Tyurin is 3.8%, mobile phosphorus according to Kirsanov is more than 250 mg/kg, exchangeable potassium also according to Kirsanov is 145 mg/kg. Four hybrids included in the State Register for Middle Volga region were sown: ultra-early - Sibirskiy-135 and Nur and early ripening - Baikal and Mashuk-171. Originator: All-Russian Research Institute of Corn. The technology of corn cultivation was generally accepted for the Republic of Tatarstan. Background fertilizer N16P16K16 was applied for pre-sowing cultivation. The total area of the experimental plot was 672 m², the area of one plot was 42 m². The experiment was repeated four times. The research years were characterized by drought and little or no precipitation in June, July and

August. Plant height strongly correlates with weather conditions. With sufficient moisture supply, hybrids form a high plant habitus. The highest yield of corn with full and aligned ears is formed in 2022. The protein content in corn grain is inversely proportional to the yield, and the starch content, on the contrary, is directly proportional to the yield. Of all the hybrids studied, Baikal hybrid showed the greatest drought and stress resistance over three years of research. On average, for 2021-2023 the height of the plants was 235.0 cm, the yield was 7.48 t/ha, the protein content was 10.11%.

Key words: corn (*Zea mays*), hybrid, productivity, climatic conditions, stress resistance, yield, grain, quality.

For citation: Mikhaylova M.Yu., Sharafieva I.Z., Kapustin D.Yu. Dependence of corn yield on agrometeorological indicators in the Republic of Tatarstan. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 2 (14). 27-33 p.

References

1. 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. doi 10.12737/2073-0462-2024-33-39.
2. Talanov IP, Mikhaylova MYu, Karimova LZ. [Responsiveness of corn hybrids to the 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 10.12737/12516.
3. Yakhin IF. [Influence of agronomic and agrochemical factors on the productivity of irrigated hybrid corn Ross 140 SV in soil and climatic conditions of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2024; 4(12). 52-58 p. doi 10.12737/2782-490X-2024-52-58.
4. Bagrintseva VN, Ivashenko IN. [Influence of weather conditions on the efficiency of nitrogen fertilizer application for green mass of corn]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2019; Vol.102. 3. 126-134 p. doi 10.33284/2658-3135-102-3-126.
5. Mikhaylova MYu, Minikaev RV, Faskhutdinov FSh, Vafina LT. Potential of corn hybrids of universal use. *BIO Web of Conferences*. 2022; Vol.52. 00085 p. doi 10.1051/bioconf/20225200085.
6. Sharifyanov BG, Yumaguzin IF, Aminova AL, Shagaliev FM. ["Cubic" hybrids - a breakthrough in the silage direction]. *Agrarnaya nauka*. 2022; 2. 88-89 p.
7. Mikhaylova MYu, Talanov IP. [Nutritional value of corn hybrids when grown for green mass]. *Agrarnaya nauka*. 2016; 4. 9-11 p.
8. Mustafina AB. [Changes in the main climatic indicators in the Republic of Tatarstan for the period 1966-2013]. *Geograficheskiy vestnik*. 2017; 2(41). 99-108 p. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108.
9. Mustafina AB. [Agroclimatic conditions of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*. 2018; Vol.28. 3. 298-307 p.
10. Pavlova VN, Perevedentsev YuP, Karachenkova AA. [Assessment of agroclimatic resources and spring wheat productivity in the Republic of Tatarstan]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2023; 1. 90-102 p. doi 10.52002/0130-2906-2023-1-90-102.
11. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI. [Priorities for the development of the agro-industrial complex and tasks of agricultural science and education]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 1(65). 97-107 p. doi 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
12. Panfilova ON, Derunova SN. [Basic elements of corn hybrids cultivating technology in the north-west of Volgograd region]. *Oroshaemoe zemledelie*. 2023; 1(40). 20-24 p. doi 10.35809/2618-8279-2023-1-5.
13. Safiollin FN, Khismatullin MM, Lukmanov AA. [Productivity of Ross 140 corn depending on the chemicalization level of zonal soils of the Republic of Tatarstan]. *Byulleten Pochvennogo instituta im.V.V. Dokuchaeva*. 2023; 115. 199-223 p. doi 10.19047/0136-1694-2023-115-199-223.
14. Mustafina AB. [Main features of influence of weather conditions on the productivity of grain crops in the Republic of Tatarstan]. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*. 2019; 2(372). 144-153 p.
15. Lukmanov AA, Perevedentsev YuP, Mustafina AB. [Forecasting spring wheat productivity based on agrochemical properties in the conditions of Tetyushskiy district of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 3(71). 39-45 p. doi 10.12737/2073-0462-2023-39-45.
16. Mikhaylova MYu, Talanov PI. Cultivation of corn hybrids on the expected nutritional background in Volga region of the Republic of Tatarstan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18-19 aprelya 2019 goda*. Vol.341. Kurgan: IOP Publishing Ltd. 2019; 012008 p. doi 10.1088/1755-1315/341/1/012008.
17. Mikhaylova MYu, Minikaev RV, Amirov MF. [The effect of foliar feeding on the formation of generative organs of maize]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 1(73). 12-17 p. doi 10.12737/2073-0462-2024-12-17.
18. Zaytsev SA, Zhuzhukin VI, Gudova LA. [Ecological approach in the adapted system of breeding mid-late corn hybrids (FAO 300-399) in Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2021; 3. 19-24 p. doi 10.28983/asj.y2021i3pp19-24.
19. Shmalko IA. [Productivity of early-ripening corn hybrids depending on plant density]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 1. 19-24 p.
20. Gabbasov II, Suleymanov SR, Safiollin FN. [Features of primary tillage system with irrigation in the soil and climatic conditions of the Republic of Tatarstan]. *Zemledelie*. 2023; 7. 7-10 p. doi 10.24412/0044-3913-2023-7-7-10.
21. Chekmarev PA, Fomin VN, Turnin SD. [Effect of variety and fertilizers on corn productivity grown for grain]. *Dostizheniya nauki i tekhniki*. Vol.31. 9. 22-24 p.

Conflict of interest

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

Authors:

Mikhaylova Marina Yurevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agrochemistry and Soil Science Department¹, e-mail: marisha.m.u@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0894-9275>

Sharafieva Ilyusa Zulfatovna – graduate student¹, agronomist², e-mail: kurbangalieva_1999@mail.ru

Kapustin Denis Yurevich – graduate student¹, Deputy head of Department of professional risk insurance organization³, e-mail: denis.kapustin17@mail.ru

¹Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

²LLC "Agrocomplex "Ak Bars" of Arsk district of the Republic of Tatarstan, Arsk, Russia

³Branch of the Social Fund of the Russian Federation for the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТОВ, НАСЫЩЕННЫХ КРУПЯНЫМИ КУЛЬТУРАМИ И ЭКОНОМИКА ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОЛБЫ

А.В. Погодина

Реферат. В данной работе представлены основные этапы организации территории полевых севооборотов с учетом принципов агроландшафтного подхода на основе разработанного аналитического модуля к имеющейся базе данных. Для I агропроизводственной группы земель (высокоплодородные, плакорные земли) предложен адаптивный зерно-паро-пропашной севооборот: пар занятый – озимая пшеница – яровой рапс – полба – ячмень – кукуруза на силос – горох – озимая рожь – яровая пшеница со средним сбором с 1 гектара севооборотной площади 3,5 тыс. зерн. ед/га. Производственные исследования на посевах полбы (двузернянки) проводились в 2020-2023 годах на территории Сабинского муниципального района в почвенно-климатических условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. Серая лесная почва pH_{KCl} была близка к нейтральной – 6,2, содержание гумуса по Тюрину – 3,4%. Общая площадь опытных участков составила 0,5 га, опыты проводились с трёхкратной повторностью при систематическом размещении вариантов. Для сравнения вариантов опыта использовался метод наименьшей существенной разницы. Схема опыта: Фактор А – расчетные фоны удобрений: I. Контроль (без удобрений); II. $N_{59}P_{30}K_{48}$ на получение 2,5 т/га зерна; III. $N_{71}P_{36}K_{58}$ - на получение 3,0 т/га зерна. Фактор В – предпосевная обработка семян биопрепаратами: I. Доспех 3 – 0,5 л/т семян (контроль без обработки); II. Азотовит – 1 л/т семян; III. Ризоагрин – 1 л/т семян; IV. Биостим Старт – 1 л/т семян. Максимальная рентабельность 42,4% была получена в варианте применения биопрепарата Биостим Старт в дозе 1 л/т семян совместно с применением минеральных удобрений с расчетом получения 3,0 т/га зерна против 21,9% в контроле.

Ключевые слова: крупные культуры, севооборот, ГИС-технологии, полба, биопрепараты, агроэкологическая типизация.

Для цитирования: Погодина А.В. Организация территории полевых севооборотов, насыщенных крупными культурами и экономика применения агрохимикатов при возделывании полбы// Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2(14). С. 34-39.

Введение. В России существует классификация зерновых культур, принятая Госсортокомиссией по испытанию и охране селекционных достижений. Исходя из основного назначения и способов использования урожая культур выделяют: зерновые культуры – пшеница, рожь и тритикале; крупяные – рис, просо, гречиха; зернофуражные – овес и ячмень; зерно-кормовые – кукуруза, сорго, африканское просо, чумиза, суданская трава и др.

Значение крупяных культур трудно переоценить, на протяжении сотен лет крупы являются основой рациона питания большинства жителей планеты. В Татарстане к основным крупяным зерновым культурам относятся просо и гречиха. Однако в структуре посевных площадей они занимают незначительный вес.

Так, по данным Росстата если в 2015 году в структуре посевных площадей Республики Татарстан доля выращивания проса составляла 0,05% (1,4 тыс. га), гречихи – 0,6% (16,6 тыс. га), то к 2023 году отмечено уменьшение посевов проса до 0,6 тыс. га (0,03%) и увеличение площадей гречихи до 17,1 тыс. га (0,7%) [1]. По Российской Федерации в настоящее время доля крупяных культур в структуре посевов – 1,8%, доля по Приволжскому Федеральному округу – 2,7%. А если учесть, что в год минимальная норма потребления на одного человека пшеница – 1,5-2,0 кг, гречки – 3,0-3,5 кг [2], то очевидно, что производство данных культур находится на недостаточном уровне. Возможно, одна из причин столь низкого производства – сильные

колебания урожайности по годам. В качестве примера приведем данные МСХиП РТ за 2019-2023 годы. Средняя урожайность гречихи за 2020-2023 года составила 10,9 ц/га (минимальная в 2021 году – 9,0 ц/га, максимальная в 2022 году – 16,0 ц/га), а средняя урожайность проса за эти же годы 19,1 ц/га (минимальная в 2023 году – 6,7 ц/га, максимальная в 2022 году – 32,0 ц/га).

Расширение посевов крупяных культур должно происходить не только для достижения продовольственной безопасности нашей страны, но и для обеспечения населения разнообразными, вкусными и здоровыми продуктами питания. Стоит обратить особое внимание на культуру полбы – она может стать хорошей альтернативой за счет своей потенциально более высокой урожайности, неприхотливости к почвенным условиям, засухоустойчивости, стрессоустойчивости [3,4], а также высокой питательной ценности [5,6,7]. Средняя урожайность по республике за 2020-2023 года составила 25,8 ц/га, максимальная урожайность была получена в 2022 г – 42,5 ц/га. Полба относится как к зерновой, так и к крупяной категории. До XIX века она была широко распространённой культурой на Руси, составляя значительную часть повседневного рациона русских крестьян. Ее полюбили за сладковатый, насыщенный вкус, хорошую развариваемость и выход крупы (75-80%) [3,4,8]. Считается, что полба (двузернянка) по питательности как крупяная культура превосходит овес,

ячмень и не уступает гречихе и рису [9]. Важно учитывать, что полба может удовлетворить вкусовые предпочтения потребителей, предлагая им разнообразные и питательные блюда, мучные изделия и напитки, что делает её привлекательной для современного рынка продуктов питания [6,7].

Увеличение площадей крупных культур следует начинать с планирования научно-обоснованной системы севооборотов. Организация территории внутрихозяйственного землеустройства на основе агроландшафтного проектирования позволяет наиболее рационально использовать земельные ресурсы, улучшает экосистему, позволяет повышать уровень плодородия, а значит в конечном итоге – вести сельское хозяйство прибыльно [10,11]. Внедрение ГИС-технологии для создания карт плодородия, развития негативных процессов, анализа рельефа и почвенных данных в настоящее время – это обязательный элемент при разработке комплекса управленческих решений, позволяющий с легкостью автоматизировать процесс организации территории хозяйств [12,13].

Цели исследований: 1) Оптимизация использования почвенных ресурсов посредством разработки севооборота, насыщенного крупными культурами, на уровне отдельного сельскохозяйственного предприятия; 2) Оценка экономической эффективности применения биопрепаратов в предпосевной подготовке семян полбы (двузернянки) на серых лесных почвах с учетом расчетных норм минеральных удобрений.

Условия, материалы и методы. Для основы исследований были оцифрованы материалы почвенного обследования РОСГИПРОЗЕ-МА 70-90х годов. Сабинского муниципально-го района. Все сведения вносились в электронную базу данных центра агрохимической службы «Татарский» на основе системы управления базами данных PostgreSQL. Операционная деятельность осуществлялась в среде ArcGIS. Для обработки почвенных и агрохимических данных нами был разработан специализированный модуль базы данных на языке программирования PHP с веб-интерфейсом, обеспечивающий автоматизацию процессов обеспечения почвенных, эрозионных карт и карт агроэкологических типов земель.

Полевые опыты закладывались в 2020-2023 года на территории хозяйства ООО «Саба» отделение «Сатышево» Сабинского района РТ. Сорт полбы Руно был выбран по результатам ранее проведенных исследований [14,15]. Почва – серая лесная тяжелосуглинистая. Кислотность почвы опытного участка (в солевой вытяжке) – 6,2; по содержанию обменного фосфора по Кирсанову – 127 мг/кг, по обменному калию – 138 мг/кг, содержание гумуса – 3,4% по Тюрину. Двухфакторный опыт заложен по Б.А. Доспехову [16], размер делянок 108 м² с систематическим расположением,

трехкратная повторность.

Схема опыта: Фактор А – расчетные фоны удобрений: I. Контроль (без удобрений); II. N₅₉P₃₀K₄₈ – внесение удобрений на получение 2,5 т/га зерна; III. N₇₁P₃₆K₅₈ – внесение удобрений на получение 3,0 т/га зерна.

Фактор В – предпосевная обработка семян биопрепаратами: I. Доспех 3 – 0,5 л/т семян (контроль без обработки); II. Азотовит – 1 л/т семян; III. Ризоагрин – 1 л/т семян; IV. Биостим Старт – 1 л/т семян. Обработка семян полбы биопрепаратами Азотовитом (бактерии рода *Beijerinckia fluminensis*) и Ризоагрином (*Agrobacterium radiobacter*) проводилась непосредственно в день посева в темном помещении. Биостим Старт (содержащий аминокислоты, полисахариды и ряд макро- и микроэлементов: N, P₂O₅, K₂O, MgO, Mn, Zn, Cu, B, Mo) применялся за 10-15 дней до посева совместно с фунгицидом Доспех-3.

Согласно принятой в регионе классификации гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) 0,5-1 характеризует засушливость; ГТК < 0,5 – крайнюю засушливость; ГТК > 1,0 – избыточную влажность и ГТК = 1,0 говорит о сбалансированности прихода и расхода влаги [17], в 2020 и 2022 годы ГТК составили 1,5 и 1,25 соответственно – достаточно увлажненные годы, тогда как 2021 и 2023 годы имели характеристики засушливости с ГТК – 0,55 и 0,84.

Результаты и обсуждение. ООО «Саба» расположено в Предкамской зоне Республики Татарстан. Сначала была построена почвенная карта отделения «Сатышево». При пересечении почвенных разностей с существующими полями хозяйства выделяются элементарные почвенные ареалы – наименьшие однородные участки почвенного покрова, внутри которых сохраняется одинаковый тип почвы и одинаковые агрофизико-химические свойства. Они незаменимы при анализе вариабельности содержания питательных элементов, а также при оценке уровня продуктивности полей.

В почвенном покрове данного отделения хозяйства преобладают серые лесные почвы – 61%, второстепенными почвами являются подзолистые – 23,5%, дерново-карбонатные занимают 11,9% территории, лугово-черноземные – 2,4% и пойменные – 1,2%. Почвы в основном среднесуглинистого гранулометрического состава – 59%, тяжелосуглинистого и глинистого – 35 %, легкосуглинистого – 6%.

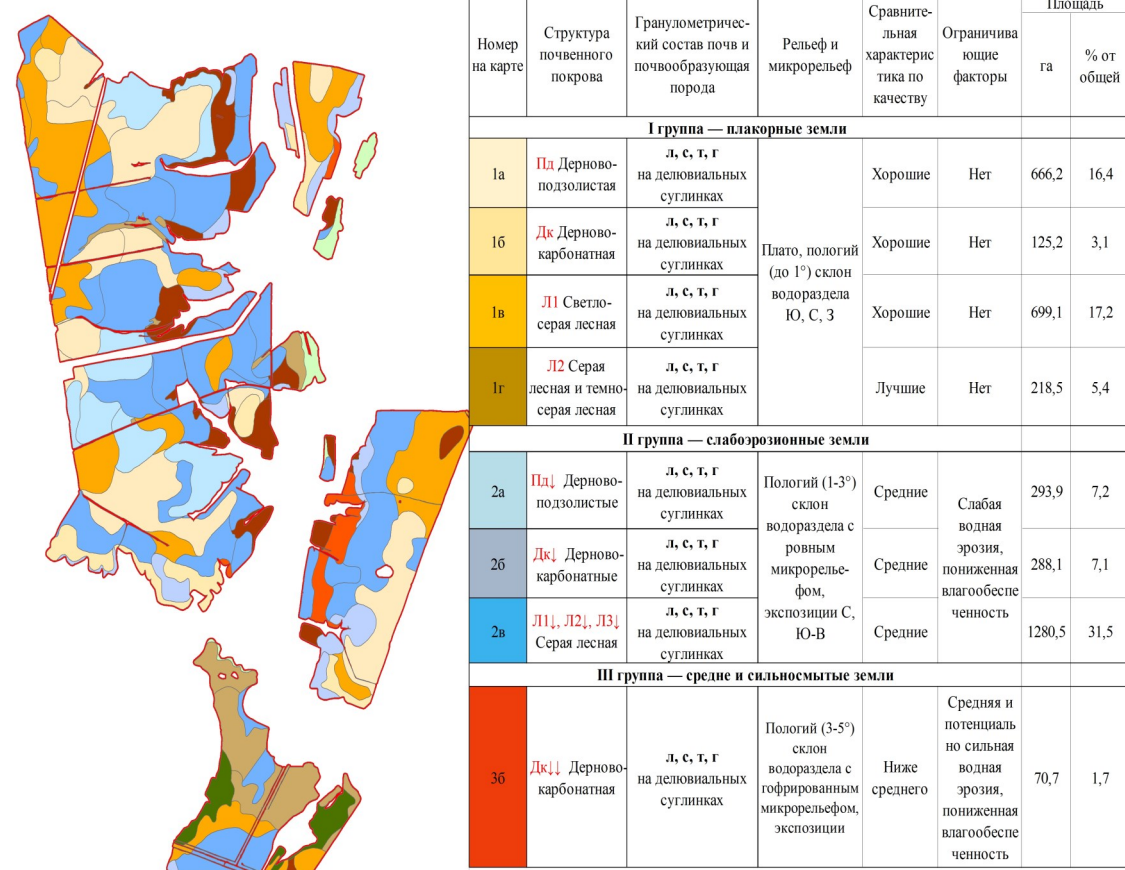
Далее создаются карты эрозионных процессов, уклонов и экспозиции. В данном отделении хозяйства 46% почв относятся к слабосмытым почвам, 45 % – эрозионно неопасные на пологом склоне водораздела, 9% - к среднесмытым почвам с уклоном 3-5°. Все имеющиеся данные по плодородию, мощности гумусового горизонта, плотности, каменистости также вносятся в базу данных. Эти сведения являются основой для дальнейшей разработки адаптивно-ландшафтной системы земледелия, расчета баллов и индексов

АГРОНОМИЯ

плодородия, выделения категории особо ценных земель, расчета нормативной урожайности и кадастровой оценки земель.

Результатом анализа всех имеющихся сведений является выделение однородных групп земель по почвенным условиям, наличию и склонности к процессам эродированности, рельефу, негативным процессам, для которых

необходима разработка разных типов систем земледелия и севооборотов – как структурной единицы (рис.1). Данный процесс автоматизирован с помощью созданного модуля для работы с базой данных. Всего выделяется 4 агроэкологических класса земель: плакорный (равнинные земли), два склоновых и гидроморфный.



Примечание: л – легкосуглинистые; с – среднесуглинистые; т – тяжелосуглинистые; г – глинистые почвы.

Рисунок 1 - Карта агропроизводственных групп почв ООО «Саба» отделения «Сатышево»

В соответствии с этими агроэкологическими типами делается нарезка на поля в севооборотах по степени пригодности для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур, с учетом общей специализации сельскохозяйственного предприятия. Возможно пренебрежение мелкими нетипичными выбивающимися из общей группы участками другого класса, для оптимизации проводимых агротехнических приемов в дальнейшем.

В анализируемом отделении данного хозяйства из 4071,3 га пашни 45,8% относится ко II агрогруппе земель, 8,7% - к III группе и 3,5% - к IV группе. К I группе плакорных земель без ограничивающих факторов для производства относится 42,1% земель – 1709 га. Возможны зернотравянопропашные и зернопаропропашные севообороты с сидеральным паром. Известкование. Применение высокоинтенсивных агротехнологий.

Дифференцированная система обработки почвы с созданием на поверхности мульчи из органических остатков. Обычно эти земли не подвержены водной и ветровой эрозии и проведение противоэрозионных мероприятий не требуется.

Рекомендованный адаптивный зерно-паропропашной севооборот для I агрогруппы земель: пар занятый – озимая пшеница – яровой рапс – полба – ячмень – кукуруза на силос – горох – озимая рожь – яровая пшеница.

Хотя длительный цикл усложняет организацию управления и учет питательных веществ, продуманная стратегия ведения хозяйства и регулярный мониторинг агрохимических показателей сводят эти риски к минимуму и обеспечивают высокую экономическую выгоду. Разнообразие культур в севообороте снижает вероятность накопления вредных организмов и болезней, характерных

АГРОНОМИЯ

для отдельных видов растений. Занятый пар (чаще однолетние зернобобовые культуры) – это отличный способ борьбы с сорняками и болезнями, улучшения структуры почвы, источник дополнительного получения продукции. Выбор культуры для занятого пара зависит от состояния плодородия конкретного поля и задач хозяйства. Рапс и кукуруза благодаря своей мощной корневой системе улучшает водопроницаемость и аэрацию почвы, что положительно сказывается на последующих культурах. Полба обладает устойчивостью к неблагоприятным условиям и низким требованиям к почве, что делает её отличным выбором после интенсивных культур, таких как рапс. Также в научной

литературе имеются сведения, что после рапса у полбы отмечается повышенное содержание белка, клейковины и N, P, Fe и Zn в зерне и увеличение урожайности [18].

В таблице 1 представлен валовый сбор зерновых единиц с данного севооборота, исходя из средних урожайностей культур в зоне исследования. Средний сбор с 1 гектара севооборотной площади составил 3,5 тыс. зерн.ед/га. Коэффициенты перевода сельскохозяйственных культур в зерновые единицы были взяты из Приказа Минсельхоза России от 06.07.2017 года №330. В таблице 2 представлены показатели экономической эффективности в наших исследованиях.

Таблица 1 - Продуктивность зерно-паро-пропашного севооборота, т/га

№ поля севооборота	Культуры								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Показатель	пар заня-тый	озимая пше-ница	яро-вой рапс	пол ба	яч-мень	кукуруза на силос	го-рох	ози-мая рожь	яр. пше-ница
Средние урожайности, т/га	25	4,5	2,8	2,5	2,7	30	2,5	3,14	3,5
Коэффициент перевода в зерн.ед.	0,14	1	1,36	1	1	0,17	0,99	1	1
Сбор зерновых единиц, т/га	3,5	4,5	3,8	2,5	2,7	5,1	2,5	3,14	3,5

Таблица 2 - Экономические показатели применения минеральных удобрений и биопрепаратов в технологии возделывания полбы Руно (2020-2023 годы)

Фактор А (расчетные дозы NPK)	Фактор В (биопрепараты в предпосевной обработке семян)	Урожайность, т/га	Стоимость валовой продукции, тыс. руб./га	Общие затраты, тыс. руб./га	Чистая прибыль, тыс. руб./га	Рентабельность, %	Себестоимость, тыс. руб./т
Контроль (без удобрений)	Доспех 3 – 0,5 л/т семян (контроль)	1,45	23,9	19,6	4,3	21,9	13,5
	Азотовит - 1 л/т	1,50	24,8	20,0	4,8	24,0	13,3
	Ризоагрин - 1 л/т	1,58	26,1	20,8	5,3	25,5	13,2
	Биостим Старт – 1 л/т	1,64	27,1	21,2	5,9	27,8	12,9
Фон питания на 2,5 т/га зерна (N ₅₉ P ₃₀ K ₄₈)	Доспех 3 – 0,5 л/т семян (контроль)	2,25	37,1	28,6	8,5	29,7	12,7
	Азотовит - 1 л/т	2,35	38,8	29,6	9,2	31,1	12,6
	Ризоагрин - 1 л/т	2,38	39,3	29,9	9,4	31,4	12,6
	Биостим Старт – 1 л/т	2,47	40,8	30,2	10,6	35,1	12,2
Фон питания на 3,0 т/га зерна (N ₇₁ P ₃₆ K ₅₈)	Доспех 3 – 0,5 л/т семян (контроль)	2,64	43,6	31,8	11,8	37,1	12,0
	Азотовит - 1 л/т	2,73	45,0	32,4	12,6	38,9	11,9
	Ризоагрин - 1 л/т	2,78	45,9	32,5	13,4	41,2	11,7
	Биостим Старт – 1 л/т	2,85	47,0	33,0	14,0	42,4	11,6
	НСР _{0,5} А	0,21					
	В	0,18					
	АВ	0,23					

Максимальное увеличение стоимости валовой продукции было отмечено в варианте на 3,0 т/га зерна – 43,6 тыс. руб./га, что выше контроля (без удобрений) на 82,4%. Прибавка стоимости валовой продукции от применения ассоциативных диатрофов (Азотовит и

Ризоагрин) была на уровне 0,9-2,2 тыс. руб./га без удобрений и 1,4-2,3 тыс. руб./га в 3 блоке опытов. Внесение азотно-фосфорно-калийных удобрений на планируемые урожайности (без применения биопрепаратов в предпосевной подготовке) увеличивает рентабельность

производства зерна полбы с 21,9 до 37,1%. Максимальная рентабельность была достигнута в варианте применения биостимулятора Биостим Старт в дозе 1 л/т семян + минеральные удобрения (на 3,0 т/га зерна) – 42,4%.

Положительный эффект Биостим Старта можно объяснить тем, что биостимуляторы более устойчивы к неблагоприятным метеорологическим условиям и совместимы с химическими средствами защиты растений, в то время как эффективность микробиологических препаратов может сильно снижаться из-за температуры, влажности и наличия конкурентов в почвенном микробиоме.

Выращивание полбы очень выгодно, цены на нее гораздо выше, чем на другие зерновые

культуры. В годы исследований цена реализации полбы не опускалась ниже 15,0 руб./кг., а цена на цельнозерновую крупу в магазинах достигала 50-80 руб./кг.

Выводы. Исследования показали, что совместное применение минеральных удобрений и биопрепаратов в технологии возделывания полбы (двузернянки) значительно повышает экономические показатели. Использование биопрепарата Биостим Старта в дозе 1 л/т в предпосевной обработке семян полбы Руно на фоне минерального питания N71P36K58 обеспечивает наибольшую рентабельность производства – 42,4%. Стоимость валовой продукции увеличивается с 23,9 тыс руб/га в контроле до 43,6 тыс. руб./га.

Литература

1. Сайт геоинформационной системы Республики Татарстан (ГИС АПК МСХиП РТ) <https://lk.agropoliya.ru/analytics/digest/svedeniya-o-seve-yarovih-kultur-i-podkormke-ozimih>
2. Грядулова Н.В., Хмызова Н.Г. Повышение конкурентоспособности селекционных достижений, актуальность и роль экологического сортоиспытания: день поля «Шатилово - 2020» // Зерновые и крупяные культуры. 2020. №3 (35). с. 140-144. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11197>
3. Волюнкина О. В. Выращивание ценной пшеницы сделает зерновую отрасль высокоприбыльной // Зерновое хозяйство. 2002. № 4. С. 6-7.
4. Возрождение пшеницы-двузернянки (полба) как продовольственной культуры в Республике Татарстан / С.В. Петров, И.М. Сержанов, В.Ф. Тимофеев и др. // Главный агроном. 2016. №11.
5. Comparison of some bioactive components of emmer wheat [*Triticum dicoccum* (Schrank) Schübler] cultivars from two different origins grown under the same conditions / Z. Petkova, S. Magdelana, S. Stankov et al. // Food and Health. 2019. 5(3), 160-167. <https://doi.org/10.3153/FH19017>
6. Перспективность полбы как сырья для альтернативных напитков / П.И. Гунькова, А.А. Трофимов, А.С. Бучилина и др. // Аграрная наука. 2024; 382(5): 108–116. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-108-116>
7. Исследование состава и свойств зерна *triticum dicoccum* (schrank) / Е. А. Кузнецова, Д. С. Учасов, Л. В. Шаяпова и др. // Все о мясе. 2020. № 5S. С. 188-190. doi: 10.21323/2071-2499-2020-5S-188-190.
8. Муслимов М.Г. Полба – ценная зерновая культура / М.Г. Муслимов, А.Б. Исмагилов // Зерновое хозяйство России. 2012. № 3. С.40-42.
9. Влияние приемов агротехники на урожай и качество зерна пшеницы полбы (двузернянка) в условиях Предкамья Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. И. Ибятков [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13, № 4(51). С. 103-108. doi: 10.12737/article_5c3de390ad4cc9.57672413.
10. Кирюшин В.И., Иванов А.Л., Буланова М.В. и др. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
11. Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – Москва : Издательство КолосС, 2011. 442 с. ISBN 978-5-9532-0779-9.
12. Лукин С.В. Применение геоинформационных систем для агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных земель / С. В. Лукин, И. Г. Костин, Е. С. Малышева // Агрохимический вестник. 2019. № 4. С. 8-13. doi:10.24411/0235-2516-2019-10050.
13. Фоменко П.Н., Ярмоленко А.С. Организация земель и севооборотов с применением ГИС-технологий // Вестник Института экономики и управления Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. 2012. №2. doi: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-zemel-i-sevooborotov-s-primeneniem-gis-tehnologiy/viewer>
14. Сравнительная оценка реакции различных сортов полбы на внесение расчётных норм минеральных удобрений в лесостепной зоне Среднего Поволжья / А. В. Погодина, И. И. Габбасов, Ф. Н. Сафиоллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 31-36. doi: 10.12737/2073-0462-2023-31-36.
15. Погодина А.В., Лукманов А.А., Сафиоллин Ф.Н. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на формирование площади листьев, продуктивность фотосинтеза и урожайность полбы // Агрохимический вестник. 2025. №2. С. 3-7
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). –М.: Агропромиздат, 1985. 351 с
17. Основные особенности климата последних десятилетий на территории Татарстана / Ю. П. Переведенцев, Б. Г. Шерстюков, Э. П. Наумов [и др.] // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2008. Т. 150, № 4. С. 21-33.
18. Spelt in Diversified and Spelt-Based Crop Rotations: Grain Yield and Technological and Nutritional Quality / M. Wanic.; M. Jastrzebska; M.K. Kostrzewska et al // Agriculture. 2024, 14, 1123. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071123>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторе:

Погодина Анна Владимировна - соискатель, e-mail: pogodanna@ya.ru
Татарский филиал ФГБУ «РосАгрохимслужба», г. Казань, Россия

ORGANIZATION OF THE TERRITORY OF FIELD CROP ROTATIONS SATURATED WITH CEREAL CROPS AND ECONOMICS OF THE USE OF AGROCHEMICALS IN SPELT CULTIVATION

A.V. Pogodina

Abstract. This paper presents the main stages of organizing the territory of field crop rotations taking into account the principles of the agro-landscape approach based on the developed analytical module for the existing database. For the 1st agro-production group of lands (highly fertile, upland lands), an adaptive grain-fallow-row crop rotation is proposed: occupied fallow - winter wheat - spring rape - spelt - barley - corn for silage - peas - winter rye - spring wheat with an average yield from 1 hectare of crop rotation area of 3.5 thousand grain units/ha. Production studies on emmer wheat (spelt) crops were conducted in 2020-2023 in Sabinskiy municipal district in the soil and climatic conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. Grey forest soil pH_{KCl} was close to neutral - 6.2, humus content according to Tyurin - 3.4%. The total area of the experimental plots was 0.5 hectares, the experiments were carried out with three replicates with a systematic placement of options. To compare the experimental options, the least significant difference method was used. Experimental design: Factor A - calculated fertilizer backgrounds: I. Control (without fertilizers); II. N5P30K48 to obtain 2.5 t/ha of grain; III. N71P36K58 - to obtain 3.0 t/ha of grain. Factor B - pre-sowing treatment of seeds with biopreparations: I. Dospekh 3 - 0.5 l/t of seeds (control without treatment); II. Azotovit - 1 l/t of seeds; III. Rizoagrin - 1 l/t of seeds; IV. Biostim Start - 1 l/t of seeds. The maximum profitability of 42.4% was obtained in the variant of using the biopreparation Biostim Start at a dose of 1 l/t of seeds together with the use of mineral fertilizers with the expectation of obtaining 3.0 t/ha of grain against 21.9% in the control.

Key words: cereal crops, crop rotation, state information system technologies, emmer wheat (spelt), biopreparations, agroecological typing.

For citation: Pogodina A.V. Organization of the territory of field crop rotations saturated with cereal crops and economics of the use of agrochemicals in spelt cultivation. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 2(14). 34-39 p.

References

1. Website of the geographic information system of the Republic of Tatarstan (State information system Agro-industrial complex of Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Tatarstan). Available from: <https://lk.agropoliya.ru/analytics/digest/svedeniya-o-seve-yarovih-kultur-i-podkormke-ozimih>
2. Gryadulova NV, Khmyzova NG. [Increasing the competitiveness of breeding achievements, the relevance and role of environmental variety testing: Field Day "Shatilovo – 2020"]. *Zernovye i krupyanye kul'tury*. 2020. №3(35). s. 140-144 p. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11197>
3. Volynkina OV. [Growing valuable wheat will make the grain industry highly profitable]. *Zernovoe khozyaystvo*. 2002; 4. 6-7 p.
4. Petrov SV, Serzhanov IM, Timofeev VF. [Revival of emmer wheat (spelt) as a food crop in the Republic of Tatarstan]. *Glavnyy agronom*. 2016; 11.
5. Petkova Z, Magdelana S, Stankov S. Comparison of some bioactive components of emmer wheat [*Triticum dicoccum* (Schränk) Schübler] cultivars from two different origins grown under the same conditions. *Food and Health*. 2019; 5 (3). 160-167 p. <https://doi.org/10.3153/FH19017>
6. Gunkova PI, Trofimov AA, Buchilina AS. [Prospects of spelt as a raw material for alternative drinks]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 382(5). 108-116 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-108-116>
7. Kuznetsova EA, Uchasov DS, Shayapova LV. [Study of the composition and properties of *Triticum dicoccum* (Schränk) grain]. *Vse o myase*. 2020; 5S. 188-190 p. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-188-190>
8. Muslimov MG, Ismagilov AB. [Spelt is a valuable grain crop]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2012; 3. 40-42 p.
9. Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM, Ibyatov RI. [The impact of agricultural techniques on the yield and grain quality of spelt wheat (emmer) in the conditions of Kama Region of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018; Vol.13. 4(51). 103-108 p. https://10.12737/article_5c3de390ad4cc9.57672413
10. Kiryushin VI, Ivanov AL, Bulanov MV. *Agroekologicheskaya otsenka zemel, proektirovaniye adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya i agrotekhnologii*. [Agroecological assessment of lands, design of adaptive-landscape farming systems and agricultural technologies]. Moscow: FGUN "Rosinformagrotekh". 2005; 784 p.
11. Kiryushin VI. *Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya i proektirovaniye agrolandshaftov*. [Theory of adaptive-landscape farming and design of agricultural landscapes]. Moscow: Izdatelstvo KolosS. 2011; 442 p. ISBN 978-5-9532-0779-9.
12. Lukin SV, Kostin IG, Malysheva ES. [Application of geographic information systems for agroecological monitoring of agricultural lands]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2019; 4. 8-13 p. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10050>
13. Fomenko PN, Yarmolenko AS. [Organization of lands and crop rotations using state information system technologies]. *Vestnik Instituta ekonomiki i upravleniya Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yaroslava Mudrogo*. 2012; 2. <https://doi.org/https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-zemel-i-sevooborotov-c-primeneniyem-gis-tehnologii/viewer>
14. Pogodina AV, Gabbasov II, Safiollin FN. [Comparative assessment of the response of different varieties of spelt to the application of calculated rates of mineral fertilizers in the forest-steppe zone of Middle Volga region]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 2(70). 31-36 p. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-31-36>
15. Pogodina AV, Lukmanov AA, Safiollin FN. [Effect of mineral fertilizers and biopreparations on the formation of leaf area, photosynthetic productivity and yield of spelt]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2025; 2. 3-7 p.
16. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy)*. [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat. 1985; 351 p.
17. Perevedentsev YuP, Sherstyukov BG, Naumov EP. [The main features of the climate of recent decades on the territory of Tatarstan]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2008; Vol.150. 4. 21-33 p.
18. Wanic M, Jastrzebska M, Kostrzewska MK. Spelt in diversified and spelt-based crop rotations: grain yield and technological and nutritional quality. *Agriculture*. 2024; 14. 1123 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071123>

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest. There was no funding for the work.

Author:

Pogodina Anna Vladimirovna – applicant, e-mail: pogodanna@ya.ru
Tatar branch of Federal State Budgetary Institution "Agrochemical Service of Russia", Kazan, Russia.

**ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ И СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ****Р.М. Сабирова, И.Х. Вафин, Р.И. Сафин**

Реферат. Приведены результаты исследования по оценке особенностей формирования урожая озимой пшеницы сорта Сkipетр при использовании различных систем обработки почвы (отвальная, безотвальная, нулевая) и видов паров (чистый пар и различные виды сидерального пара) на серой лесной почве в Предкамской агропроизводственной зоне Республики Татарстан. Изучение проводилось в 2023-2024 годах, на заложенном в 2022 году многолетнем производственным стационарным опыте. Осень 2023 года характеризовалась проявлением засушливых явлений. В период весенне-летней вегетации 2024 года озимой пшеницы в мае отмечалась холодная погода с большим количеством осадков, в дальнейшем периодически отмечался дефицит влаги и повышенные температуры, что отразилось на развитии растений. Общая площадь делянки для каждого варианта составляла 0,5 га, повторность трехкратная (суммарная площадь каждого варианта опыта 1,5 га). Полученные данные были обработаны с применением дисперсионного анализа. За исключением изучаемых приемов, агротехнология возделывания озимой пшеницы была согласно рекомендованной для Предкамья Республики Татарстан. Использование отвальной обработки почвы приводило к уменьшению плотности сложения почвы, тогда как при безотвальной и нулевой обработках отмечается некоторое увеличение данного показателя, но в пределах оптимальных для озимой пшеницы значений. Содержание продуктивной влаги в фазу колошения озимой пшеницы в пахотном слое почвы был максимальным при использовании кормового гороха в качестве сидеральной культуры и отвальной вспашки. Применение нулевой обработки почвы в сочетании с использованием в качестве сидератов горчицы белой и вико-овсяной смеси обеспечило максимальную биологическую активность почвы при использовании метода оценки по разложению льняной ткани. Наибольшая урожайность озимой пшеницы сорта Сkipетр (4,89 т/га) была получена при применении в качестве парозанимающей культуры кормового гороха на фоне безотвальной обработки почвы. По показателю содержания клейковины во всех вариантах зерно соответствовало нормативам для 1 класса продовольственной пшеницы согласно ГОСТ 9353-2016, однако по другим показателям, в большинстве случаев, зерно соответствовало требованиям к 3 классу. Зерно, соответствующее требованиям для второго класса продовольственной пшеницы, было получено при использовании кормового гороха в качестве сидерата на фоне безотвальной обработки, а также на фоне вико-овсяного пара по системе нулевой обработки. С учетом достижения максимального уровня урожайности (4,89 т/га), наилучших качественных характеристик и наибольшей массы 1000 зерен (45,3 г) при минимальной себестоимости полученной продукции, наиболее оптимальным приемом биологизации в условиях опыта было использование кормового гороха в качестве сидерата на фоне безотвальной системы обработки почвы.

Ключевые слова: биологические ресурсы, обработка почвы, сидераты, озимая пшеница.

Для цитирования: Влияние приемов биологизации и систем обработки почвы на формирование урожая озимой пшеницы / Р.М. Сабирова, И.Х. Вафин, Р.И. Сафин //Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. 2(14). С. 40-47.

Введение. В условиях растущей антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные почвы и продолжающегося роста стоимости минеральных удобрений и пестицидов, возникает необходимость в разработке приемов, позволяющих существенно повысить экологическую безопасность производства продукции растениеводства [1]. К числу таких приемов относится биологизация земледелия, которая предполагает максимально полное использование природных ресурсов и процессов с целью получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур при сохранении уровня почвенного плодородия, а также позволяет снизить объемы применения или полностью заместить минеральные удобрения и синтетические пестициды [2,3,4]. Применение приемов биологизации земледелия, за счет снижения производственных затрат на средства химизации, способствует повышению экономической эффективности производства в АПК [5,6]. Перспективность данного

направления отмечается и в мировой науке, особенно с учетом необходимости к переходу к устойчивому развитию сельского хозяйства [7,8].

Среди приемов, обеспечивающих повышение биологической активности почвы и улучшение ее агрофизических и агрохимических свойств, особое место занимают различные сидеральные культуры [9,10], в том числе и парозанимающие [10,11]. Значительное место в биологизированном земледелии отводится и ресурсосберегающим системам обработки почвы [12,13].

В Республике Татарстан, исследования по изучению эффективности использования приемов биологизации земледелия ведутся с начала 90-х годов прошлого века [14]. В ходе развития данного направления, в ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, были проведены исследования по оценке эффективности использования при биологизации земледелия таких приемов как: использование многолетних трав [15];

применение различных сидератов и заделки соломы [16]; применение ресурсосберегающих технологий обработки почвы [17,18,19]; применение различных биопрепаратов. [20,21, 22]. Для дальнейшего развития данного направления, в 2022 году на полях Агробιο-технопарка Казанского ГАУ был заложен многолетний стационарный опыт по изучению эффективности применения приемов биологизации с учетом отмечаемых климатических изменений.

Целью работы было изучение влияния приемов биологизации (парозанимающих сидератов) и систем обработки почвы на формирование урожая и качественные характеристики озимой пшеницы.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в период вегетации озимой пшеницы 2023-2024 годов на высокоокультуренной серой лесной почве опытных полей Агробιοтехнопарка ФГБУ ВО Казанский ГАУ на многолетнем стационарном производственном опыте. Общая площадь делянки для каждого варианта составляла 0,5 га, повторность трехкратная (суммарная площадь каждого варианта опыта 1,5 га)

Осенью 2023 году отмечались засушливые явления, что привело к замедлению развития растений озимой пшеницы. В мае, в период весеннего кушения, отмечалась холодная погода с большим количеством осадков (в 1,28 раза больше нормы), причем в начале месяца были заморозки. Такие условия несколько замедлили развитие растений. В июне сложились острозасушливые условия. Дефицит влаги усугублялся высокими среднесуточными температурами воздуха. (среднесуточная температура за июнь составила 21,7°С при среднепогодных показателях 18,1°С). В результате этого, погодные условия для вегетативного роста озимой пшеницы были не совсем благоприятными, но значительные запасы почвенной влаги способствовали хорошему развитию растений. В июле условия были благоприятными для развития растений и формирования зерна. В целом, несмотря на периодическое развитие засушливых явлений, агроклиматические условия вегетации в год исследований были благоприятными для развития озимой пшеницы, однако в отдельные периоды отмечались периодически засушливые явления.

Были заложены следующие варианты опыта:

Фактор А: тип пара

1. Чистый пар (контроль).

2. Гречиха (сорт Батыр, норма высева 50 кг/га).

3. Редька масличная (сорт Альфа, норма высева 15 кг/га).

4. Горчица белая (сорт Рапсодия, норма высева 20 кг/га).

5. Овес + вика (овес сорт Рысак, вика –

сорт Льговская 22, весовая норма высева овса – 90 кг/га, вики – 40 кг/га).

6. Горох (сорт Усатый кормовой, норма высева – 200 кг/га).

Фактор В: система обработки почвы

1. Отвальная обработка почвы (заделка сидератов путем двукратного дискования (на 10-12 см) в разных направлениях + основная обработка почвы плугом ПЛН-4-35 (на 22 см) + предпосевная культивация (на 5-6 см). Посев проводился зерновой сеялкой СЗ-5,4.

2. Безотвальная обработка почвы (заделка сидератов путем двукратного дискования дискатором БДМ 4 х 4 (на 15 см) и предпосевная культивация (на 5-6 см)). Посев проводился зерновой сеялкой СЗ-5,4.

3. Нулевая обработка почвы (измельчение и разбрасывание сидератов на поверхности без обработки почвы, прямой посев посевным комплексом ПК «Агромастер» AGRATOR DISK-9000).

Сорт озимой пшеницы – Скипетр. Норма высева семян – 5,0 млн. в.с./га. Агротехнология возделывания озимой пшеницы – рекомендованная для Предкамья Республики Татарстан. Система удобрений включала в себя внесение под предпосевную культивацию (отвальная и безотвальная обработка) или при посеве (нулевая обработка) 1,5 ц/га азотоса (16 : 16 : 16), а также ранневесеннюю подкормку аммиачной селитрой (1,0 ц/га). Для защиты растений от болезней использовали обработку растений фунгицидом Колосаль Про (0,4 л/га), для контроля вредителей (трипсов) инсектицид Борей (0,1) с обработкой в фазу колошения.

Посев всех сидератов проводился в первую декаду мая 2023 года. Заделка сидератов проводилась в оптимальные сроки (гречиху – в начале цветения; редьку масличную, горчицу белую, горох кормовой – в фазу бутонизации; вико-овсяную смесь – в фазу бутонизации вики).

Оценка агрофизических параметров почвы проводилась в лаборатории кафедры Общего земледелия, защиты растений и селекции Казанского ГАУ по общепринятым методикам [23]. Отбор почвенных проб проводился согласно правилам отбора проб для агрохимического и микробиологического анализов. Лабораторные исследования проводились в лабораторном комплексе Агроэкологического Центра ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ» с использованием соответствующих методик. Для оценки биологической активности, в почву закладывали стекла с льняной тканью (метод аппликаций Мишустина, Вострова и Петровой). Определение качества зерна проводилось по ГОСТ Р 54478-2011, ГОСТ 10840-2017, ГОСТ 10987-76 и др.

Обработку экспериментальных данных проводили с применением дисперсионного анализа с использованием методики, представленной Б.А. Доспеховым (1985).

АГРОНОМИЯ

Результаты и обсуждения. Одним из важнейших агрофизических показателей, характеризующих состояние почв является плотность сложения. Перед посевом и в ходе

вегетации озимой пшеницы, проводилось определение данного показателя в слое почвы 0-20 см. Средние за наблюдения результаты оценки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Средняя плотность сложения почвы (в слое 0-20 см) под озимой пшеницей при использовании сидератов и различных систем обработки почвы, г/см³, 2024 год

Вариант	Система обработки почвы (фактор В)			В среднем по сидерату (фактор А)
	отвальная	безотвальная	нулевая	
Чистый пар	1,12	1,11	1,20	1,14
Гречиха	1,15	1,20	1,42	1,26
Редька масличная	0,96	1,25	1,28	1,16
Горчица белая	1,01	1,25	1,27	1,18
Вико-овсяная смесь	1,09	1,18	1,15	1,14
Горох кормовой	1,07	1,25	1,29	1,20
Средняя по обработке	1,06	1,20	1,27	
НСР ₀₅	Фактор В = 0,05			Фактор А=0,06
	Взаимодействие АВ =0,09			

Примечание: оптимальные показатели – 1,0-1,3 г/см³

Результаты оценки показали, что использование для основной обработки отвальной вспашки вело к достоверному снижению плотности сложения почвы по сравнению с безотвальной и нулевой обработкой где происходило увеличение данного показателя. Однако, в целом, во всех вариантах опыта значения плотности сложения в пахотном горизонте были в пределах оптимальных параметров для озимой пшеницы. При сравнении вариантов с различными видами паров, можно отметить, что по величине НСР₀₅ на уровне показателей для чистого пара были значения в варианте с использованием в качестве сидератов -

вико-овсяной смеси, редьки масличной и горчицы белой. Максимальные значения плотности сложения почвы отмечались при применении в качестве сидерата гречихи, особенно на фоне нулевой обработки почвы, по данному показателю она достоверно уступала всем другим вариантам опыта.

Для характеристики влияния изучаемых факторов на водно-физические свойства почвы, проводилось определение запасов продуктивной влаги в верхнем слое почвы (табл. 2) в фазу колошения, как имеющую важное значение для формирования урожая озимой пшеницы.

Таблица 2 – Запас продуктивной влаги в слое 0-20 см в фазу колошения озимой пшеницы (25.06.2024 год) при использовании сидератов и различных систем обработки почвы, мм, 2024 год

Вариант	Система обработки почвы			В среднем по сидерату
	отвальная	безотвальная	нулевая	
Чистый пар	6,25	12,39	10,18	9,61
Гречиха	3,54	7,64	2,35	4,51
Редька масличная	10,45	3,69	6,66	6,93
Горчица белая	13,51	9,51	9,72	10,91
Вико-овсяная смесь	4,74	7,1	6,39	6,08
Горох кормовой	15,47	10,74	4,02	10,08
Средняя по обработке	8,99	8,51	6,55	
НСР ₀₅	Фактор В = 0,40			Фактор А=0,34
	Взаимодействие АВ =0,61			

Шкала оценки: хорошая – более 20 мм, удовлетворительная – 16-20 мм, недостаточная – 10-15 мм, плохая – менее 10 мм (шкала оценки по И.П. Васильеву и др., 2004).

Во всех вариантах, запас продуктивной влаги был низким и оценивался как плохой или недостаточный, что свидетельствует о развитии почвенной засухи. Среди систем обработки почвы, максимальные значения запаса продуктивной влаги были при использовании отвальной системы

обработки, а минимальные при нулевой. Среди сидератов, в среднем по фоновым обработкам почвы, выделялись – горчица белая и горох кормовой при использовании которых содержание влаги в пахотном слое было выше, чем по чистому пару. Максимальные значения содержания продуктивной влаги в почве были при использовании в качестве сидеральной культуры гороха кормового на фоне отвальной обработки почвы.

АГРОНОМИЯ

Для оценки биологической активности почвы в опытах определялся показатель степени разложения льняной ткани (табл. 3). При сравнении фонов с разной системой обработки почвы оказалось, что наибольшая степень разложения льняной ткани была при применении нулевой системы. На фоне безотвальной и нулевой систем обработок почвы, использование сидеральных паров приводило к значительному росту активности целлюлозоразлагающих бактерий, по сравнению

с показателями для чистого пара. Среди изучаемых парозанимающих сидератов наибольшая биологическая активность почвы была при использовании в качестве сидерата редьки масличной (на фоне вспашки), гороха кормового и вико-овсяной смеси (на фоне безотвальной обработки), а на фоне нулевой обработки – для горчицы белой и вико-овсяной смеси. В последних вариантах показатели были максимальными среди всех вариантов опыта.

Таблица 3 – Степень разложения льняной ткани при использовании различных сидератов и систем обработки почвы (время экспозиции – 30 дней), %, 2024 год

Вариант	Система обработки почвы			В среднем по сидерату
	отвальная	безотвальная	нулевая	
Чистый пар	22,2	24,6	21,9	22,9
Гречиха	26,5	23,9	36,9	29,1
Редька масличная	30,2	35,9	36,3	34,1
Горчица белая	13,9	29,3	48,7	30,6
Вико-овсяная смесь	14,3	40,7	48,1	34,4
Горох кормовой	20,6	44,4	36,5	33,8
Средняя по обработке	21,3	33,1	38,1	

Интегральным показателем влияния тех или иных приемов агротехнологии является урожайность (табл. 4). При применении в качестве предшественника озимой пшеницы

чистого пара, некоторое преимущество по урожайности имела нулевая обработка почвы (прибавка к показателям к вспашке на 0,36 т/га).

Таблица 4 – Урожайность озимой пшеницы сорта Скипетр при использовании различных сидератов и систем обработки почвы, т/га, 2024 год

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонение от чистого пара	
		т/га	%
Отвальная обработка			
Чистый пар	4,11		
Гречиха	4,34	0,23	5,6
Редька масличная	3,96	-0,15	-3,6
Горчица белая	4,60	0,49	11,9
Вико-овсяная смесь	4,40	0,29	7,1
Горох кормовой	4,75	0,64	15,6
В среднем по фону:	4,36		
Безотвальная обработка			
Чистый пар	4,09		
Гречиха	3,32	-0,77	-18,8
Редька масличная	3,26	-0,83	-20,3
Горчица белая	4,58	0,49	12,0
Вико-овсяная смесь	4,87	0,78	19,1
Горох кормовой	4,89	0,80	19,6
В среднем по фону:	4,16		
Нулевая обработка			
Чистый пар	4,47		
Гречиха	2,28	-2,19	-49,0
Редька масличная	2,79	-1,68	-37,6
Горчица белая	3,53	-0,94	-21,0
Вико-овсяная смесь	1,86	-2,61	-58,4
Горох кормовой	4,62	0,15	3,40
В среднем по фону:	3,25		
НСП ₀₅ А	0,21		
НСП ₀₅ В	0,19		
НСП ₀₅ АВ	0,34		

На фоне отвальной основной обработки, за исключением применения сидерального пара с редькой масличной, использование всех других парозанимающих сидератов вело к росту урожайности озимой пшеницы. Причем особенно существенным рост урожайности был достигнут при использовании в качестве парозанимающего сидерата кормового гороха и горчицы белой.

При использовании безотвальной системы обработки почвы, достоверный рост урожайности был получен при применении в качестве сидерата гороха, вико-овсяной смеси и горчицы белой. На фоне с нулевой системой обработкой почвы, достоверный рост

урожайности был при использовании в качестве сидерата только кормового гороха, тогда как в других вариантах урожайность даже падала. В целом по опыту, наибольшая урожайность озимой пшеницы (4,89 т/га) была получена при применении в качестве сидеральной культуры гороха кормового на фоне безотвальной обработки почвы, но и на других фонах с разными система обработки почвы применение данного сидерата обеспечивала наибольшую урожайность в сравнении с другими сидеральными культурами и чистым паром.

Результаты оценки качества зерна озимой пшеницы в опытах приведены таблице 5.

Таблица 5 – Качество зерна озимой пшеницы при использовании различных сидератов и систем обработки почвы, 2024 год

Вариант	Содержание белка, % на абс. сухое в-во	Содержание клейковины, %	ИДК	Масса 1000 зерен, г
Отвальная обработка				
Чистый пар	14,9	34,3	90	42,1
Гречиха	15,1	36,2	93	40,7
Редька масличная	14,5	35,8	91	39,8
Горчица белая	13,3	38,7	96	40,9
Вико-овсяная смесь	15,8	38,1	90	40,5
Горох кормовой	16,0	44,8	90	42,3
В среднем по фону:	14,9	38,0	91,7	41,0
Безотвальная обработка				
Чистый пар	14,6	33,1	74	40,2
Гречиха	14,5	41,6	80	44,0
Редька масличная	15,0	41,4	86	42,8
Горчица белая	14,5	33,4	92	40,9
Вико-овсяная смесь	15,2	34,5	85	43,6
Горох кормовой	15,9	33,9	59	45,3
В среднем по фону:	15,0	36,3	79,3	42,8
Нулевая обработка				
Чистый пар	16,1	41,9	89	42,2
Гречиха	14,5	37,2	70	34,0
Редька масличная	14,4	34,1	80	40,4
Горчица белая	14,8	41,3	88	41,8
Вико-овсяная смесь	14,9	35,6	66	35,9
Горох кормовой	14,5	36,4	85	41,9
В среднем по фону:	14,9	37,8	79,7	39,4
НСР ₀₅ А	0,7			1,9
НСР ₀₅ В	0,5			2,1
НСР ₀₅ АВ	1,0			3,4

По показателю содержания клейковины во всех вариантах зерно соответствовало требованиям ГОСТ 9353-2016 к 1 классу (более 32 %) продовольственной пшеницы, однако по показателю ИДК (в большинстве случаев) зерно относилось ко 2 классу. С учетом стекловидности и натуры зерна, зерно, соответствующее требованиям для второго класса продовольственной пшеницы было получено при использовании в качестве сидерата гороха кормового на фоне безотвальной обработки и вико-овсяного сидерата по системе нулевой обработки.

На фоне с безотвальной обработкой почвы, сформировались наиболее крупные семена.

При оценке влияния различных сидеральных паров на массу 1000 зерен можно отметить, что на всех трех фонах преимущество имел сидеральный пар с кормовым горохом. Наибольшая масса 1000 зерен (45,3 г) была получена при применении сидерального пара с кормовым горохом на фоне с безотвальной обработкой почвы.

В качестве показателя для экономической оценки был взят показатель себестоимости 1 т зерна, который определялся по прямым затратам по технологической карте. Результаты оценки показали, что при сравнении различных фонов основной обработки минимальная себестоимость зерна была при использовании

отвальной обработки, что связано с высоким уровнем урожайности зерна. В то же время, низкая урожайность при применении нулевой обработки привела к значительному росту себестоимости зерна, несмотря на снижение производственных затрат, связанных с основной обработкой почвы.

При сравнении различных парозанимающих сидератов, можно отметить значительное преимущество использования кормового гороха. Минимальная себестоимость зерна (7,65 тыс. руб./т) озимой пшеницы сорта Скипетр была получена при использовании данного парозанимающего сидерата на фоне безотвальной системы обработки почвы.

Выводы. В условиях 2024 года с периодически засушливыми явлениями в период

вегетации, независимо от системы обработки почв, наибольшая урожайность озимой пшеницы сорта Скипетр была получена при использовании в качестве парозанимающего сидерата гороха кормового. Особенно преимущество данного сидерата проявилось на фоне безотвальной системы обработки почвы. Так, в данном варианте сформировалась урожайность на уровне 4,89 т/га, причем полученное зерно соответствовало требованиям ко второму классу продовольственной пшеницы, а масса 1000 зерен достигла 45,3 г.

Установлено, что при использовании нулевой системы обработки почвы отмечается повышение биологической активности (по показателю степени разложения льняной ткани).

Литература

1. Сафиоллин Ф. Н., Галлиев К.Х. Биологизация земледелия – основа высоких урожаев // Земледелие. 2005. № 2. С. 10-11.
2. Соколов М. С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) // Агрохимия. 2019. № 11. С. 3-16. doi: 10.1134/S0002188119110127.
3. Завалин А. А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия // Земледелие. 2024. № 2. С. 25-29. doi: 10.24412/00443913-2024-2-25-29.
4. Эффективность биологизированной технологии возделывания пшеницы мягкой озимой в Среднем Поволжье / Г. В. Ермолаева, А. Х. Куликова, Е. А. Борисов и др. // Земледелие. 2024. № 6. С. 17-21. doi: 10.24412/00443913-2024-6-17-21.
5. Азотфиксирующая способность и роль бобовых трав в биологизации земледелия / А. Ф. Степанов, С. П. Чибис, В. В. Христич [и др.] // Земледелие. 2023. № 1. С. 18-22. doi: 10.24412/0044-3913-2023-1-18-22.
6. Элементы биологизации земледелия и повышение их эффективности в центральном регионе России / Н. А. Лопачев, А. М. Хлопяников, В. Н. Наумкин и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 1 (25). С. 112-118.
7. Dudek M., Rosa A. Regenerative agriculture as a sustainable system of food production: concepts, conditions, perceptions and initial implementations in Poland, Czechia and Slovakia // Sustainability. 2023, №5, 15721. doi: 10.3390/su152215721.
8. Factors of biologization of farming in the forest-steppe zone of Volga region / A. Toigildin, V. Morozov, M. Podsevalov et al. // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 года. Vol. 17. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00173. doi: 10.1051/bioconf/20201700173.
9. Влияние длительного применения соломы и сидератов на серой лесной почве на продуктивность агроценозов / И. Б. Сорокин, С. П. Кулижский, О. А. Пасько, О. Э. Мерзляков // Агрохимия. 2023. № 9. С. 22-27. doi: 10.31857/S0002188123090119.
10. Рудковский Е.Д., Пальчиков Е.В., Новикова Д.А. Сидераты как органическое удобрение в биологизации земледелия // Наука и Образование. 2020. Т. 3, № 4. С. 164.
11. Стародубцев В.В., Виноградов Д.В. Использование ярового рапса в качестве парозанимающей культуры под озимую пшеницу // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2016. № 3(31). С. 107-110.
12. Пилипенко Н.Г., Андреева О.Т. Влияние редьки масличной в занятых и сидеральных парах на фитосанитарное состояние посевов зерновых культур в полевом севообороте // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4(20). С. 253-260.
13. Дедов А.А., Несмеянова М.А., Дедов А.В. Влияние приемов биологизации земледелия и способов обработки почвы на содержание органического вещества в черноземе типичном и продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2017. № 9. С. 25-32. doi: 10.7868/S0002188117090022.
14. Савченко Е.С., Лукин С.В. Управление режимом органического вещества почвы при биологизации земледелия // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 6. С. 61-65. doi: 10.31857/S2500208224060147.
15. Хабибрахманов Х.Х., Хайруллин А. И. Элементы биологизации земледелия дали высокий эффект // Земледелие. 2005. № 2. С. 14.
16. Новоселов С.И., Еремеев Р.В., Завалин А.А. Влияние подсевных сидератов на урожайность и химический состав озимой пшеницы // Земледелие. 2024. № 6. С. 3-6. doi: 10.24412/0044-3913-2024-6-3-6.
17. Ахметзянов, М. Р. Влияние факторов биологизации на урожайность озимой ржи в условиях Предкамья Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. Т. 12, № 2(44). С. 9-13. doi: 10.12737/article_599ac57819ecc0.70973336.
18. Минакаев Р.В., Михайлова М.Ю. Управление биологическими факторами в системе обработки почвы в агроландшафтах среднего Поволжья // Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования. Казань: ФГБОУ ВО КГАУ, 2024. С. 151-161.
19. Влияние приемов основной обработки почвы и удобрений на урожайность яровой пшеницы в условиях АФ «Колос» Тетюшского муниципального района Республики Татарстан / Л. Т. Вафина,

Р. В. Миникаев, Н. Ф. Вафин [и др.] // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 1(9). С. 13-19. doi: 10.12737/2782-490X-2024-13-19.

20. Миникаев, Р. В. Управление факторами почвенного плодородия в условиях Республики Татарстан / Р. В. Миникаев, Ф. Ш. Фасхутдинов, М. Ю. Михайлова // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 4(4). С. 34-39. doi: 10.12737/2782-490X-2022-34-39.

21. Эндифитные штаммы бактерий в технологии возделывания кукурузы на зерно / М. Ю. Михайлова, Р. В. Миникаев, В. А. Колесар и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 3(75). С. 17-26. doi: 10.12737/2073-0462-2024-17-26.

22. Колесар В.А., Антонова Ж.В., Фазлеев Б.А. Изучение эффективности предпосевной обработки семян гороха сорта Кулон эндифитными бактериями KS-25 // Биологические препараты и приемы биологизации в современном земледелии: Сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию Института агробиотехнологий и землепользования. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. С. 119-125.

23. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв Москва : Агропромиздат, 1986. 415 с.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы осуществлялось за счет гранта Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан.

Сведения об авторах:

Сабирова Рафина Мавлетгареевна - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: razina.sabirova.1975@mail.ru

Вафин Ильшат Хафизович - старший преподаватель кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: zemledeliekazgau@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1415-0734>

Сафин Радик Ильясевич - доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: radiksaf2@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6276-5728>
Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

INFLUENCE OF BIOLOGIZATION METHODS AND SOIL CULTIVATION SYSTEMS ON WINTER WHEAT CROP FORMATION

R.M. Sabirova, I.Kh. Vafin, R.I. Safin

Abstract. The article presents the results of a study to assess the characteristics of winter wheat yield formation of Skipetr variety using various soil cultivation systems (moldboard, non-moldboard, zero) and types of fallow (bare fallow and various types of green manure fallow) on gray forest soil in the Kama agricultural production zone of the Republic of Tatarstan. The study was conducted in 2023-2024, based on a long-term production stationary experiment established in 2022. The autumn of 2023 was characterized by drought phenomena. During the spring-summer vegetation period of 2024, winter wheat experienced cold weather with a large amount of precipitation in May, then periodically experienced moisture deficit and elevated temperatures, which affected plant development. The total plot area for each variant was 0.5 ha, replicated three times (the total area of each experimental variant was 1.5 ha). The obtained data were processed using dispersion analysis. With the exception of the studied techniques, the agricultural technology of winter wheat cultivation was in accordance with those recommended for Kama region of the Republic of Tatarstan. The use of moldboard tillage led to a decrease in soil bulk density, while with no-till and zero tillage, there was a slight increase in this indicator, but within the optimal values for winter wheat. The content of productive moisture in the arable soil layer during the heading phase of winter wheat was maximum when using forage peas as a green manure crop and moldboard plowing. The use of zero tillage in combination with the use of white mustard and a vetch-oat mixture as green manure provided the maximum biological activity of the soil when using the linen fabric decomposition assessment method. The highest yield of winter wheat of Skipetr variety (4.89 t/ha) was obtained when using forage peas as a fallow crop against the background of no-till soil cultivation. In terms of gluten content, in all variants, the grain met the standards for class 1 food wheat according to GOST 9353-2016, but in most cases, according to other indicators, the grain met the requirements for class 3. Grain confirming requirements for the second class of food wheat was obtained using forage peas as a green manure against the background of no-moldboard cultivation, as well as against the background of vetch-oat fallow according to the no-till system. Taking into account the achievement of the maximum yield level (4.89 t/ha), the best quality characteristics and the greatest weight of 1000 grains (45.3 g) at the minimum cost of the obtained products, the most optimal biologization technique in the experimental conditions was the use of forage peas as a green manure against the background of a no-moldboard soil cultivation system.

Key words: biological resources, soil cultivation, green manure, winter wheat.

For citation: Sabirova R.M., Vafin I.Kh., Safin R.I. Influence of biologization methods and soil cultivation systems on winter wheat crop formation. Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 2(14). 40-47 p.

References

1. Safiollin FN, Galliev KKh. [Biologization of agriculture – the basis of high yields]. Zemledelie. 2005; 2. 10-11 p.
2. Sokolov MS. [Soil improvement and biologization of agriculture – the most important factors for optimizing the ecological status of an agroregion (Belgorod experience)]. Agrokimiya. 2019; 11. 3-16 p. doi: 10.1134/S0002188119110127.
3. Zavalin AA. [Problems and solutions for the technological development of agriculture]. Zemledelie. 2024; 2. 25-29 p. doi: 10.24412/00443913-2024-2-25-29.
4. Ermolaeva GV, Kulikova AKh, Borisov EA. [Efficiency of biologized technology of soft winter wheat cultivation in Middle Volga region]. Zemledelie. 2024; 6. 17-21 p. doi: 10.24412/00443913-2024-6-17-21.
5. Stepanov AF, Chibis SP, Khristich VV. [Nitrogen-fixing capacity and the role of legumes in the biologization of agriculture]. Zemledelie. 2023; 1. 18-22 p. doi: 10.24412/0044-3913-2023-1-18-22.
6. Lopachev NA, Khlopnyanikov AM, Naumkin VN. [Elements of biologization of agriculture and increasing their efficiency in the central region of Russia]. Zernobobovye i krupnyanye kultury. 2018; 1(25). 112-118 p.
7. Dudek M, Rosa A. Regenerative agriculture as a sustainable system of food production: concepts, conditions, perceptions and initial implementations in Poland, Czechia and Slovakia. Sustainability. 2023; 5. 15721 p. doi: 10.3390/su152215721.

8. Toygildin A, Morozov V, Podsevalov M. Factors of biologization of farming in the forest-steppe zone of Volga region. Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), Kazan, 13-14 noyabrya 2019 goda. Vol.17. EDP Sciences: EDP Sciences. 2020; 00173 p. doi: 10.1051/bioconf/20201700173.
9. Sorokin IB, Kulizhskiy SP, Pasko OA, Merzlyakov OE. [The effect of long-term use of straw and green manure on gray forest soil on the productivity of agrocenoses]. *Agrokhiimiya*. 2023; 9. 22-27 p. doi: 10.31857/S0002188123090119.
10. Rudkovskiy ED, Palchikov EV, Novikova DA. [Green manure as an organic fertilizer in the biologization of agriculture]. *Nauka i Obrazovanie*. 2020; Vol.3. 4. 164 p.
11. Starodubtsev VV, Vinogradov DV. [Use of spring rape as a fallow crop for winter wheat]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. 2016; 3(31). 107-110 p.
12. Pilipenko NG, Andreeva OT. [The influence of oilseed radish in occupied and green manure fallows on the phytosanitary condition of grain crops in field crop rotation]. *Vestnik APK Stavropolya*. 2015; 4(20). 253-260 p.
13. Dedov AA, Nesmeyanova MA, Dedov AV. [Influence of biologization techniques of agriculture and soil cultivation methods on the content of organic matter in typical chernozem and crop rotation productivity]. *Agrokhiimiya*. 2017; 9. 25-32 p. doi: 10.7868/S0002188117090022.
14. Savchenko ES, Lukin SV. [Management of the soil organic matter regime during biologization of agriculture]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2024; 6. 61-65 p. doi: 10.31857/S2500208224060147.
15. Khabibrakhmanov KhKh, Khayrullin AI. [Elements of biologization of agriculture gave a high effect]. *Zemledelie*. 2005; 2. 14 p.
16. Novoselov SI, Ereemeev RV, Zavalin AA. [Influence of undersown green manure on the yield and chemical composition of winter wheat]. *Zemledelie*. 2024; 6. 3-6 p. doi: 10.24412/0044-3913-2024-6-3-6.
17. Akhmetzyanov MR. [Influence of biologization factors on winter rye yield in the conditions of Kama region of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017; Vol.12. 2(44). 9-13 p. doi: 10.12737/article_599ac57819ecc0.70973336.
18. Minikaev RV, Mikhaylova MYu. [Management of biological factors in the soil cultivation system in the agrolandscapes of Middle Volga region]. *Aktualnye voprosy ratsionalnogo ispolzovaniya zemelnykh resursov, geodezii i prirodopolzovaniya*. Kazan: FGBOU VO KGAU. 2024; 151-161 p.
19. Vafina LT, Minikaev RV, Vafin NF. [The influence of primary tillage and fertilizer techniques on the yield of spring wheat in the conditions of "Kolos" agricultural firm, of Tetyushskiy municipal district of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2024; 1(9). 13-19 p. doi: 10.12737/2782-490X-2024-13-19.
20. Minikaev RV, Faskhutdinov FSh, Mikhaylova MYu. [Management of soil fertility factors in the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2022; 4(4). 34-39 p. doi: 10.12737/2782-490X-2022-34-39.
21. Mikhaylova MYu, Minikaev RV, Kolesar VA. [Endophytic bacterial strains in the technology of grain corn cultivation]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 3(75). 17-26 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-17-26.
22. Kolesar VA, Antonova ZhV, Fazleev BA. [Study of the efficiency of pre-sowing treatment of pea seeds of Kulon variety with endophytic bacteria KS-25. Biological preparations and biologization techniques in modern agriculture]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu Instituta agrobiotekhnologii i zemlepolzovaniya*. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 119-125 p.
23. Vadyunina AF. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv*. [Methods for studying the physical properties of soil]. Moscow: Agropromizdat. 1986; 415 p.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. The work was funded by a grant from Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Tatarstan.

Authors:

Sabirova Razina Mavletgaraevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of General Agriculture, Plant Protection and Selection Department, e-mail: razina.sabirova.1975@mail.ru
 Vafin Ilshat Khafizovich - Senior lecturer of General Agriculture, Plant Protection and Selection Department, e-mail: zemledeliekazgau@mail.ru, [http:// orcid.org/0000-0002-1415-0734](http://orcid.org/0000-0002-1415-0734)
 Safin Radik Ilyasovich - Doctor of Agricultural Sciences, Head of General Agriculture, Plant Protection and Selection Department, e-mail: radiksaf2@mail.ru , <http://orcid.org/0000-0001-6276-5728>
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ И СПОСОБОВ ПОСЕВА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ПРЕДКАМСКОЙ ЗОНЫ
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН****И.М. Сержанов, Ф.Ш. Шайхутдинов, Р.И. Гараев,
И.З. Ногуманов, Л.Р. Закиев**

Реферат. Цель исследования – выявить лучшие предшественники и способы посева в комплексе с другими приемами агротехники для стабилизации урожая зерна яровой пшеницы. Полевые опыты проводились в 2023-2024 гг. в ООО «Труд» Балтасинского района Республики Татарстан. Почвы опытного участка – светло-серая лесная. Содержание гумуса в пахотном слое (0-20 см) – 3,02-3,17 % (по Тюрину). Обеспеченность почв подвижным фосфором можно оценить, как низкая (66 мг/кг по методу Кирсанова), содержание подвижного калия (98 мг/кг по Кирсанову), кислотность почвы pH солевой вытяжки – 5,0. Материал для исследований – яровая пшеница (*Triticum aestivum*) сорт Ульяновская 105, оригинатор Ульяновский НИИСХ, среднеспелый, засухоустойчивость высокая. Схема опыта предусматривала в качестве предшественников: кормовую свеклу сорта Пионер, кукурузу на силос гибрида Нур, озимую пшеницу сорта Скипетр, повторный посев яровой пшеницы сорт Экада 109. На каждом фоне предшественника использовалось два способа посева: рядовой с шириной междурядий 15 см и узкорядный с шириной междурядий 7,5 см. Максимальный урожай в среднем за 2 года (3,14 т/га) был достигнут при узкорядном посеве после кукурузы на силос. Прибавка урожая составила 0,65 т/га по сравнению с контролем. При этом использование кукурузы на силос в качестве предшественника в сочетании с узкорядным посевом способствовало формированию более качественного зерна: содержание белка – 12,4 % (+1,8 % к контролю), массовая доля клейковины – на 3,7 % выше, чем в контроле.

Ключевые слова: предшественник, способ посева, яровая пшеница (*Triticum aestivum*), урожайность, качество зерна.

Для цитирования: Сержанов И.М., Шайхутдинов Ф.Ш., Гараев Р.И., Ногуманов И.З., Закиев Л.Р. Влияние предшественников и способы посева на продуктивность яровой пшеницы в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 2(14). С. 48-52.

Введение. Одним из определяющих факторов в решении вопросов продовольственной безопасности на период до 2030 года является задача увеличить среднегодовой сбор зерна по стране до 150 млн. тонн. В том числе в Республике Татарстан до 5,5-6 млн. тонн [1, 2, 3].

Важная роль в выполнении этой задачи отводится яровой пшенице, разработка и совершенствование технологии возделывания являются одним из главных условий повышения урожайности [4, 5, 6].

Правильный, научно обоснованный выбор предшественников, нормы высева семян и способ посева являются основополагающими элементами технологии возделывания [7, 8, 9].

Для получения высоких урожаев с хлебопекарными качествами зерна яровой пшеницы требуется установление их связей и закономерностей в системе почва – растений и реакции растений на условия среды [10, 11, 12].

Современные сорта яровой пшеницы характеризуются высокой урожайностью, повышенным содержанием клейковины и растительного белка, устойчивостью к полеганию и заболеваниям [13, 14, 15]. Однако потенциальные возможности сортов во многом определяются как почвенно-климатическими условиями, так и технологией их возделывания (размещение в севообороте, обработка почвы, подготовка семян, сроки и нормы высева, уход за посевами, система удобрения и защиты растений, уборка урожая и послеуборочная его переработка) [16, 17, 18].

В связи с изложенным, цель исследований

– выявить лучшие предшественники и способы посева в комплексе с другими приемами агротехники, для стабилизации урожая зерна яровой пшеницы.

Условия, материалы и методы. Полевые опыты проводились в 2023-2024 гг. в ООО «Труд» Балтасинского района Республики Татарстан. Почвы опытного участка – светло-серая лесная. Содержание гумуса в пахотном слое (0-20 см) – 3,02-3,17 % (по Тюрину), обеспеченность почв подвижным фосфором можно оценить как низкая (66 мг/кг по методу Кирсанова), содержание подвижного калия (98 мг/кг по Кирсанову), кислотность почвы pH солев. – 5,0

Материал для исследований – яровая пшеница (*Triticum aestivum*) сорт Ульяновская 105, оригинатор Ульяновский НИИСХ, среднеспелый, засухоустойчивость высокая. Схема опыта предусматривала в качестве предшественников: кормовую свеклу сорта Пионер, кукурузу на силос гибрида Нур, озимую пшеницу сорта Скипетр, повторный посев яровой пшеницы сорт Экада 109.

На каждом фоне предшественника использовалось два способа посева: рядовой с шириной междурядий 15 см и узкорядный с шириной междурядий 7,5 см. Норма посева – 6 млн. всхожих семян на 1 га. Удобрения были внесены перед предпосевной культивацией. Доза удобрений определена расчетно-балансовым методом на планируемый уровень

урожайности 3 т зерна с 1 га ($N_{81}P_{78}K_{74}$ кг действующего вещества на га). Повторность опыта 4-х кратная, площадь деланки ($1,65 \times 50$ м) 89,5 м². Размещение деланок – последовательное.

Применялась агротехника, рекомендованная зональной системой земледелия Республики Татарстан. Для посева использовали сеялку СН-16 НП. После посева почву прикатывали кольчатыми катками. Уборка опытов проводилась в фазу полной спелости зерна комбайном Дон-1500.

Агрометеорологические показатели базировались на данных метеостанции Чулпаново Арского района Республики Татарстан. Годы проведения полевых опытов в целом были характерными для Предкамской зоны Республики Татарстан. В 2023 году начало вегетации характеризовалось не совсем благоприятным по тепловому режиму. Май был прохладным, среднемесячная температура была на 3 °С ниже среднеголетних значений, а осадков выпало 71 мм, что превышало средних

значений на 91,8 %. Июнь и июль месяцы характеризовались высокой теплообеспеченностью с превышением температурного режима на 4,1 ... 4,8 °С, а осадков выпало 14 и 24 мм соответственно. ГТК (гидротермический коэффициент) за вегетацию яровой пшеницы составил 0,8. В 2024 году в ранне-весенний период наблюдался острый недостаток атмосферных осадков и повышения температуры воздуха. Количество осадков в мае составило 24 мм на 36 % меньше от средних значений, острозасушливые условия по влагообеспеченности сложились и в июне, количество атмосферных осадков составило всего лишь 26 % от средних значений. Среднее значение ГТК за вегетацию 0,71.

Результаты и обсуждение. В среднем за годы исследований (2023-2024), фаза полных всходов яровой пшеницы отмечалась через 13-14 суток после посева. Рядовой и узкорядный способы посева, а также предшественники не оказали значимого влияния на полноту всходов (табл. 1).

Таблица 1 - Полнота всходов и сохранность растений яровой пшеницы в зависимости от приемов технологии выращивания, среднее за 2023-2024 года

Предшественники (А)	Способ посева (В)	Полнота всходов		Сохранность растений к уборке	
		число растений на 1 м ²	%	число растений на 1 м ²	%
Кормовая свекла	рядовой	426	71,0	403	94,6
	узкорядный	422	70,3	410	97,1
Кукуруза на силос	рядовой	417	69,5	400	95,6
	узкорядный	420	70,0	408	97,1
Озимая пшеница	рядовой	432	72,0	419	96,9
	узкорядный	423	70,5	412	97,4
Яровая пшеница (повторный посев) контроль	рядовой	417	69,5	388	93,0
	узкорядный	421	70,2	393	93,3
НСР ₀₅	А	0,89		1,35	
	В	0,62		0,57	
	АВ	0,62		0,57	

По данным НСР влияние способов посева на показатель полноты всходов является достоверной. Определенное влияние предшественники оказали на выживаемость растений. На обоих способах посева по озимой пшенице сохранность растений к уборке составил 96,9-97,4 %, что выше контрольного варианта на 3,9 - 4,1 %. По всем предшественникам за исключением повторного посева яровой пшеницы сохранность растений при узкорядном посеве колебалась в пределах 97,1-97,4 %, что на 0,5-2,5 % выше рядового способа посева.

Предшественники и способы посева яровой пшеницы оказывали существенные влияния на урожай (табл. 2). Анализ данных таблицы свидетельствует о бесспорном преимуществе посевов яровой пшеницы по таким предшественникам, как озимая пшеница и кукуруза на силос узкорядным способом посева. В среднем за 2 года максимальный урожай был достигнут после кукурузы на силос и прибавка урожая по сравнению с контролем составила 0,65 т/га.

АГРОНОМИЯ

Таблица 2 – Урожай яровой пшеницы в зависимости от различных предшественников и способа посева

Предшественники фактор (А)	Способ посева фактор (В)	Урожайность, т/га			Отклонения от контроля, т/га	
		2023 год	2024 год	среднее за 2 года	предшественники	способ посева
Яровая пшеница (повторный посев) контроль	рядовой	2,46	2,33	2,40	-	-
	узкорядный	2,58	2,41	2,49	-	0,09
Озимая пшеница	рядовой	2,89	2,66	2,77	0,37	-
	узкорядный	2,98	2,75	2,80	0,31	0,03
Кормовая свекла	рядовой	2,77	2,61	2,63	0,23	-
	узкорядный	2,85	2,69	2,77	0,28	0,14
Кукуруза на силос	рядовой	3,15	2,83	2,99	0,59	-
	узкорядный	3,34	2,94	3,14	0,65	0,15
НСР ₀₅	А	0,07	0,09	0,01		
	В	0,05	0,12	0,01		
	АВ	1,94	1,72	1,84		

Способы посева также оказали определенное влияние на урожайность зерна яровой пшеницы. Узкорядный посев имел преимущество перед рядовым, потому что, при таком способе посева увеличивается площадь питания, что в свою очередь создает более благоприятные условия для прорастания высевных в почву семян, роста и развития растений

в период вегетации и в конечном итоге на нем были получены достоверно более высокие урожаи зерна: 2,49...3,14 т/га в зависимости от предшественника. Прибавка урожая по сравнению с контролем колебалась в пределах 0,08-0,15 т с 1 га.

Качество зерна варьирует в зависимости от предшественников и способа посева (табл.3).

Таблица 3 – Качество зерна яровой пшеницы в зависимости от предшественников и способа посева (ср. 2023-2024 года)

Предшественники	Способ посева	Содержание белка, %	Массовая доля клейковины, %	Стекловидность, %	Масса 1000 зерен, г
Яровая пшеница (повторный посев) контроль	рядовой	10,6	22,3	40,3	35,2
	узкорядный	10,6	23,0	40,5	35,5
Озимая пшеница	рядовой	11,0	24,2	42,5	36,1
	узкорядный	11,2	24,8	43,1	36,4
Кормовая свекла	рядовой	11,6	25,2	42,7	36,8
	узкорядный	12,0	25,6	43,8	37,3
Кукуруза на силос	рядовой	11,8	25,5	46,0	37,4
	узкорядный	12,4	26,0	48,5	37,7
НСР ₀₅		0,44	0,48	0,62	0,27

Лучшим предшественником для яровой пшеницы, в условиях светло-серых лесных почв Предкамской зоны Республики Татарстан, для формирования более качественного зерна оказалась кукуруза на силос, где при узкорядном способе посева содержание белка в зерне превышало показатели контрольного варианта на 1,8%, массовая доля клейковины увеличилась на 3,7%, стекловидности зерна – 8,2%, массы 1000 зерен 2,5 г.

Выводы. Предшественники, а также способы посева яровой пшеницы, не оказали значительного влияния на полноту всходов, и она колебалась в пределах 69,5 - 72,0%.

Сравнительно высокая сохранность растений к уборке был отмечен по предшественнику озимая пшеница при обоих способах посева – 96,9-97,4%, что на 3,9-4,1% выше контрольного варианта. Кроме повторного посева яровой пшеницы при узкорядном способе посева сохранность была выше на 0,5-2,5% по сравнению с контролем.

Максимальный урожай в среднем за 2 года был достигнут при узкорядном посеве после кукурузы на силос – 3,14 т/га и прибавка урожая составила 0,65 т/га по сравнению с контролем.

По предшественнику кукуруза на силос и при узкорядном способе посева формировалось более качественное зерно: содержание белка — 12,4 % (на 1,8 п.п. выше контроля), массовая доля клейковины — на 3,7 п.п. выше контроля.

Литература

1. Ревенко Л. С., Солдатенкова О. И., Ревенко Н. С. Глобальная продовольственная проблема: новые вызовы для мира и России // Экономика. Налоги. Право. 2022. Т. 15, № 4. С. 54-65. doi: 10.26794/1999-849X-2022-15-4-54-65.
2. Зинченко А. П., Демичев В. В. Изменение климата и инклюзивное развитие сельского хозяйства в регионах России // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2020 года. Том ВЫПУСК 293 Часть II. Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. С. 278-281.
3. Краснощек В. Н., Ольгаренко Д. Г., Рожкова О. Н. Изменение климата и сельское хозяйство России: проблемы и решения // Природообустройство. 2017. № 2. С. 80-88.
4. Ключеров Д. А., Баранов Д. А. Климатические изменения в России: исторические тенденции развития // Аграрная история. 2021. № 8. С. 57-74. doi: 10.5281/zenodo.5750072.
5. Шайтанов О. Л., Низамов Р. М., Захарова Е. И. Оценка влияния глобального потепления на климат Татарстана // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4(40). С. 102-112. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-102-112.
6. Лукманова А. А., Кадырова Ф. З., Сафин Р. И. Оценка пригодности различных сортов яровой пшеницы для карбонового земледелия // Агроботехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 1(5). С. 27-33. doi: 10.12737/2782-490X-2023-27-33.
7. Современное состояние зернового производства в Российской Федерации / Д. И. Файзрахманов, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 2 (62). С. 138-142. doi: 10.12737/2073-0462-2021-138-142.
8. Синещев В. Е., Васильева Н. В., Дудкина Е. А. Экономическая эффективность производства зерна // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13, № 4(51). С. 160-167. doi: 10.12737/article_5c3de3a7e063f6.62004014.
9. Сабитов М. М. Экономическая эффективность технологий возделывания культур в зернопаровом севообороте // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 2. С. 13-18. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10202.
10. Авхадиев Ф. Н., Мухаметгалиев Ф. Н., Ситдикова Л. Ф. Повышение устойчивости производства зерна (на материалах Республики Татарстан) // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11, № 4(42). С. 104-108. doi: 10.12737/article_592fc86c9e0ae1.14332306.
11. Система земледелия Республики Татарстан / А. Р. Валиев, И. Х. Габдрахманов, Р. И. Сафин, Б. Г. Зиганшин. Том Часть 3. Казань : ООО "Центр инновационных технологий", 2014. 280 с.
12. Особенности фотосинтетической деятельности растений пшеницы *dicossum* (полба) при различных сроках посева, предшественников и фона питания / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. В. Миникаев, Д. Х. Зинна-туллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1(52). С. 58-64. doi: 10.12737/article_5ccedbb0947037.19618721.
13. Эффективность использования биопрепаратов и десикации на семенных посевах яровой пшеницы / Р. И. Сафин, Г. Х. Хусанова, Р. М. Низамов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 1(49). С. 14-21.
14. Миникаев Р. В., Сайфиева Г. С., Манюкова И. Г. Фитосанитарное состояние посевов в звене севооборота в зависимости от способов основной обработки серой лесной почвы // Зерновое хозяйство России. 2017. № 2(50). С. 47-51.
15. Агрохимические факторы интенсификации земледелия и калийный режим почв Предволжья Республики Татарстан / А. А. Лукманов, М. Ю. Гилязов, Р. М. Гайнуллин [и др.] // Агрохимический вестник. 2025. № 1. С. 44-49. doi: 10.24412/1029-2551-2025-1-009.
16. Амиров М. Ф., Толокнов Д. И. Формирование урожая яровой пшеницы в зависимости от использования минеральных удобрений, микроэлементов и гербицида в условиях республики Татарстан // Плодородие. 2020. № 3 (114). С. 6-9. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.01.
17. Лукманов А. А., Логинов Н. А., Сафиоллин Ф. Н. Технологии возделывания яровой Пшеницы на выщелоченных черноземах Среднего Поволжья // Агрохимический вестник. 2022. № 1. С. 3-7. doi: 10.24412/1029-2551-2022-1-001.
18. Сравнительная продуктивность различных видов яровой пшеницы на серой лесной почве Республики Татарстан / П. Г. Семенов, М. Ф. Амиров, И. М. Сержанов [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 12-20. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Сержанов Игорь Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодово-овощеводства, e-mail: igor.serzhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1758-0622>
 Шайхутдинов Фарит Шарипович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодово-овощеводства, e-mail: faritshay@kazgau.com, <https://orcid.org/0009-0006-1423-4846>
 Гараев Разиль Ильсурович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства и плодово-овощеводства, e-mail: rass112@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7774-6553>
 Ногуманов Ильяс Захитович – аспирант, e-mail: zakhitovich99@mail.ru
 Закиев Ленар Рафилевич – аспирант, e-mail: zakievlenar@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

THE INFLUENCE OF PREDECESSORS AND SOWING METHODS ON THE PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT IN THE CONDITIONS OF THE PREDKAMA ZONE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN I.M. Serzhanov, F.Sh. Shaykhutdinov, R.I. Garaev, I.Z. Nogumanov, L.R. Zakiev

Abstract. The aim of the study is to identify the best precursors and sowing methods in combination with other agricultural techniques to stabilize spring wheat productivity. Field experiments were carried out in 2023-2024 in Trud LLC in Baltasinsky District of the Republic of Tatarstan. The soil of the experimental site are light gray forest. The humus content in the arable layer (0-20 cm) is 3.02-3.17% (according to Tyurin). The soil supply with mobile phosphorus can be

estimated as low (66 mg/kg according to Kirsanov method), the content of mobile potassium (98 mg/kg according to Kirsanov), soil acidity pH of salt extract is 5.0. The research material is spring wheat (*Triticum aestivum*) of Ulyanovskaya 105 variety, originator is Ulyanovsk Research Institute of Agriculture, medium-ripened, high drought resistance. The experimental scheme provided for the following predecessors: fodder beet of Pioneer variety, silage corn of Nur hybrid, winter wheat of Skipeter variety, repeated sowing of spring wheat of Ekada 109 variety. Two sowing methods were used against each background of the predecessor: an ordinary one with a row spacing of 15 cm and narrow-row with a row spacing of 7.5 cm. The maximum yield on average over 2 years (3.14 t/ha) was achieved with narrow-row sowing after silage corn. The yield increase was 0.65 t/ha compared to the control. At the same time, the use of corn for silage as a predecessor in combination with narrow-row sowing contributed to the formation of higher-quality grain: protein content - 12.4% (+ 1.8% to the control), the mass fraction of gluten is 3.7% higher than in the control.

Key words: precursor, sowing method, spring wheat (*Triticum aestivum*), productivity, grain quality.

For citation: Serzhanov I.M., Shaykhutdinov F.Sh., Garaev R.I., Nogumanov I.Z., Zakiev L.R. The influence of predecessors and sowing methods on the productivity of spring wheat in the conditions of the Predkama zone of the Republic of Tatarstan // *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025. 2 (14). 48-52 p.

References

1. Revenko LS, Soldatenkova OI, Revenko NS. [Global food problem: new challenges for the world and Russia]. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*. 2022; Vol.15. 4. 54-65 p. doi: 10.26794/1999-849X-2022-15-4-54-65.
2. Zinchenko AP, Demichev VV. [Climate change and inclusive development of agriculture in the regions of Russia]. *Doklady TSKhA. Moskva, 02-04 dekabrya 2020 goda. Tom VYPUSK 293 Chast II. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet - MSKhA im. K.A. Timiryazeva*. 2021; 278-281 p.
3. Krasnoshchekov VN, Olgarenko DG, Rozhkova ON. [Climate change and agriculture in Russia: problems and solutions]. *Prirodoobustroystvo*. 2017; 2. 80-88 p.
4. Klyuchero DA, Baranov DA. [Climate change in Russia: historical development trends]. *Agrarnaya istoriya*. 2021; 8. 57-74 p. doi:10.5281/zenodo.5750072.
5. Shaytanov OL, Nizamov RM, Zakharova EI. [Assessment of the impact of global warming on the climate of Tatarstan]. *Zernobobovye i krupyanye kultury*. 2021; 4(40). 102-112 p. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-102-112.
6. Lukmanova AA, Kadyrova FZ, Safin RI. [Evaluation of the suitability of different varieties of spring wheat for carbon farming]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2023; 1(5). 27-33 p. doi: 10.12737/2782-490X-2023-27-33.
7. Fayzrakhamanov DI, Valiev AR, Ziganshin BG. [Current state of grain production in the Russian Federation]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 2(62). 138-142 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-138-142.
8. Sineshchekov VE, Vasileva NV, Dudkina EA. [Economic efficiency of grain production]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018; Vol.13. 4(51). 160-167 p. doi: 10.12737/article_5c3de3a7e063f6.62004014.
9. Sabitov MM. [Economic efficiency of crop cultivation technologies in grain-fallow crop rotation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021; Vol.35. 2. 13-18 p. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10202.
10. Avkhadiev FN, Mukhametgaliev FN, Sitdikova LF. [Increasing the sustainability of grain production (based on the materials of the Republic of Tatarstan)]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016; Vol.11. 4(42). 104-108 p. doi: 10.12737/article_592fc86c9e0ae1.14332306.
11. Valiev AR, Gabdrakhmanov IKh, Safin RI, Ziganshin BG. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan*. [Agriculture system of the Republic of Tatarstan]. Tom chast 3. Kazan: OOO "Tsentr innovatsionnykh tekhnologii". 2014; 280 p.
12. Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM, Minikaev RV, Zinnatullin DKh. [Features of photosynthetic activity of dicocum wheat plants (spelt) at different sowing dates, predecessors and nutritional background]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; Vol.14. 1(52). 58-64 p. doi: 10.12737/article_5ccedbb0947037.19618721.
13. Safin RI, Khusainova GK, Nizamov RM. [Efficiency of using biopreparations and desiccation on seed crops of spring wheat]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2024; 1(49). S. 14-21 p.
14. Minikaev RV, Sayfiyeva GS, Manyukova IG. [Phytosanitary condition of crops in the crop rotation link depending on primary cultivation methods of gray forest soil]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2017; 2(50). 47-51 p.
15. Lukmanov AA, Gilyazov MYu, Gaynullin RM. [Agrochemical factors of agriculture intensification and potassium regime of soil of Volga region of the Republic of Tatarstan]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2025; 1. 44-49 p. doi: 10.24412/1029-2551-2025-1-009.
16. Amirov MF, Toloknov DI. [Formation of spring wheat yield depending on the use of mineral fertilizers, microelements and herbicide in the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Plodorodie*. 2020; 3(114). 6-9 p. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.01.
17. Lukmanov AA, Loginov NA, Safiullin FN. [Cultivation technologies of spring wheat in leached chernozem of Middle Volga region]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2022; 1. 3-7 p. doi: 10.24412/1029-2551-2022-1-001.
18. Semen PG, Amirov MF, Serzhanov IM. [Comparative productivity of various types of spring wheat on gray forest soil of the Republic of Tatarstan]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 2. 12-20 p. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20.

Conflict of interest

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

Authors:

Serzhanov Igor Mikhaylovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Crop and Horticulture Department, e-mail: igor.serzhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1758-0622>

Shaykhutdinov Farit Sharipovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Crop and Horticulture Department, e-mail: faritshay@kazgau.com, <https://orcid.org/0009-0006-1423-4846>

Garaev Razi Ilyurovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Crop and Horticulture Department, e-mail: rass112@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7774-6553>

Nogumanov Ilyas Zakhitovich – post-graduate student, e-mail: zakhitovich99@mail.ru

Zakiev Lenar Rafilevich – post-graduate student, e-mail: zakievlenar@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ У МОЛОЧНОГО СКОТА РАЗНЫХ ПОРОД И ГЕНОТИПОВ

Р. Р. Шайдуллин, Л. Р. Загидуллин, Э. В. Шамаева

Реферат. Определены и проанализированы коэффициенты изменчивости показателей молочной продуктивности коров по 1-й и 3-й лактации у черно-пестрой и холмогорской породы с учетом разных генотипов по генам каппа-казеина (CSN3) и соматотропина (GH). Высокая изменчивость проявляется в группе первотелок с генотипом AA и AB каппа-казеина, а у коров по 3-й лактации большая вариабельность прослеживается по уровню молочного жира (11,08%) и молочного белка (10,36%) в группе с генотипом CSN3 BB. По гену соматотропина высокие значения коэффициента изменчивости уровня продуктивности, такие как молочность (8,61-8,63%), количество молочного жира (9,26-9,61%) и белка (8,41-9,17%) выявлены у черно-пестрого скота по первой лактации с аллелем L гена соматотропина, а в группе животных с третьей лактации большая величина изменчивости характерна для коров, несущих аллель V гена соматотропина. Первотелки холмогорской породы с гетерозиготным генотипом VL превосходят гомозиготную группу VV по количеству молочного жира на 6,80% ($p>0,95$) и молочному белку на 6,15% ($p>0,95$). Для полновозрастных животных, имеющие аллель V гена GH, были характерны более высокие коэффициенты изменчивости надоя (7,21-7,79%), выхода молочного жира (8,26-8,41%), выхода молочного белка (8,85-9,33%), а также белкомолочности (2,36%). При сравнении двух пород наибольшие значения изменчивости продуктивности установлены у первотелок холмогорской породы. Таким образом, в группах с большим количеством взрослых особей, содержащие в своем генотипе аллели V гена каппа-казеина и V гена соматотропина, возможна более эффективная селекционная работа по уровню молочной продуктивности.

Ключевые слова: коэффициент изменчивости, коровы, молочная продуктивность, генотип, каппа-казеин, соматотропин.

Для цитирования: Шайдуллин Р.Р., Загидуллин Л.Р., Шамаева Э.В. Изменчивость показателей молочной продуктивности у молочного скота разных пород и генотипов // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2 (14). С.53-57.

Введение. Для эффективной селекционно-племенной работы с молочным скотом важно установить селекционно-генетические параметры по основным продуктивным признакам. Изучение селекционно-генетических параметров животных разного происхождения является актуальным, так как на основании полученных данных можно разработать пути совершенствования и сохранения пород скота [1, 2, 3].

Исследование вариабельности молочной продуктивности сельскохозяйственного скота необходимо для успешной селекционной работы в популяции животных. И показывает уровень консолидации животных в стаде и устанавливает возможность и метод отбора по важным признакам в селекции [4, 5].

В молочном скотоводстве при оценке генетических процессов, при разных способах отбора и подбора родителей, не всегда более тесно изучается генетическая изменчивость показателей молочной продуктивности, таких как уровня удоя, содержания молочного и белка в молоке, а также и другие селекционные признаки.

В селекционной работе скота молочных пород уровень продуктивности, жирномолочность, живая масса должны учитываться при отборе животных, так как они относятся к количественным и качественным показателям, формирующихся при одновременном воздействии многих факторов. При установлении разной вариабельности признаков молочной продуктивности позволяет рекомендовать использование данных показателей при отборе

и раннем прогнозировании продуктивности молочного скота [6].

В результате целенаправленной селекционной работы, совершенствование сельскохозяйственных животных исходит от точности оценки разнообразия генетической информации в генотипе и их корреляции с продуктивными признаками, следовательно, особо подчеркивает оценку и отбор скота с учетом способности повторяемости и изменчивости признаков молочной продуктивности коров [7, 8, 9].

Оценке разнообразия молочных признаков у крупного рогатого скота в зависимости от генетических и фенотипических факторов посвящены работы многих ученых [10, 11, 12].

Таким образом, существует определённая межпородная генетическая изменчивость в проявлении селекционно-генетических параметров, и, в связи с этим, изучение их в разрезе пород и генотипов представляет довольно высокий научный интерес и практическую ценность [13, 14].

Целью данной работы было изучение изменчивости признаков молочной продуктивности у коров разных пород и с разным генотипом по гену каппа-казеина и соматотропина.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования явились первотелки и полновозрастные дойные коровы черно-пестрой и холмогорской породы, которые разводятся в племенном репродукторе ООО «Дусым» Атнинского района и «Племзавод «Бирюлинский» Высокогорского района Республики Татарстан. Был проведен ПЦР-ПДРФ

анализ ДНК опытных коров по генам каппа-казеина (CSN3) и соматотропина (GH). По полученным результатам животных распределили на три генотипа (группы), по гену каппа-казеину на AA, AB, BB, по гену соматотропина на LL, VL, VV. Показатели молочной продуктивности определены по 1-й и 3-й лактации. Биометрическую обработку данных проводили по общепринятой методике (*Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных* / Е.К. Меркурьева. М.: Колос, 1970. 424 с.) с применением ПК и использованием программного приложения Microsoft Excel из программного пакета Microsoft Office 2010. Коэффициент изменчивости и его ошибку рассчитывали общепринятыми при исследовании в области биологии статистическими методами.

Результаты и обсуждение. При проведении исследований установлено, что в стаде

первотелок черно-пестрого скота высокие значения коэффициента изменчивости показателей молочной продуктивности проявились в группе имеющие генотип АВ по гену каппа-казеина, а по сравнению с гомозиготной группой превосходят их по надою на 0,85-0,96%, по жирности молока на 0,05-1,47% ($p>0,99$), по количеству молочного жира – на 0,61-2,24%, по белковости молока – на 0,33-0,55% и по выходу молочного белка – на 1,12-1,53% (табл. 1). К тому же достаточно высокая вариабельность жирномолочности наблюдается в группе с генотипом CSN3 AA (2,77%), при достоверной разности ($p>0,99$).

Высокая изменчивость молочности, жирности и белковости молока выявлена по третьей лактации в группе с генотипом CSN3 АВ с превосходством над остальными группами на 0,89-2,38%, 0,47-0,52% и 0,41-0,92%, соответственно.

Таблица 1 – Коэффициент изменчивости (%) молочной продуктивности коров черно-пестрой породы с разным генотипом гена каппа-казеина

Показатель	1-лактация			3-лактация		
	Генотип каппа-казеина CSN3					
	AA	AB	BB	AA	AB	BB
Голов	101	44	6	109	52	7
Удой за лактация (кг)	8,37 ± 0,589	9,33 ± 0,994	8,48 ± 2,448	8,29 ± 0,928	9,18 ± 1,300	6,80 ± 1,887
Массовая доля жира (%)	2,77 ± 0,195	2,82 ± 0,301	1,35 ± 0,388	2,90 ± 0,349	3,37 ± 0,477	2,85 ± 0,625
Молочный жир (кг)	9,18 ± 0,646	9,79 ± 1,043	7,55 ± 2,178	7,93 ± 1,086	6,70 ± 1,415	11,08 ± 1,616
Массовая доля белка (%)	1,96 ± 0,138	2,29 ± 0,245	1,74 ± 0,502	2,31 ± 0,133	2,72 ± 0,279	1,80 ± 0,723
Молочный белок (кг)	8,28 ± 0,582	9,81 ± 1,046	8,69 ± 2,510	8,78 ± 1,064	6,67 ± 1,458	10,36 ± 1,888

При оценке уровня молочного жира (11,08%) и молочного белка (10,36%) у коров по третьей лактации наибольшие значения коэффициента изменчивости присущи группе с генотипом CSN3 BB, при достоверной разности по сравнению с группой CSN3 AA по молочному жиру на 4,38% ($p>0,95$).

При оценке вариабельности показателей

продуктивности у скота холмогорской породы установлено, что группы первотелок с генотипом CSN3 AA и CSN3 AB достоверно превышают группу CSN3 BB по удою на 6,26% ($p>0,99$) и 5,90% ($p>0,99$), по жирности молока – на 2,67% ($p>0,999$) и 2,43% ($p>0,99$), по молочному жиру – на 9,53% ($p>0,99$) и 8,10% ($P>0,95$), по молочному белку – на 8,20% ($p>0,99$) и 7,51% ($p>0,95$) (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициент изменчивости (%) молочной продуктивности коров холмогорской породы с разным генотипом гена каппа-казеина

Показатель	1-лактация			3-лактация		
	Генотип каппа-казеина CSN3					
	AA	AB	BB	AA	AB	BB
Голов	103	50	7	92	45	6
Удой за лактация (кг)	13,32 ±0,562	12,99 ±0,900	7,06 ±1,816	7,79 ±0,574	8,48 ±0,893	4,44 ±1,282
Массовая доля жира (%)	5,01 ±0,197	4,77 ±0,330	2,34 ±0,761	3,61 ±0,266	3,14 ±0,331	2,13 ±0,613
Молочный жир (кг)	15,58 ±0,537	14,15 ±0,657	6,05 ±2,961	7,93 ±0,585	6,24 ±0,658	6,36 ±1,837
Массовая доля белка (%)	1,90 ±0,156	2,79 ±0,267	2,71 ±0,481	2,17 ±0,160	2,18 ±0,230	2,04 ±0,590
Молочный белок (кг)	15,27 ±0,595	14,58 ±0,654	7,07 ±2,769	8,72 ±0,643	6,64 ±0,700	5,73 ±1,653

А в группе с генотипом CSN3 АВ большая изменчивость массовой доли белка в молоке – 2,79%.

Коэффициенты изменчивости показателей молочной продуктивности коров по 3-й лактации большие в группах, имеющих аллель А, при статистически достоверной разности только по удою на 3,35% ($p>0,95$) и 4,04% ($p>0,95$).

В разрезе пород холмогорский скот имеет наибольшую изменчивость показателей молочной продуктивности, особенно это проявляется у первотелок.

Таким образом, высокая изменчивость характерны для молочного скота, несущих в своем генотипе аллель А гена каппа-казеина.

При анализе коэффициента изменчивости по гену соматотропина варибельность показателей продуктивности была высокая у черно-пестрого скота, имеющие аллель L гена GH, кроме жирномолочности, при том, что разность статистически достоверна только по молочному жиру на 4,53-4,88% ($p>0,95$) при сопоставлении с гомозиготной группой GH VV (табл. 3).

Таблица 3 – Коэффициент изменчивости (%) показателей молочной продуктивности коров черно-пестрой породы с разным генотипом гена соматотропина

Показатель	1-лактация			3-лактация		
	Генотип соматотропина (GH)					
	LL	VL	VV	LL	VL	VV
Голов	115	33	3	133	31	4
Удой за лактация (кг)	8,63 ±0,57	8,61 ±1,06	6,05 ±2,47	7,93 ±0,49	10,07 ±1,28	8,89 ±3,14
Массовая доля жи- ра (%)	2,65 ±0,17	2,93 ±0,36	4,93 ±2,01	3,08 ±0,19	2,91 ±0,37	4,10 ±1,45
Молочный жир (кг)	9,26 ±0,61	9,61 ±1,18	4,73 ±1,93	7,25 ±0,44	9,72 ±1,23	9,62 ±3,40
Массовая доля бел- ка (%)	2,64 ±0,17	2,26 ±0,28	1,92 ±0,79	2,70 ±0,17	2,32 ±0,29	1,95 ±0,69
Молочный белок (кг)	9,17 ±0,60	8,41 ±1,04	7,43 ±3,03	7,99 ±0,49	10,02 ±1,27	9,38 ±3,32

По 3-й лактации превосходство молочного скота в группах GH VL и GH VV, составила по удою на 0,96-2,14%, по жирности – на 1,02%, по молочному жиру – на 2,37-2,47%, по молочному белку – на 1,39-2,03%.

Высокой изменчивостью белкомолочности (2,70 %) отметилась группа с гомозиготным генотипом GH LL, а жирномолочности - у всех возрастных групп молочного скота с генотипом GH VV (4,93% и 4,10%).

У холмогорского скота первотелки

с генотипом GH VL характеризуются высокими коэффициентами изменчивости удоя (13,23%), массовой доли жира (5,18%) и белка (2,58%) в молоке, количества молочного жира (16,61%) и белка (16,35%), но разность статистически достоверна по сравнению с гомозиготной группой VV по гену соматотропина по таким показателям, как по молочному жиру на 6,80% ($p>0,95$) и по молочному белку на 6,15% ($p>0,95$) (табл. 4).

Таблица 4 – Коэффициент изменчивости (%) показателей молочной продуктивности коров черно-пестрой породы с разным генотипом гена соматотропина

Показатель	1-лактация			3-лактация		
	Генотип соматотропина (GH)					
	LL	VL	VV	LL	VL	VV
Голов	75	76	9	73	60	10
Удой за лак- тация (кг)	12,96 ±1,06	13,23 ±1,07	9,32 ±2,20	7,06 ±0,58	7,79 ±0,71	7,21 ±1,61
Массовая доля жира (%)	4,56 ±0,37	5,18 ±0,42	5,03 ±1,19	3,51 ±0,29	3,34 ±0,30	3,43 ±0,77
Молочный жир (кг)	13,40 ±1,09	16,61 ±1,35	9,81 ±2,31	6,51 ±0,54	8,26 ±0,75	8,41 ±1,88
Массовая доля белка (%)	2,66 ±0,22	2,58 ±0,21	2,26 ±0,53	2,23 ±0,18	2,36 ±0,22	2,15 ±0,48
Молочный белок (кг)	13,78 ±1,12	16,35 ±1,33	10,20 ±2,40	6,96 ±0,58	8,85 ±0,81	9,33 ±2,09

Группа коров по третьей лактации, содержащая в своем генотипе аллель V гена GH, выделяются достаточно высокими значениями вариабельности надоя (7,21-7,79%), уровня молочного жира (8,26-8,41%) и молочного белка (8,85-9,33%), а также белкомолочности (2,36%). А по жирномолочности лучшее значение изменчивости имеет группа с генотипом GH LL – 3,51%.

Выводы. Установлены высокие значения коэффициента изменчивости молочной продуктивности у группы скота, содержащая в своем геноме аллель A гена каппа-казеина и аллель L гена соматотропина. При сопоставлении молочных пород наибольшая изменчивость продуктивности проявляется преимущественно у первотелок холмогорской породы.

Отмечены небольшие коэффициенты вариации жирности и белковости молока у скота, несущих в геноме аллель B каппа-казеина и V гена соматотропина, что говорит о большой консолидированности выше-названных признаков.

Таким образом, изменчивость показателей продуктивности молочных животных различна по своему уровню, как в пределах возраста, породы, так и по генотипу маркерных генов, что дает возможность концентрировать сельскохозяйственных животных в стаде с учетом желательных генотипов и определять направление селекции по отбираемым признакам в отечественных популяциях скота.

Литература

1. Шевелева О. М., Свяженина М. А., Смирнова Т. Н. Использование разных методов подбора для совершенствования стада крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы в племенном заводе // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2 (167). С. 87-93. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-87-93>
2. Изучение показателей продуктивности коров чёрно-пёстрой породы с учетом генотипов ДНК-маркеров / А. В. Степанов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 25-35. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_25
3. Вельматов А. П., Абушаев Р. А., Тишкина Т. Н. Взаимосвязь хозяйственно-полезных признаков и их использование в практической селекции // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 143-149 <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-143-149>
4. Вариативность молочной продуктивности холмогорских и черно-пестрых коров с различным генотипом пролактина / Р. Р. Шайдуллин, А. Б. Москвичева, Л. Р. Загидуллин, Т. М. Ахметов., Г. Х. Халилова // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 1 (1). С. 40-42. <https://doi.org/10.12737/-2022-1-1-40-42>
5. Использование современных технологий в молочном животноводстве / Ф. Ф. Ситдииков, Б. Г. Зиганшин, Р. Р. Шайдуллин, А. Б. Москвичева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 81-87. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-81-87>
6. Изменчивость и корреляция признаков молочной продуктивности коров в условиях Якутии / Л. Н. Захарова, А. В. Попова, Р. В. Иванов, В. И. Скрыбина, В. С. Курчатова // Зоотехния. 2024. № 2. С. 2-4. <https://doi.org/10.25708/ZT.2024.37.83.001>
7. Кровикова А. Н., Бакай Ф. Р., Мухтаров А. М. Изменения содержания массовой доли жира и белка под влиянием селекции // Зоотехния. 2024. № 2. С. 5-7. <https://doi.org/10.25708/ZT.2024.93.32.002>
8. Лепёхина Т. В., Бакай А. В., Бакай Ф. Р. Изменчивость и повторяемость признаков молочной продуктивности у коров черно-пестрой породы // Зоотехния. 2018. № 12. С. 10-11.
9. Шевелева О. М., Свяженина М. А., Смирнова Т. Н. Использование разных методов подбора для совершенствования стада крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы в племенном заводе // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2 (167). С. 87-93 <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-87-93>
10. Динамика вариации молочных признаков у коров при применении кормовой добавки «Вивактив» / М. Н. Баеринас, О. П. Неверова, О. В. Горелик [и др.] // Аграрная наука. 2024. № 5. С. 63-68. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-63-68>
11. Токарева М. А., Горелик О. В., Неверова О. П. Эффективность применения кормовой добавки «Оптимус» при кормлении дойных коров в период раздоя // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 95. С. 178-184. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-95-178-184>
12. Возраст выбытия коров из стада в зависимости от генетических и паратипических факторов / О. С. Чеченихина, О. А. Быкова, О. Г. Лоретц, А. В. Степанов // Аграрный вестник Урала. 2021. № 6. С. 71-79. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
13. Влияние генетических факторов на продуктивность коров и качество молока / И. Ю. Михайлова, Е. Г. Лазарева, А. В. Бигаева и др. // Пищевая промышленность. 2021. № 1. С. 36-40. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2021-10007>
14. Kabitskaya Y. A., Boyko E. G. Genetic diversity of cattle bred in territory of the Tyumen region, Russia // Archives of Razi Institute. 2021. № 76 (3). P. 681-690. <https://doi.org/10.22092/ARI.2021.355325.1673>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Шайдуллин Радик Рафаилович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой биотехнологии, животноводства и химии, e-mail: tpi-kgau@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-3327>
 Загидуллин Ленар Рафикович – кандидат биологических наук, доцент кафедры механизации имени Н.А. Сафуллина, e-mail: mehksavm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9261-6512>
 Шамаева Энецца Владимировна – студентка 3 курса, e-mail: enessa02@bk.ru
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

VARIABILITY OF MILK PRODUCTIVITY INDICATORS IN DAIRY CATTLE OF DIFFERENT BREEDS AND GENOTYPES

R.R. Shaydullin, L.R. Zagidullin, E.V. Shamaeva

Abstract. The variability coefficients of milk productivity indicators of cows in the 1st and 3rd lactations of Black-and-White and Kholmogory breeds were determined and analyzed taking into account different genotypes for the kappa-casein (CSN3) and somatotropin (GH) genes. High variability is manifested in the group of first-calf heifers with AA and AB genotype of kappa-casein, and in cows in the 3rd lactation, high variability is observed in the level of milk fat (11.08%) and milk protein (10.36%) in the group with the CSN3 BB genotype. According to the somatotropin gene, high values of the productivity level variability coefficient, such as milk yield (8.61-8.63%), milk fat content (9.26-9.61%) and protein content (8.41-9.17%) were found in black-and-white cattle in the first lactation with the L allele of the somatotropin gene, and in the group of animals from the third lactation, a large variability value is characteristic of cows carrying the V allele of the somatotropin gene. Kholmogory first-calf heifers with the heterozygous VL genotype exceed the homozygous VV group in the amount of milk fat by 6.80% ($p > 0.95$) and milk protein by 6.15% ($p > 0.95$). For full-grown animals with the V allele of the GH gene, higher coefficients of variability of milk yield (7.21-7.79%), milk fat yield (8.26-8.41%), milk protein yield (8.85-9.33%), and milk protein content (2.36%) were characteristic. When comparing the two breeds, the highest values of productivity variability were found in Kholmogory first-calf heifers. Thus, in groups with a large number of adult individuals containing the B allele of the kappa-casein gene and the V allele of the somatotropin gene in their genotype, more effective selection work for the level of milk productivity is possible.

Keywords: variability coefficient, cows, milk productivity, genotype, kappa-casein, somatotropin.

For citation: Shaydullin R.R., Zagidullin L.R., Shamaeva E.V. Variability of milk productivity indicators in dairy cattle of different breeds and genotypes. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 2 (14). 53-57 p.

References

1. Sheveleva OM, Svyazhenina MA, Smirnova TN. [Using different selection methods to improve the herd of black-and-white cattle in a breeding farm]. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 2 (167). 87-93 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-87-93>
2. Stepanov AV. [Study of productivity indicators of black-and-white cows taking into account the genotypes of DNA markers]. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2022; 2 (42). 25-35 p. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_25
3. Velmatov AP, Abushaev RA, Tishkina TN. [The relationship of economically useful traits and their use in practical breeding]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 1 (53). 143-149 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-143-149>
4. Shaydullin RR, Moskvicheva AB, Zagidullin LR, Akhmetov TM, Khalilova GK. [Variability of milk productivity of Kholmogory and Black-and-White cows with different prolactin genotypes]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledelie*. 2022; 1 (1). 40-42 p. <https://doi.org/10.12737/-2022-1-1-40-42>
5. Sitdikov FF, Ziganshin BG, Shaydullin RR, Moskvicheva AB. [The use of modern technologies in dairy farming]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; Vol.15. 1 (57). 81-87 p. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-81-87>
6. Zakharova LN, Popova AV, Ivanov RV, Skryabina VI, Kurchatov VS. [Variability and correlation of signs of milk productivity of cows in the conditions of Yakutia]. *Zootekhnika*. 2024; 2. 2-4 p. <https://doi.org/10.25708/ZT.2024.37.83.001>
7. Krovikova AN, Bakay FR, Mukhtarov AM. [Changes in the content of the mass fraction of fat and protein under the influence of selection]. *Zootekhnika*. 2024; 2. 5-7 p. <https://doi.org/10.25708/ZT.2024.93.32.002>
8. Lepekhina TV, Bakay AV, Bakay FR. [Variability and repeatability of milk productivity traits in black-and-white cows]. *Zootekhnika*. 2018; 12. 10-11 p.
9. Sheveleva OM, Svyazhenina MA, Smirnova TN. [Use of different selection methods to improve the herd of black-and-white cattle in a breeding farm]. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 2 (167). 87-93 p. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-87-93>
10. Baerinas MN, Neverova OP, Gorelik OV. [Dynamics of variation of milk traits in cows with the use of the feed additive "Vivaktiv"]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 5. 63-68 p. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-63-68>
11. Tokareva MA, Gorelik OV, Neverova OP. [Efficiency of using the feed additive "Optimus" in feeding dairy cows during the milking period]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 95. 178-184 p. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-95-178-184>
12. Chechenikhina OS, Bykova OA, Lorets OG, Stepanov AV. [The age of cows leaving the herd depending on genetic and paratypic factors]. *Agrarny vestnik Urala*. 2021; 6. 71-79 p. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
13. Mikhaylova IYu, Lazareva EG, Bigaeva AV. [The influence of genetic factors on the productivity of cows and the quality of milk]. *Pishchevaya promyshlennost*. 2021; 1. 36-40 p. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2021-10007>
14. Kabitskaya YA, Boyko EG. Genetic diversity of cattle bred in territory of Tyumen region, Russia. *Archives of Razi Institute*. 2021; 76 (3). 681-690 p. <https://doi.org/10.22092/ARI.2021.355325.1673>

Conflict of interests

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

Authors:

Shaydullin Radik Rafailovich – Doctor of Agricultural Sciences, Head of Biotechnology, Animal Husbandry and Chemistry Department, e-mail: tpi-kgau@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-3327>

Zagidullin Lenar Rafikovich – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Mechanization Department named after N.A. Safiullin, e-mail: mehksavm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9261-6512>

Shamaeva Enessa Vladimirovna – 3rd year student, e-mail: enessa02@bk.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЕМ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА И ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ**В.К. Каличкин, А. С. Донченко, К. С. Голохваст**

Реферат. Статья посвящена разработке системы цифрового управления земледелием (ЦСУЗ), объединяющей мониторинг сельскохозяйственных объектов, анализ данных длительных полевых опытов и современные информационные технологии. Цель исследования – создание теоретической основы для оптимизации управления агропроизводством за счёт интеграции искусственного интеллекта, машинного обучения, дистанционного зондирования, геоинформационных систем (ГИС) и больших данных. Новизна работы заключается в применении алгоритмов машинного обучения для прогнозирования урожайности, масштабирования архетипов систем земледелия на основе пространственно-временного анализа, а также разработке пространственной системы поддержки принятия решений (СППР), сочетающей ГИС, моделирование и базы знаний. Техническая реализация мониторинга включает использование беспилотных летательных аппаратов, метеостанций, почвенных датчиков и спутниковых снимков, данные которых обрабатываются в облачных средах. Результаты исследований демонстрируют возможность снижения неопределённости в управлении агротехнологиями за счёт предиктивной аналитики, имитационного моделирования и стандартизации мультимодальных данных. Выводы подчёркивают практическую значимость ЦСУЗ для повышения устойчивости, минимизации рисков и рентабельности растениеводства. Предложенная система позволяет перейти от обобщённых рекомендаций к индивидуализированному управлению, учитывающему пространственно-временную вариабельность агроландшафтов. Ключевые компоненты ЦСУЗ – модули прогнозирования урожайности, анализа вегетационных индексов, дифференцированного внесения удобрений и интеграции данных полевых экспериментов – ориентированы на решение задач цифровизации сельского хозяйства. Результаты работы имеют прикладное значение для внедрения интеллектуальных технологий в агропромышленный комплекс.

Ключевые слова: цифровое земледелие, мониторинг, искусственный интеллект, машинное обучение, прогнозирование урожайности, ГИС, СППР.

Для цитирования: Каличкин В.К., Донченко А.С., Голохваст К.С. Формирование системы цифрового управления земледелием на основе мониторинга и длительных полевых опытов// Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2(14). С. 58-68.

Введение. Земледелие по своей природе является сложной научной областью, связанной с широким спектром знаний, навыков, методов и процессов, которые могут эффективно поддерживаться современными цифровыми технологиями. Современное земледелие переживает трансформацию, обусловленную этими технологиями, которая представляется многообещающей, поскольку позволит ему перейти на следующий уровень устойчивости, производительности и прибыльности производства растениеводческой продукции.

Последние достижения в области информационных и коммуникационных технологий оказывают значительное влияние на все сектора экономики и земледелие не является исключением. Цифровое земледелие (Digital Agriculture) появилось как следствие демократизации цифровых устройств, а также достижений в области искусственного интеллекта (Artificial Intelligence) и науки о данных (Data Science). Эта новая парадигма, сосредоточенная на получении сельскохозяйственных данных и формировании на их основе знаний, получила несколько названий: Сельское хозяйство 4.0 (Agriculture 4.0) [1] или Сельское хозяйство 5.0 [2], Цифровое земледелие (Digital Farming) [3] или Интеллектуальное земледелие (Smart Farming) [4], и возникла, когда телематика и управление данными были объединены с уже известной концепцией точного земледелия

(Precision farming) [5]. Цифровое земледелие создало новые процессы, позволяющие сделать сельское хозяйство более продуктивным и эффективным при уменьшении давления на окружающую среду [6,7].

Цифровое земледелие – это растущее использование информационных технологий, включающих Интернет вещей, дистанционное зондирование, облачные вычисления, анализ больших данных и искусственный интеллект (ИИ). Эти технологии содействуют повышению продовольственной безопасности, сокращению внесения удобрений и пестицидов и повышению рентабельности производства растениеводческой продукции. Сенсорные системы и связанная с ними аналитика могут предоставить производителям сельскохозяйственной продукции более качественную информацию для принятия своевременных решений с предсказуемыми результатами, а автоматизация решений задач с использованием датчиков в реальном времени и машинного обучения может повысить их надежность. Использование цифровых технологий может также обеспечить инновационную поддержку для успешной реализации систем земледелия и использования земли в их конкретных пространственных условиях и способствовать новому обучению в процессе принятия управленческих решений [8,9].

Источники знаний в земледелии основываются на общих рекомендациях, полученных

в результате индуктивного анализа экспериментов, проведенных на опытных полях научных и учебных учреждений в ограниченном географическом пространстве. Однако уже не вызывает сомнения, что результаты, полученные в отдельной точке пространства (в экспериментах на «небольших участках»), не являются репрезентативными для неоднородных производственных полей, расположенных в различных природных условиях, пусть даже одного почвенно-климатического района. Вопросы масштабирования этих результатов в полной мере до сих пор не решены. Цифровые (интеллектуальные) технологии предоставляют возможность перехода от обобщенного управления земледелием к индивидуализированному и оптимизированному управлению в режиме реального времени с использованием датчиков [10], Интернета вещей [11, 12] и интеллектуального анализа данных [13, 14]. Кроме того, цифровые технологии, включающие геоинформационные системы (ГИС) и дистанционное зондирование [15], могут способствовать выделению и типизации ареалов управления в масштабах поля, хозяйства, региона или почвенно-климатической зоны [16, 17, 18], тем самым способствуя решению проблем масштабирования результатов полевых экспериментальных исследований.

Важную роль в цифровом управлении земледелием играет система мониторинга окружающей среды, обеспечивая умное, устойчивое и экологичное сельское хозяйство, и которая помогает справиться с основными проблемами и факторами, влияющими на повышение его производительности. Интеллектуальная система мониторинга по сути является основой умного земледелия. Она помогает не только поддерживать производительность при ограниченных ресурсах, но и может осуществлять наблюдение за климатическими изменениями, питательными веществами в почве, динамикой воды, осуществлять поддержку управления данными в сельскохозяйственных системах, а также борьбы с сорняками, насекомыми-вредителями и болезнями [19,20].

Цель исследований – разработка теоретической базы системы цифрового управления земледелием, включающая мониторинг сельскохозяйственных объектов, масштабирование результатов полевых опытов, использование современных информационных технологий и методов искусственного интеллекта (ИИ).

Условия, материалы и методы. Методологической основой исследований выступал междисциплинарный подход, который реализовывался в использовании принципов объективности и системности. При проведении исследования применялся метод теоретического анализа и синтеза, классификации, метод индукции и дедукции, сравнения и др.

Для разработки основ цифровой системы управления земледелием (ЦСУЗ) был проведен аналитический обзор научных публикаций, описывающий как теоретические

положения и функциональные возможности, так и результаты практического применения современных подходов, позволяющих осуществлять поддержку принятия решений при производстве растениеводческой продукции. Анализ также включал просмотр открытой информации об отечественных инструментах в данной предметной области, представленных в Интернет, близких к общей сфере применения ЦСУЗ, т.е. основанных на общесистемных подходах, которые в автоматизированном режиме собирают и обрабатывают информацию для поддержки принятия решений в земледелии. С этой целью было проанализировано более 25 российских компьютерных программ. В основном в программах реализуется оперативная поддержка агротехнологий путем предоставления агрономической информации – цифровая карта полей и их история, севообороты, агрохимический анализ почв, план производства растениеводческой продукции, различные справочники. Программы предоставляют возможность наблюдения за состоянием посевов с помощью мобильного приложения, делают анализ накопления биомассы по NDVI, используют данные спутникового мониторинга полей и съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), формируют карты дифференцированного внесения удобрений и пестицидов, учитывают погодные данные и контролируют соблюдение агротехнологий с помощью ГЛОНАСС/GPS и др.

Использовали также следующие методы работы с информацией: контент-анализ, абстрактно-логический, обобщение, концептуализация.

Результаты и обсуждение. Цифровая система управления земледелием (ЦСУЗ) – это основанная на правилах и знаниях система поддержки принятия решений (СППР), которая объединяет технологии мониторинга *in situ* (это наблюдение и/или измерение событий в их исходном месте (от латинского слова *situs* – место)) и дистанционного зондирования посевов и природных объектов; алгоритмы машинного обучения и интеллектуальный анализ результатов мониторинга и длительных полевых опытов; формирование архивов систем земледелия и их масштабирование; моделирование пространственных объектов и типизация земель с использованием ГИС; веб-платформы с общедоступными базами данных в реальном времени; модули планирования и поддержки агротехнологий; моделирование экосистемных услуг (ЭСУ) и биоразнообразия; оценку воздействия на устойчивость и экономику производства растениеводческой продукции [21].

ЦСУЗ основана на наземном, проксимальном и дистанционном мониторинге почвы, воздуха и посевов с помощью технологий *in situ* и дистанционного зондирования, осуществляемый на основе данных разнообразных датчиков (инвазивных и переносных) и цифровых снимков,

полученных с БПЛА или спутников через регулярные промежутки времени. Мониторинг позволяет систематизировать информацию по объектам как во времени (вегетационный пе-

риод, год), так и в пространстве (ареал управления, землепользование, агроландшафт), отражая временную и пространственную динамику объектов наблюдения (рис. 1).



Рисунок 1 - Схема мониторинга полевых опытов Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (СФНЦ РАН)

Технико-технологическая реализация мониторинга состоит из следующих основных блоков:

- оборудование для мониторинга и сбора данных. БПЛА с мультиспектральной камерой (съемка полей в различных спектральных диапазонах для оценки состояния посевов), метеостанция (сбор данных о погодных условиях), полевые датчики (измерение параметров почвы), спутниковые снимки среднего и высокого разрешения;

- вычислительная инфраструктура. Сервер обработки данных (сервер на базе Intel Xeon (32+ ядер), RAM 256+ ГБ, GPU NVIDIA Tesla для задач машинного обучения), система хранения данных (RAID-массив 20+ ТБ с горячим резервированием, система резервного копирования), рабочие станции (ПК с CPU i7/i9, RAM 32+ ГБ, GPU NVIDIA RTX 3060+, SSD 1+ ТБ для работы с ГИС, обработки данных ДЗЗ и разработки программного обеспечения), облачные сервисы (доступ к вычислительным ресурсам Google Colab Pro/Pro+, AWS EC2 для распределенных вычислений);

- Агросигнал- платформа для спутникового мониторинга полей и анализа вегетационных индексов

- 1С:Агропрофи - система управления агропредприятием с модулями учета и планирования

- программное обеспечение. ГИС-платформа (ArcGIS, QGIS для работы с пространственными данными и картографирования), ПО обработки ДЗЗ (ENVI, SNAP, Google Earth Engine для анализа космических снимков), аналитическое ПО (инструменты для статистического анализа и прогнозирования – Python, R), специализированное ПО (Agisoft Metashape для обработки данных с БПЛА, PostGIS для хранения геоданных).

- обучение сотрудников. Курсы повышения квалификации (обучение работе с ГИС, администрированию серверов, IoT-системам), практическая подготовка (работа с полевым оборудованием, калибровка датчиков, обработка данных), научные стажировки (обмен опытом с ведущими научными центрами).

Датчики почвы и носимые устройства для растений играют важную роль в интеллектуальном земледелии, отслеживая в режиме реального времени физические и химические сигналы, такие как температура, влажность, газообмен, площадь листьев, содержание хлорофилла и др., предоставляя ключевую информацию для оптимизации условий выращивания сельскохозяйственных культур, борьбы с биотическими и абиотическими стрессами и повышения урожайности. Инвазивные (внутрипочвенные) датчики используются с помощью беспроводной сенсорной сети на основе Интернета вещей [22].

Дистанционное зондирование – технология, которая может предоставить информацию как о биологических объектах (растительность и ее динамика), так и о физических условиях земель (изменения рельефа, морфологические и физические параметры). Для анализа особенностей пространственных объектов осуществляется интеграция дистанционного зондирования и ГИС. Для этих целей проводится сегментация и классификация изображений цифровых снимков одним из методов, например, GEOBIA (анализ изображений на основе географических объектов) в отличие от традиционных методов на основе пикселей, фокусируется на выявлении и анализе объектов и регионов внутри изображений [23]. Мультиспектральные и гиперспектральные снимки позволяют рассчитывать вегетационные индексы (ВИ), оценивать биомассу растений,

выявлять неоднородности в развитии посевов, признаки заболеваний и сорняки. БПЛА, оснащенные специализированными камерами, дополняют спутниковые данные съемкой сверхвысокого пространственного разрешения, что особенно важно для оперативного мониторинга локальных участков и принятия решений в управлении агротехнологиями.

В результате мониторинга посевов и окружающей среды формируются данные, обычно называемые «большими данными», которые нуждаются в хранении, редактировании, анализе и интерпретации. Последняя обладает значительным потенциалом для лиц, принимающих решения. Большие данные обычно характеризуются объемом, разнообразием, скоростью, достоверностью и ценностью [24]. Такие данные целесообразно хранить и анализировать в облаке cloud (совокупность виртуальных информационных ресурсов, доступ к которым возможен через интернет-соединение). Облачные вычисления – это широко доступная парадигма, которая предлагает такие преимущества, как минимальные усилия по управлению, удобство, простота обслуживания и централизованное управление [25].

Для анализа данных используются различные алгоритмы машинного обучения (МО),

одного из разделов ИИ. Хорошо известными алгоритмами МО являются метод случайного леса (Random Forest – RF), экстремальный градиентный бустинг (eXtreme Gradient Boosting – XGBoost) и метод опорных векторов (Support Vector Machines – SVM). Случайный лес включает в себя пакетирование, создание ансамбля деревьев решений путем случайного выбора объектов из обучающих данных. Комбинируя несколько деревьев принятия решений, RF-классификаторы могут обеспечивать надежные прогнозы, предлагая измерения переменной важности. Подобно RF, метод XGBoost также использует деревья решений в качестве базовых средств обучения, но продвигает процесс дальше, объединяя сильные стороны отдельных деревьев в технике бустинга. Другим традиционным методом являются SVM (набор схожих алгоритмов вида «обучение с учителем», использующихся для задач классификации и регрессионного анализа), однако применение этого метода, не всегда сопровождается лучшей классификацией, чем при использовании RF [26].

Планируемая сеть мониторинга охватывает все стационарные опытные участки филиалов СФНЦА РАН, находящихся в Западной, Средней и Восточной Сибири (рис. 2).

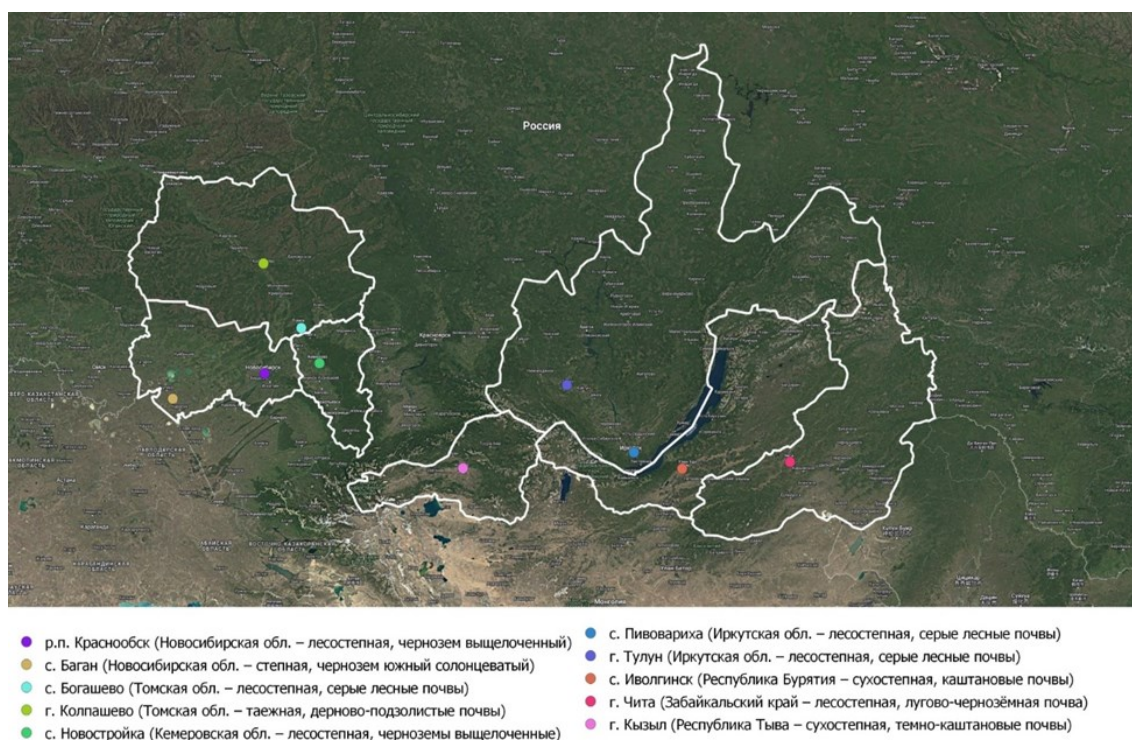


Рисунок 2 - Планируемая сеть мониторинга СФЦА РАН

Результаты мониторинга и анализа данных полевых опытов в виде архетипов систем земледелия необходимо масштабировать в репрезентативных пространственных объектах, для реализации их на «местах» в контексте интеллектуального земледелия [27]. Под архетипом системы земледелия понимается модель использования сельскохозяйственных земель определенной агроэкологической группы

с экологически и экономически детерминированным набором возделываемых культур и соответствующими приемами управляющих воздействий (севооборот, обработка почвы, удобрения, защита растений) [21].

Учитывая растущую доступность ГИС и пространственных данных, необходимо более широко использовать цифровые карты и географическую «привязку»

анализа данных. Такое использование возможностей геоинформационного моделирования нашло бы отражение в лучшем понимании влияния биотических и эдафических факторов среды на реакцию возделываемых культур и способствовало бы более адекватной интерпретации количественных результатов научных экспериментов.

Для формирования цифровых архетипов систем земледелия с использованием мониторинга и временных рядов данных длительных полевых опытов СФНЦА РАН необходимо решить следующие основные задачи:

- классификация групп и видов земель с атрибутами: рельеф, почвенный покров, агрометеорологические ресурсы и др.;
- создание баз данных, баз знаний и логических правил по основным блокам систем земледелия и агротехнологиям;
- выявление архетипов систем земледелия с помощью самоорганизующейся карты Кохонена или методов системной динамики.

Масштабирование архетипов систем земледелия осуществляется с помощью следующих основных операций:

- создание инфраструктуры пространственных данных (ИПД) на основе технологий дистанционного зондирования;
- идентификация почвенного покрова и ВИ, сегментация и классификация пространственных объектов землепользования;
- пространственный анализ и картографирование с помощью МО, интегрированного с ГИС;
- выделение геонтов и агроэкологическая оценка земель пространственного объекта;
- масштабирование архетипических моделей систем земледелия методом многомерной пространственно-временной регионализации.

В целях развития ЦСУЗ в научных исследованиях необходимо уделить больше внимания имитационному моделированию. Модели необходимы для ответа на конкретный вопрос предметной области, создаются для этой цели и бывают разных форм. Статистические модели (также называемые эмпирическими) используют математическую связь между различными переменными. Принципиальным недостатком статистических моделей является то, что они разрабатываются на основе полученных данных и плохо подходят для использования в приложениях, которые не участвовали в параметризации и разработке модели. Они также не могут прогнозировать значения в неопределенном контексте (например, влияние изменения климата на рост сельскохозяйственных культур). Напротив, механистические модели (также называемые биофизическими) основаны на моделировании биофизических процессов. Они используют математические уравнения, описывающие эти процессы, а не просто связывающие две переменные, как в статистическом моделировании. Их можно вывести в отсутствие каких-либо реальных данных, если процесс описан. Интеграция биологических,

физиологических, экологических, физических и экономических компонент привела к разработке таких известных моделей продукционного процесса сельскохозяйственных растений, как APSIM (комплексная модель, разработанная для моделирования биофизических процессов в сельскохозяйственных системах), DSSAT (набор компьютерных программ для моделирования роста сельскохозяйственных культур), STICS (моделирование роста сельскохозяйственных культур с учетом почвенных, климатических и агротехнических факторов), WOFOST (модель для оценки продуктивности сельскохозяйственных культур на уровне поля и региона.), CropSyst (комплексное моделирование роста культур, водного и nutrient-баланса.) или AGROTOOL (Российская модель для прогнозирования урожайности и агроэкологического моделирования.). Иногда их называют «моделями урожая» и трактуются они как пояснительные инструменты, которые обычно используются при тестировании различных подходов к управлению продуктивностью посевов.

Биофизические модели однако имеют существенные ограничения, а именно, они являются «точечными моделями». Эти инструменты разработаны для моделирования роста и развития сельскохозяйственных культур для однородной единицы в определенной точке пространства. Кроме того, биофизические модели требуют большого количества входных данных. Например, для программы WOFOST требуются данные примерно по 40 входным параметрам, а для AGROTOOL – более 190.

В этом контексте методы дистанционного зондирования могут дополнить биофизические модели, в частности, генерируя недостающую пространственную информацию для единицы моделирования. Хотя эти две технологии развивались независимо, в настоящее время они могут использоваться синергетически в различных пространственных и временных масштабах для общего развития цифрового управления системами земледелия и их реализации на «местах» [28].

В настоящее время широкое развитие получила предиктивная (прогнозная) аналитика с помощью методов ИИ, в частности прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур. В научных исследованиях по земледелию эти модели должны решать задачи планирования (имитации) урожая и управляющих воздействий в камеральных условиях перед выходом в поле. Больших успехов в прогнозировании урожайности удалось достичь с помощью МО. Применяемые алгоритмы отличаются разнообразием и в целом делятся на модели МО и глубокого обучения (ГО). В моделях МО обычно используются алгоритмы: дерево решений (Decision Trees – DT), метод опорных векторов (Support Vector Machines – SVM), цепи Маркова (Markov chain correlation – MCC), к-ближайший сосед (K-Nearest Neighbors – KNN), случайный лес (Random Forest – RF), наивный байесовский

классификатор (Naive Bayes classifier – NB), градиентный бустинг (Gradient Boosting – GB), адаптивный бустинг (Adaptive Boosting – AdaBoost), экстремальный градиентный бустинг (eXtreme Gradient Boosting – XGBoost), искусственная нейронная сеть (Artificial Neural Network – ANN), классические регрессионные модели (Regression Models – RM) и др. В моделях ГО используются: сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network – CNN), рекуррентная нейронная сеть (Recurrent Neural Network – RNN), глубокая нейронная сеть (Deep Neural Networks – DNN), спайковая нейронная сеть (Spiking Neural Network – SNN), долговременная и кратковременная память (Long-Short Term Memory – LSTM) и др.

Реализация моделей МО и ГО при прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур состоит из четырех этапов: сбор данных; предварительная обработка и анализ данных, построение предиктивных моделей и оценка их точности. Ключевые этапы (предварительная обработка и анализ данных, а также построение предиктивных моделей) связаны с будущей эффективностью прогнозирования. Предварительная обработка данных, которая заключается в выполнении преобразований данных и устранение нерелевантных признаков, существенно влияет на эффективность работы предиктивных моделей. После определения релевантных признаков происходит процесс выбора алгоритма

с последующим обучением и оптимизацией модели, в том числе за счет настройки гиперпараметров. Выбор модели МО для успешного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур существенно зависит от выбора релевантных признаков и их параметров (данных), а также от функциональных возможностей алгоритмов. В большинстве случаев в предиктивных моделях используются признаки, отражающие агрометеорологические ресурсы местности в течение вегетационного периода, характеристики почвы, состояние посевов по стадиям роста растений и применяемые управляющие воздействия в агротехнологиях.

Платформой СЦУЗ выступает система поддержки принятия решений (СППР). СППР – это компьютеризированная информационная система, которая облегчает принятие сложных решений путем сбора, интерпретации и анализа необходимых данных. Система должна гарантировать, что лица, принимающие решения, получают исчерпывающую информацию для принятия решений. Основной смысл разработки СППР заключается в упрощении сложных процессов принятия решений на основе интерпретации данных и использовании знаний предметной области.

Общая методология создания пространственной системы поддержки принятия решений для реализации ЦСУЗ состоит из следующих блоков (рис. 3).

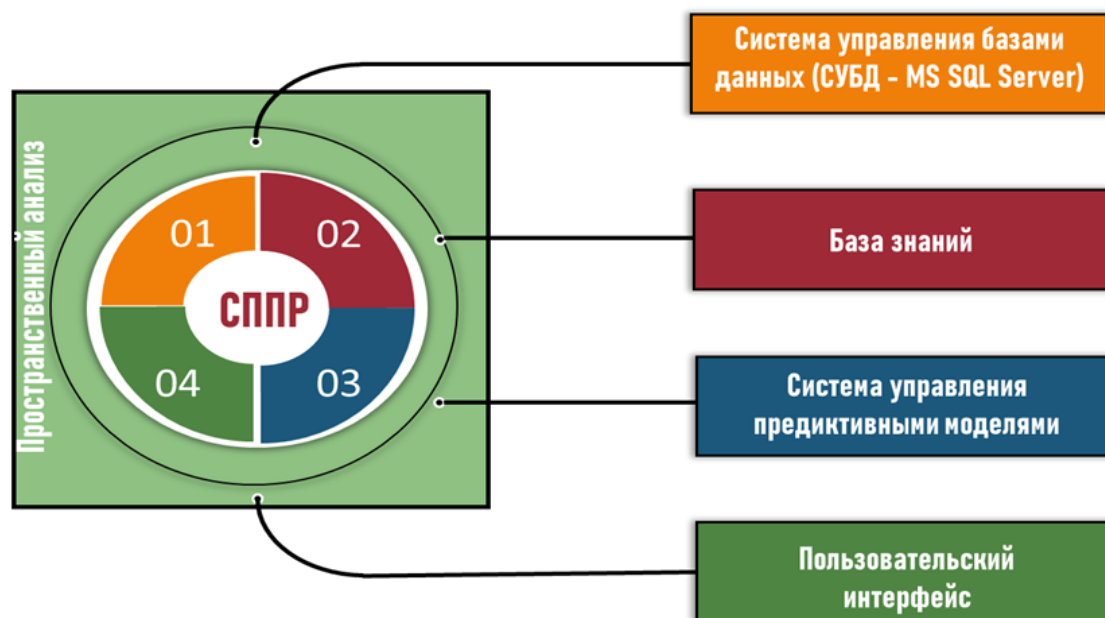


Рисунок 3 - Общая структура пространственной СППР

Система управления базами данных (СУБД), является ядром СППР и состоит из наборов взаимосвязанных данных, предназначенных для удовлетворения информационных потребностей пользователя. Обеспечивая доступ к данным, их поиск и обновление, СУБД расширяет функциональность СППР.

База знаний дополняет традиционные

данные субъективными идеями, логикой принятия решений и процедурными знаниями. Она служит хранилищем, из которого извлекаются решения сложных проблем.

Система управления предиктивными моделями обрабатывает различные модели принятия решений в рамках СППР. Предоставляя информацию о статических, динамических,

теоретических или эмпирических моделях, имитирующих бизнес-процессы или системы. Эта система добавляет глубину процессу принятия решений.

Пользовательский интерфейс выступает в качестве шлюза между лицами, принимающими решения, и СППР. Он призван обеспечить удобное, интуитивно понятное и гибкое взаимодействие между пользователем и системой.

СППР обычно классифицируются тремя типами. Первый тип опирается на математические и аналитические модели для поддержки принятия решений. Этот тип полезен для решения сложных задач, где целесообразно применять предиктивные модели. Большие данные обычно не применяются, а вместо этого используются структурированные методы для анализа переменных и результатов. Они помогают в прогнозировании, оптимизации и моделировании различных объектов и процессов. Второй тип фокусируется на доступе, обработке и анализе Больших данных. Эти системы распространены в приложениях бизнес-аналитики и хранилищ данных, где они помогают генерировать отчеты, тенденции и сводки. Обычно используются такие инструменты, как OLAP (Online Analytical Processing) и методы добычи данных. Третий тип основан на знаниях, также известен как экспертная система. Фокусируется на использовании экспертных знаний и специальных знаний

в предметной области для содействия принятию решений. Эта система использует базы знаний, в которых хранятся подробные правила и экспертная информация, для предоставления советов или рекомендаций.

Характерной особенностью разрабатываемой СППР для реализации ЦСУЗ является ее пространственная составляющая. Пространственные СППР интегрированы в графическом пользовательском интерфейсе (GUI), реализуемом с использованием функциональных возможностей управления пространственными данными с помощью ГИС. Пространственные СППР объединяют пространственные и непространственные данные, функции анализа и визуализации ГИС и модели принятия решений для вычисления различных характеристик с целью решения проблем. В данном контексте может быть использован метод анализа многокритериальных решений на основе ГИС (GIS-MCDA), определяемый как набор методов и инструментов для преобразования и объединения географических данных и предпочтений (оценочных суждений) с целью получения информации для принятия решений [29].

В настоящее время учеными СФНЦА РАН освоены многие инструменты и методы интеллектуального анализа данных, необходимые для разработки ЦСУЗ (табл.).

Таблица - Освоенные темы, методы и инструменты в СФНЦА РАН

Направление	Темы	Инструменты и методы
Интеграция ГИС, дистанционного зондирования и МО	Картографирование, анализ и агроэкологическая оценка сельскохозяйственных земель	Quantum GIS, SAGA GIS, ArcGIS, многозональные снимки БПЛА и спутников
	Сегментация мультиспектральных снимков БПЛА и спутников Sentinel-2 и Landsat 8-9	ISODATA, максимального правдоподобия, расстояние Махаланобиса, метод параллелепипедов, алгоритм OBIS
	Классификация пространственных объектов	GEOBIA и МО, ГеоИИ, концепция «geons»
	Распознавание сельскохозяйственных культур	Расчеты вегетационных индексов, алгоритмы МО: SVM, KNN, RF, XGBoost
	Геопространственная база данных	СУБД – MS SQL Server
	Идентификация и классификация сорняков	Нейронная сеть ResNet-34
Прогнозная (предиктивная) аналитика	Прогнозирование засоренности посевов	Байесовская сеть доверия (БСД), дерево решений (CART)
	Прогнозирование минерального азота, фосфора и влажности почвы	БСД, мультиномиальная логистическая регрессия, нейронная сеть MLP
	Прогнозирование засушливости/увлажненности территории	Нормализованный индекс SPI и МО; R, Python
	Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур	Алгоритмы МО: DT, SVM, KNN, RF, XGBoost, AdaBoost; нейронная сеть MLP; R, Python
	Прогнозирование продуктивности севооборотов	Алгоритмы МО: SVM, KNN, RF, XGBoost; MATLAB, ANFIS

Таким образом, в связи с расширением практического применения цифровых технологий в сельском хозяйстве (датчики, Интернет вещей, БПЛА, спутники и др.) и осуществления организации системы высокоточного пространственного мониторинга (*in situ*, проксимальный, дистанционный) с применением методов ИИ (машинное обучение и др.), становится возможным разработка комплекса предиктивных моделей продуктивности сельскохозяйственных земель и применения управляющих воздействий при возделывании культур в онлайн режиме. Повышение уровня информатизации земледелия, характеризующегося высокой вариабельностью, а также стандартизация мультимодальных данных мониторинга в разных природно-климатических зонах позволят создать базы данных и знаний. Это снизит неопределенность, минимизирует риски и повысит устойчивость производства растениеводческой продукции.

Выводы. 1. Разработана теоретическая и методологическая основа Цифровой Системы Управления Земледелием (ЦСУЗ), интегрирующей технологии мониторинга (БПЛА, метеостанции, почвенные датчики, спутниковые снимки), алгоритмы машинного обучения и методы анализа больших данных. Система обеспечивает переход от обобщенных рекомендаций к индивидуализированному управлению агротехнологиями с учётом пространственно-временной вариабельности агроландшафтов.

2. Доказана эффективность применения искусственного интеллекта и машинного обучения (Random Forest, XGBoost, нейронные сети) для прогнозирования урожайности, анализа вегетационных индексов и оптимизации

управляющих воздействий. Алгоритмы демонстрируют высокую точность при обработке мультимодальных данных, включая агрометеорологические показатели, состояние почвы и динамику развития культур.

3. Создана пространственная система поддержки принятия решений (СППР), объединяющая ГИС-технологии, базы знаний и имитационное моделирование. Система позволяет визуализировать данные, проводить многокритериальный анализ и формировать рекомендации для минимизации рисков и повышения рентабельности растениеводства.

4. Разработана методология масштабирования архетипов систем земледелия на основе данных длительных полевых опытов. Использование дистанционного зондирования и геоинформационного моделирования обеспечивает адаптацию моделей к разнородным почвенно-климатическим условиям, что способствует устойчивому развитию агроэкосистем.

5. Практическая значимость исследования подтверждена снижением неопределённости в управлении агропроизводством за счёт предиктивной аналитики, стандартизации данных и интеграции облачных вычислений. Внедрение ЦСУЗ открывает перспективы для цифровизации сельского хозяйства, повышения ресурсоэффективности и экологической безопасности.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением функционала СППР за счёт внедрения моделей глубокого обучения, разработкой адаптивных алгоритмов для экстремальных климатических сценариев и углублённым анализом синергии между биофизическим моделированием и технологиями ИИ.

Литература

1. Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefit/ Maffezzoli F., Ardolino M., Bacchetti A., Perona M., Renga F. // *Futures*. 2022. Vol. 142. P. 102998. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102998>.
2. Emerging Technologies for Precision Crop Management Towards Agriculture 5.0: A Comprehensive Overview/ Taha M. F., Mao H., Zhang Z. et al. // *Agriculture*. 2025. Vol. 15. № 6. P. 582. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060582>.
3. Gumbi N., Gumbi L., Twinomurinzi H. Towards sustainable digital agriculture for smallholder farmers: A systematic literature review // *Sustainability*. 2023. Vol. 15. № 16. P. 12530. <https://doi.org/10.3390/su151612530>.
4. Akkem Y., Biswas S. K., Varanasi A. Smart farming using artificial intelligence: A review // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 120. P. 105899. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105899>.
5. Singh A. K. Precision farming // *Water Technology Centre, IARI, New Delhi*. 2010. P. 165-174. URL: <https://drs.icar.gov.in/ebook/EBADAT/6-Other%20Useful%20Techniques/14-Precision%20Farming%20Lecture.pdf>. (дата обращения 20.03.2025).
6. Barrett H., Rose D. C. Perceptions of the fourth agricultural revolution: what's in, what's out, and what consequences are anticipated? // *Sociologia Ruralis*. 2022. Vol. 62. № 2. P. 162-189. <https://doi.org/10.1111/soru.12324>.
7. Big Data Privacy in Smart Farming: A Review/ Amiri-Zarandi M., Dara R. A., Duncan E., Fraser E. D. G. // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 15. P. 9120. <https://doi.org/10.3390/su14159120>.
8. Ingram J., Maye D. What are the implications of digitalisation for agricultural knowledge? // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020. Vol. 4. P. 66. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00066>.
9. An in-depth review on the concept of digital farming/ Ammar E. E., Aziz S. A., Zou X. et al. // *Environment, Development and Sustainability*. 2024. P. 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05161-9>.
10. Kim M-Y., Lee K.H. Electrochemical Sensors for Sustainable Precision Agriculture – A Review // *Frontiers in Chemistry*. 2022. Vol. 10. P. 848320. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.848320>.
11. Navarro E., Costa N., Pereira A. A. Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming // *Sensors*. 2020. Vol. 20. № 15. P. 4231. <https://doi.org/10.3390/s20154231>.
12. Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential/ Villa-Henriksen, A., Edwards, G. T., Pesonen, L. A., Green, O., & Sørensen, C. A. G. // *Biosystems Engineering*.

2020. Vol. 191. pp. 60-84. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013>.

13. What are the priority research questions for digital agriculture?/ Julie, I., Damian, M., Clive, B., Barnes, A., Bear, C., Bell, M., Manning, L. // *Land Use Policy*. 2022. Vol. 114. P. 105962. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105962>.

14. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies/ . Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. // *International Journal of Intelligent Networks*. 2022. Vol. 3. pp. 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>.

15. Kumar S., Khan N. Application of remote sensing and GIS in land resource management // *Journal of Geography and Cartography*. 2021. Vol. 4. № 2. pp. 78-81. <https://doi.org/10.24294/jgc.v4i2.437>.

16. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems/ Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., & Landivar-Bowles, J. // *Current Opinion in Biotechnology*. 2021. Vol. 70. pp. 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.003>.

17. Geoscience-aware deep learning: A new paradigm for remote sensing/ Ge, Y., Zhang, X., Atkinson, P. M., Stein, A., & Li, L. // *Science of Remote Sensing*. 2022. Vol. 5. P. 100047. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2022.100047>.

18. Remote Sensing in Field Crop Monitoring: A Comprehensive Review of Sensor Systems, Data Analyses and Recent Advances/ Omia, E., Bae, H., Park, E., Kim, M. S., Baek, I., Kabenge, I., & Cho, B. K. // *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. № 2. P. 354. <https://doi.org/10.3390/rs15020354>.

19. A revisit of internet of things technologies for monitoring and control strategies in smart agriculture / Rehman A., Saba T., Kashif M. et al. // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. N 1. P. 127. DOI: 10.3390/agronomy12010127.

20. Application of smart techniques, internet of things and data mining for resource use efficient and sustainable crop production/ Ali A., Hussain T., Tantashutikun N. et al // *Agriculture*. 2023. Vol. 13. N 2. P. 397. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020397>.

21. Каличкин В.К., Максимович К.Ю. Методология формирования цифровой системы управления земледелием // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024. Т. 54. № 3. С. 5-20. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-3-1>.

22. Ullo S. L., Sinha G. R. Advances in IoT and Smart Sensors for Remote Sensing and Agriculture Applications // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. № 13. P. 2585. <https://doi.org/10.3390/rs13132585>.

23. Aaron E.M., Warner T.A., Fang F. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: an applied review // *International journal of remote sensing*. 2018. Vol. 39. № 9. pp. 2784-2817. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>.

24. Machine learning in agriculture: A review/ . Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., & Bochtis, D. // *Sensors*. 2018. Vol. 18. № 8. P. 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>.

25. Cloud and distributed architectures for data management in agriculture 4.0: Review and future trends/ Debauche, O., Mahmoudi, S., Manneback, P., & Lebeau, F. // *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. 2022. Vol. 34. № 9. pp. 7494-7514. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.09.015>.

26. Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review/ Benos L., Tagarakis A. C., Dolias G. et al // *Sensors*. 2021. Vol. 21. N 11. P. 3758. <https://doi.org/10.3390/s21113758>.

27. Каличкин В.К. О необходимости трансформации парадигмы научных исследований в области земледелия (сообщение первое) // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024. Т. 54. № 7. С. 117-129. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-7-12>.

28. Каличкин В.К. О необходимости трансформации парадигмы научных исследований в области земледелия (сообщение второе) // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024. Т. 54. № 9. С. 101-114. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-9-11>.

29. Milutinović G., Seipel S., Ahonen-Jonnarh U. Geospatial Decision-Making Framework Based on the Concept of Satisficing // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021. Vol. 10. № 5. P. 326. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050326>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Каличкин Владимир Климентьевич - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель Сибирского НИИ земледелия, биологизации и цифровизации, e-mail: vk.kalichkin@gmail.com

Донченко Александр Семенович - доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, руководитель Института экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока, e-mail: ac.donchenko@yandex.ru

Голохваст Кирилл Сергеевич - доктор биологических наук, член-корреспондент РАО, профессор РАН, директор, e-mail: drooru@mail.ru

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия

FORMATION OF A DIGITAL AGRICULTURAL MANAGEMENT SYSTEM BASED ON MONITORING AND LONG-TERM FIELD EXPERIMENTS

V.K. Kalichkin, A.S. Donchenko, K.S. Golokhvast

Abstract. The article is devoted to the development of a digital agriculture management system (DAMS) that combines monitoring of agricultural objects, analysis of long-term field experiment data and modern information technologies. The purpose of the study is to create a theoretical basis for optimizing agricultural production management by integrating artificial intelligence, machine learning, remote sensing, geographic information systems (GIS) and big data. The novelty of the work lies in the use of machine learning algorithms for yield forecasting, scaling of agricultural system archetypes based on spatio-temporal analysis, as well as the development of a spatial decision support system (DSS) that combines geographic information systems, modeling and knowledge bases. The technical implementation of monitoring includes the use of unmanned aerial vehicles, weather stations, soil sensors and satellite images, the data of which are processed in cloud environments. The research results demonstrate the possibility of reducing uncertainty in the management of agricultural technologies through predictive analytics,

simulation modeling and standardization of multimodal data. The findings emphasize the practical importance of the digital agriculture management system for increasing sustainability, minimizing risks and profitability of crop production. The proposed system allows moving from generalized recommendations to individualized management that takes into account the spatio-temporal variability of agricultural landscapes. The key components of the digital agriculture management system - modules for yield forecasting, analysis of vegetation indices, differentiated fertilization and integration of field experiment data - are focused on solving the problems of digitalization of agriculture. The results of the work are of practical importance for the introduction of intelligent technologies in the agro-industrial complex.

Key words: digital farming, monitoring, artificial intelligence, machine learning, yield forecasting, geographic information systems (GIS), decision support system (DSS).

For citation: Kalichkin V.K., Donchenko A.S., Golokhvast K.S. Formation of a digital agriculture management system based on monitoring and long-term field experiments. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 2(14). 58-68 p.

References

1. Maffezzoli F, Ardolino M, Bacchetti A, Perona M, Renga F. Agriculture 4.0: a systematic literature review on the paradigm, technologies and benefit. *Futures*. 2022. Vol.142. 102998 p. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102998>.
2. Taha MF, Mao H, Zhang Z. Emerging technologies for precision crop management towards Agriculture 5.0: a comprehensive overview. *Agriculture*. 2025; Vol.15. 6. 582 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060582>.
3. Gumbi N, Gumbi L, Twinomurinzi H. Towards sustainable digital agriculture for smallholder farmers: a systematic literature review. *Sustainability*. 2023; Vol.15. 16. 12530 p. <https://doi.org/10.3390/su151612530>.
4. Akkem Y, Biswas SK, Varanasi A. Smart farming using artificial intelligence: a review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023; Vol.120. 105899 p. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105899>.
5. Singh AK. Precision farming. [Internet]. Water Technology Centre, IARI, New Delhi. 2010; 165-174 p. [cited 2025, March 20]. Available from: <https://drs.icar.gov.in/ebook/EBADAT/6-Other%20Useful%20Techniques/14-Precision%20Farming%20Lecture.pdf>.
6. Barrett H, Rose DC. Perceptions of the fourth agricultural revolution: what's in, what's out, and what consequences are anticipated? *Sociologia Ruralis*. 2022; Vol.62. 2. 162-189 p. <https://doi.org/10.1111/soru.12324>.
7. Amiri-Zarandi M, Dara RA, Duncan E, Fraser EDG. Big data privacy in smart farming: a review. *Sustainability*. 2022; Vol.14. 15. 9120 p. <https://doi.org/10.3390/su14159120>.
8. Ingram J, Maye D. What are the implications of digitalization for agricultural knowledge? *Frontiers in sustainable food systems*. 2020; Vol.4. 66 p. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00066>.
9. Ammar EE, Aziz SA, Zou X. An in-depth review on the concept of digital farming. *Environment, Development and Sustainability*. 2024; 1-27 p. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05161-9>.
10. Kim M-Y, Lee K.H. Electrochemical sensors for sustainable precision agriculture – a review. *Frontiers in Chemistry*. 2022; Vol.10. 848320 p. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.848320>.
11. Navarro E, Costa N, Pereira AA. Systematic review of iot solutions for smart farming. *Sensors*. 2020; Vol.20. 15. 4231 p. <https://doi.org/10.3390/s20154231>.
12. Villa-Henriksen A, Edwards GT, Pesonen LA, Green O, Sorensen CAG. Internet of things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential. *Biosystems Engineering*. 2020; Vol.191. 60-84 p. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013>.
13. Julie I, Damian M, Clive B, Barnes A, Bear C, Bell M, Manning L. What are the priority research questions for digital agriculture? *Land Use Policy*. 2022; Vol.114. 105962 p. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105962>.
14. Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*. 2022; Vol.3. 150-164 p. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>.
15. Kumar S, Khan N. Application of remote sensing and GIS in land resource management. *Journal of Geography and Cartography*. 2021; Vol.4. 2. 78-81 p. <https://doi.org/10.24294/jgc.v4i2.437>.
16. Jung J, Maeda M, Chang A, Bhandari M, Ashapure A, Landivar-Bowles J. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*. 2021; Vol.70. 15-22 p. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.003>.
17. Ge Y, Zhang X, Atkinson PM, Stein A, Li L. Geoscience-aware deep learning: A new paradigm for remote sensing. *Science of Remote Sensing*. 2022; Vol.5. 100047 p. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2022.100047>.
18. Omia E, Bae H, Park E, Kim MS, Baek I, Kabenge I, Cho BK. Remote sensing in field crop monitoring: a comprehensive review of sensor systems, data analyses and recent advances. *Remote Sensing*. 2023; Vol.15. 2. 354 p. <https://doi.org/10.3390/rs15020354>.
19. Rehman A, Saba T, Kashif M. A revisit of internet of things technologies for monitoring and control strategies in smart agriculture. *Agronomy*. 2022; Vol.12. 1. 127 p. doi: 10.3390/agronomy12010127.
20. Ali A, Hussain T, Tantashutikun N. Application of smart techniques, internet of things and data mining for resource use efficient and sustainable crop production. *Agriculture*. 2023; Vol.13. 2. 397 p. doi: 10.3390/agriculture13020397.
21. Kalichkin VK, Maksimovich KYu. [Methodology for the formation of a digital agricultural management system]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 2024; Vol.54. 3. 5-20 p. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-3-1>.
22. Ullo SL, Sinha GR. Advances in IoT and smart sensors for remote sensing and agriculture applications. *Remote Sensing*. 2021; Vol.13. 13. 2585 p. <https://doi.org/10.3390/rs13132585>.
23. Aaron EM, Warner TA, Fang F. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: an applied review. *International journal of remote sensing*. 2018; Vol.39. 9. 2784-2817 p. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>.
24. Liakos KG, Busato P, Moshou D, Pearson S, Bochtis D. Machine learning in agriculture: a review. *Sensors*. 2018; Vol.18. 8. 2674 p. <https://doi.org/10.3390/s18082674>.

25. Debauche O, Mahmoudi S, Manneback P, Lebeau F. Cloud and distributed architectures for data management in Agriculture 4.0: review and future trends. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. 2022; Vol.34. 9. 7494-7514 p. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.09.015>.
26. Benos L, Tagarakis AC, Dolias G. Machine learning in agriculture: a comprehensive updated review. *Sensors*. 2021; Vol.21. 11. 3758 p. DOI<https://doi.org/10.3390/s21113758>.
27. Kalichkin VK. [On the need to transform the paradigm of scientific research in the field of agriculture (first message)]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2024; Vol.54. 7. 117-129 p. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-7-12>.
28. Kalichkin VK. [On the need to transform the paradigm of scientific research in the field of agriculture (second message)]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2024; Vol.54. 9. 101-114 p. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-9-11>.
29. Milutinovic G, Seipel S, Ahonen-Jonnarth U. Geospatial decision-making framework based on the concept of satisficing. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021; Vol.10. 5. 326 p. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050326>

Conflict of interest.

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

Authors:

Kalichkin Vladimir Klimentevich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Siberian Research Institute of Agriculture, Biologization and Digitalization, e-mail: vk.kalichkin@gmail.com
 Donchenko Aleksandr Semenovich - Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Head of Institute of Experimental Veterinary Medicine of Siberia and the Far East, e-mail: ac.donchenko@yandex.ru
 Golokhvast Kirill Sergeevich – Doctor of Biological Sciences, corresponding member of Russian Academy of Education, Professor of Russian Academy of Sciences, Director, e-mail: droopy@mail.ru
 Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Novosibirsk District, Krasnoobsk, Russia.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**Н.В. Трофимов, И.Ф. Яхин**

Реферат. Растущий мировой спрос на продовольствие и увеличение населения планеты стимулируют развитие рынка сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Среднегодовой темп роста этого рынка составляет 23-25%. БПЛА повышают эффективность аграрного сектора за счет автоматизации процессов мониторинга состояния посевов, прогнозирования урожайности, дифференцированного внесения агрохимикатов и биологических средств защиты растений. Внедрение беспилотных технологий в российский агропромышленном комплексе обеспечивает потенциал ежегодной экономии до 300 млрд рублей благодаря снижению потерь урожая, оптимизации использования агрохимикатов и сокращению расходов на ГСМ и трудовые ресурсы. Анализ рыночной структуры показывает доминирование сегмента аппаратного обеспечения (67,3%), при этом наибольшую выручку генерируют продажи дронов для распыления агрохимикатов (40,1%). Опыт компании XAG (КНР) подтверждает эффективность использования дронов-опрыскивателей, фиксируя снижение расхода пестицидов на 30%. Однако существуют ряд проблем, ограничивающих широкое применение агродронов: ограниченная грузоподъемность, неравномерное покрытие при ультрамалообъемном опрыскивании чувствительных культур, зависимость от типа культур и погодных условий, недостаточная емкость аккумуляторов и отсутствие четкой системы классификации и регулирования. В РФ классификация дронов осуществляется согласно ФЗ №60 "Воздушный кодекс РФ" преимущественно по массе (до 0,25 кг, 0,25-30 кг, более 30 кг), в то время как в ЕС согласно Регламенту (ЕС) 2019/947 действует комплексная система классификации по категориям риска ("открытая", "специальная", "сертифицированная") с дополнительными подкатегориями, учитывающими не только массу, но и технические характеристики, тип полетов и возможности. В России дополнительными барьерами являются нехватка специализированных препаратов для ультрамалообъемного опрыскивания, недостаток специализированных полигонов для испытаний и дефицит квалифицированных кадров. Для решения этих проблем необходима разработка новой классификации дронов, создание специализированных препаратов и развитие инфраструктуры для испытаний и обучения специалистов. Государственная поддержка и регулирование, включая «Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года», играют ключевую роль в стимулировании внедрения дронов в сельское хозяйство и формировании технологического суверенитета России.

Ключевые слова: агродроны, опрыскивание, сельское хозяйство, кадры, государственная поддержка.

Для цитирования: Трофимов Н.В., Яхин И.Ф. Проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2025. 2(14). С. 69-76.

Введение. Рынок беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в России, используемых в коммерческих целях, растёт более чем на 60% ежегодно, согласно данным компании «Ростелеком В2Е». Согласно последнему отчету MarketsandMarkets "Agricultural Drones Market by Offering" (2023), среднегодовой темп роста мирового рынка сельскохозяйственных БПЛА составляет 23,4% на период 2023-2028 годов. По данным Mordor Intelligence "Agricultural Drones Market Size & Share Analysis" (2023), CAGR рынка агродронов прогнозируется на уровне 25,1% до 2028 года (рис.) [1, 2, 3].

Несмотря на широкое использование БПЛА в логистике и энергетике, наибольший потенциал роста наблюдается в сельском хозяйстве, где беспилотные технологии способны решить критические проблемы продовольственной безопасности и ресурсоэффективности. По данным отраслевых аналитиков (MarketsandMarkets, 2023), сегмент сельскохозяйственных БПЛА демонстрирует среднегодовой темп роста 23,4%, что превышает показатели в других отраслях. Это объясняется растущей потребностью в прецизионном

земледелии, сокращении химической нагрузки на окружающую среду и оптимизации сельскохозяйственных операций в условиях глобальных климатических изменений и необходимости повышения урожайности. Агропромышленный комплекс становится ключевым драйвером инноваций в сфере беспилотных технологий благодаря разнообразию применений – от мониторинга состояния посевов до точечного внесения агрохимикатов и биологических средств защиты растений.

Развитие этого направления стимулируется увеличением инвестиций со стороны коммерческих организаций, улучшением регулирования и созданием необходимой инфраструктуры. Основными потребителями БПЛА до 2028 года, по информации от «Ростелеком В2Е», станут логистика, сельское хозяйство, строительство и энергетика [4, 5, 6].

В настоящее время беспилотные аппараты широко используются для обеспечения доступа в интернет в удалённых районах, мониторинга объектов, таких как здания, высотные конструкции и строительные площадки, а также для исследования природных объектов, транспортировки и доставки товаров

и грузов [7, 8, 9].

Основные преимущества БПЛА для бизнеса включают возможность оптимизации и упрощения

рабочих процессов, сокращение трудовых затрат, ускорение сбора данных и минимизацию влияния человеческого фактора [10, 11, 12].

Российский рынок БПЛА в коммерческом секторе

в млрд рублей

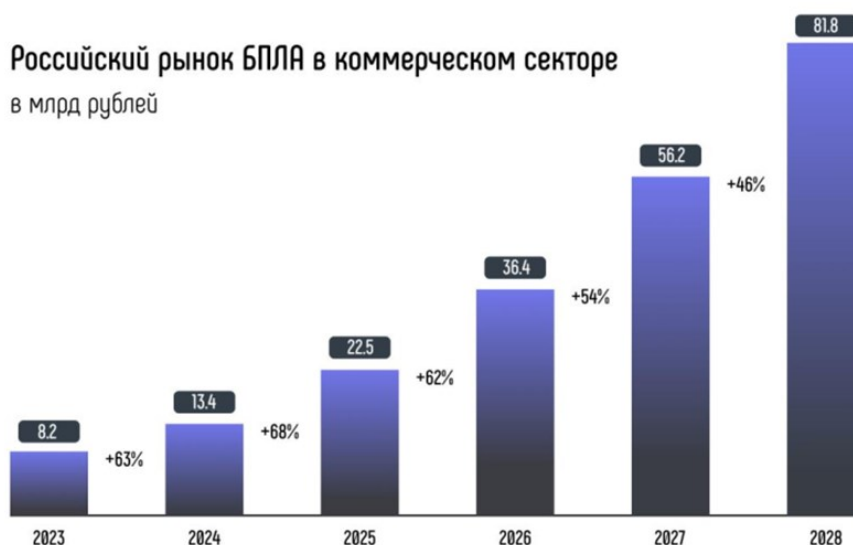


Рисунок - Динамика развития российского рынка БПЛА

Однако существуют факторы, сдерживающие дальнейшее развитие этой отрасли и более широкое внедрение БПЛА, такие как сложности в регулировании, недостаточное развитие инфраструктуры и ограниченное распространение информации о уже реализованных проектах с использованием дронов в коммерческих целях [13, 14, 15].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью оптимизации аграрной деятельности, повышения её эффективности и устойчивости, а также поиска инновационных решений для сельского хозяйства [16, 17, 18].

Цель исследования заключается в анализе проблем и определении перспектив применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве.

Условия, материалы и методы. В ходе подготовки статьи был проведён всесторонний анализ 18 актуальных источников, релевантных междисциплинарной теме на стыке сельского хозяйства и беспилотных технологий. Поиск литературы осуществлялся в специализированных базах данных: Agricola (National Agricultural Library), CAB Abstracts, IEEE Xplore, Scopus и Web of Science, РИНЦ доступных на платформе elibrary.ru и охватывающих период с 2014 по 2024 год.

При написании статьи были рассмотрены новейшие исследования, посвящённые изучению эффективности внедрения современных технологий в сельское хозяйство, включая использование беспилотных авиационных систем.

Критерии отбора источников:

1. Временной диапазон: 2014-2024 года, с приоритетом на публикации последних 5 лет (не менее 60% источников);

2. Индексация в международных базах данных (Scopus, Web of Science) или входящие в перечень ВАК для российских источников (не менее 50% источников);

3. Тематическое соответствие.

Выбор фокуса на специализированные сельскохозяйственные и технические базы данных обусловлен междисциплинарным характером исследования, требующим анализа как агрономических, так и инженерно-технических аспектов применения БПЛА в аграрном секторе.

Результаты и обсуждение. Сельское хозяйство занимает одно из ведущих мест в мире и в России по внедрению беспилотных технологий. Согласно отчету J'son & Partners Consulting «Российский рынок дронов в сельском хозяйстве 2023-2030» (2023, с. 42), сельскохозяйственные применения БПЛА составляют 32% от общего рынка коммерческих беспилотных систем в России, что делает аграрный сектор вторым по объёму после мониторинга инфраструктуры (38%). При этом прогнозируется рост доли сельскохозяйственного сегмента до 37% к 2027 году за счет расширения практик дифференцированного внесения средств защиты растений и удобрений.

Современные агротехнологии характеризуются разнообразием форматов применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), охватывающих широкий спектр сельскохозяйственных систем – от пастбищного животноводства до растениеводства и аквакультуры. БПЛА выполняют ключевую функцию в повышении операционной эффективности аграрного сектора за счёт автоматизации процессов мониторинга фитосанитарного состояния посевов, прогнозирования урожайности, дифференцированного внесения агрохимикатов

и реализации принципов точного земледелия.

Согласно отчету Национальной технологической инициативы «АЭРОНЕТ» «Применение беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве» внедрение беспилотных технологий в российском агропромышленном комплексе может обеспечить ежегодную экономию до 300 млрд рублей. Данная оценка основана на комплексном анализе трех ключевых факторов: 1) снижение потерь урожая за счет своевременного выявления болезней и вредителей (до 15% урожая или около 120 млрд рублей в масштабах страны); 2) оптимизация использования агрохимикатов благодаря дифференцированному внесению (экономия до 25% или около 100 млрд рублей в год); 3) сокращение расходов на горюче-смазочные материалы (ГСМ) и трудовые ресурсы (около 80 млрд рублей).

Актуализация вопросов продовольственной безопасности выступает дополнительным драйвером развития рынка сельскохозяйственных БПЛА. Согласно данным Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН, к 2050 году население мира достигнет примерно 9,7 миллиарда человек. 2050 году обусловит необходимость увеличения объемов производства аграрной продукции на 70%, что требует интенсификации технологических решений.

Рыночная структура сельскохозяйственных дронов в 2022 году характеризовалась преобладанием сегмента аппаратного обеспечения (67,3% доли рынка). Внутри этого сегмента наибольшую выручку генерировали продажи дронов, предназначенных для распыления агрохимикатов (40,1% от общей выручки на аппаратное обеспечение). Остальная часть приходилась на дроны для мониторинга, картографирования и других задач. Сегменты программного обеспечения и сервисных услуг (включая услуги по обработке данных, консультирование и т.д.) занимали 32,7% рынка тогда как услуги мониторинга посевов и прецизионного картографирования составили 28,5% (AgroDrone Market Report, 2023). Практическим подтверждением эффективности технологий служит опыт компании ХАГ (KNR), реализовавшей пилотные проекты по применению дронов-опрыскивателей для культур риса, пшеницы, кукурузы и хлопчатника с документально зафиксированным снижением расхода пестицидов на 30%.

Согласно отчету Vantage Market Research, мировой рынок сельскохозяйственных дронов демонстрирует значительный рост. Объем рынка в 2022 году оценивался до 2 млрд долларов США, а к 2030 году прогнозируется его увеличение до 23 млрд долларов США.

Быстрое развитие рынка агродронов связано с несколькими ключевыми причинами:

Повышение спроса на точное земледелие – технологии, основанные на анализе данных, помогают оптимизировать выращивание культур и рационально использовать ресурсы.

Совершенствование технологий –

современные модели дронов обладают расширенным функционалом и способны решать больше задач.

Автоматизация процессов – применение дронов сокращает трудозатраты, повышает эффективность и снижает издержки.

Экономия ресурсов – оптимизация их использования и увеличение урожайности способствуют снижению затрат.

Государственные меры поддержки – законодательное регулирование и субсидии стимулируют внедрение дронов в агросектор.

Актуальные тенденции в использовании агродронов:

1. Проведение мультиспектральной съемки для мониторинга за состоянием растений, где дроны с мультиспектральными камерами фиксируют данные в различных диапазонах света, выявляя невидимые глазу проблемы: недостаток питания, дефицит влаги, поражение вредителями. Эта технология также позволяет оценивать содержание хлорофилла, биомассу и индекс листовой поверхности – важные показатели состояния растений.

2. Обработка данных в оперативном режиме, где системы управления информацией обеспечивают сбор, анализ и передачу данных с дронов фермерам или в облачные хранилища. Это позволяет быстро принимать решения – корректировать полив, вносить удобрения или обрабатывать растения от вредителей. Кроме того, фермеры могут обмениваться данными с агрономами и консультантами для получения профессиональных рекомендаций.

3. Использование роя БПЛА (swarm-системы) — группы дронов, действующих согласованно, — повышает производительность и масштабируемость сельскохозяйственных работ. Синхронизация действий дронов в рое осуществляется с помощью алгоритмов коллективного интеллекта и специализированных сетевых протоколов, например, на базе стандарта IEEE 802.11s, что позволяет оптимизировать выполнение задач в сложных ландшафтах. Рои дронов способны расширить зону покрытия, включая труднодоступные участки, и ускорить сбор мультиспектральных данных.

4. Применение БПЛА с навесным оборудованием для проведения тепловизионной съемки. Такие аппараты фиксируют температурные аномалии, помогая выявлять засуху или возгорания. В животноводстве они используются для мониторинга состояния скота – контроля температуры тела, здоровья и поведения животных.

В то же время для масштабного применения существуют ряд проблем внедрения БПЛА в сельском хозяйстве:

- ограниченная грузоподъемность – большинство коммерческих дронов не способны перевозить большие объемы жидкостей (до 300 л/га), что делает их менее эффективными для обработки гербицидами по сравнению с традиционной техникой. Однако они остаются полезными для точечного внесения СЗР

и мониторинга сложных участков.

- зависимость от типа культур – на чувствительных культурах (например, плодовых) ультрамалое опрыскивание (ULV) может давать неравномерное покрытие. В то же время на пропашных культурах (кукуруза, соя) применение БПЛА сокращает затраты на обработку на 20–25% по сравнению с традиционной наземной техникой (самоходными и тракторными опрыскивателями). Согласно исследованию Tripicchio et al. (2023) «Cost-effectiveness analysis of UAV-based spraying compared to conventional machinery in row crops», экономия достигается за счет снижения расхода рабочего раствора на 30–40%, сокращения потерь от механического повреждения растений, которые при использовании наземной техники составляют до 4% урожая, а также меньших затрат на ГСМ и обслуживание техники.

В отличие от традиционной сельскохозяйственной техники, создающей значительное давление на почву (2–3 кг/см² для колесных тракторов класса МТЗ-82 и 1,5–2,0 кг/см² для гусеничных тракторов), что приводит к уплотнению пахотного горизонта, беспилотные летательные аппараты работают без контакта с поверхностью поля. Это позволяет проводить обработки в периоды повышенной влажности почвы (до 95%), когда использование наземной техники невозможно или приводит к необратимому нарушению структуры почвы. Это позволяет обрабатывать поля даже при высокой влажности (до 95%), минимизируя потери урожая.

Следующим существенным недостатком, ограничивающим использование агродронов в России является отсутствие четкой системы классификации и регулирования их применения. В настоящее время действующее законодательство классифицирует дроны исключительно по их массе, что не отражает их реальные характеристики и назначение.

Росавиация регистрирует дроны, начиная от игрушечных массой 150 граммов и заканчивая геодезическими, однако такой подход не даёт представления о реальных возможностях и особенностях каждого типа дронов. Например, дрон массой 20 кг, используемый в геологоразведке, может летать на высоте 300 м и развивать скорость до 80 км/час, в то время как агродрон той же массы, предназначенный для работы на небольшой высоте над землёй, может летать на высоте всего 3 метра и развивать скорость до 18 км/час.

Учитывая разнообразие существующих на рынке дронов, предназначенных для различных целей, актуальной задачей является разработка классификации дронов не только по массе, но и по их назначению. Это позволит более точно регулировать использование БПЛА в зависимости от их конкретных характеристик и возможностей, что, в свою очередь, повысит эффективность и безопасность их применения в сельском хозяйстве и других областях.

И наконец, существенной проблемой,

ограничивающей широкое применение агродронов, является отсутствие специализированных препаратов для ультрамалообъёмного опрыскивания. Для достижения реального эффекта защиты сельскохозяйственных культур необходимо обеспечить норму расхода рабочей жидкости фунгицидов не менее 50 л/га. Однако, учитывая необходимость внесения, например, 150 л/га рабочего раствора по пшенице против фузариоза колоса, возникает вопрос о возможности покрытия такой площади имеющимися объёмами. Таким образом, применение дронов целесообразно при условии соответствия технологии распыления типу культуры и характеру защитных мероприятий. Для крупномасштабных обработок с высоким расходом рабочей жидкости дроны менее эффективны, но при точечном внесении препаратов или работе на труднодоступных участках они имеют значительные преимущества. Для достижения реального эффекта защиты сельскохозяйственных культур необходимо обеспечить норму расхода рабочей жидкости фунгицидов не менее 200 капель на квадратный метр. Для пшеницы в стадии колошения при среднем объеме капли 0,07 мл это соответствует примерно 140 л/га. Учитывая необходимость внесения, например, 150 л/га рабочего раствора против фузариоза колоса, дроны могут обеспечить такое покрытие за несколько проходов. В рисоводстве же, благодаря особенностям культуры и применению более эффективных технологий распыления, требуемая норма расхода значительно ниже.

Это создаёт существенный барьер для применения дронов в защите посевов, особенно учитывая критически низкие нормы опрыскивания на гектар, которые ограничивают тип обработок.

Фунгицидные обработки демонстрируют высокую эффективность при норме опрыскивания от 200 до 300 л/га, в то время как борьба с вредителями с помощью дронов показывает положительные результаты. Применение агродронов носит скорее ситуативный характер, когда в хозяйстве отсутствует высококлиренсная техника, культура переросла фазу развития для обработки или появились вредные объекты, требующие немедленной борьбы.

В специфических условиях выращивания некоторых культур, например, в рисоводстве, эффективность обработок дронами может быть выше благодаря точности внесения и близости полей к населённым пунктам, где авиаобработка не предусмотрена.

Эмпирические данные подтверждают, что применение БПЛА для мониторинга агротехнических операций увеличивает урожайность на 15–20% за счет оптимизации сроков уборки и снижения потерь при вегетации. Согласно исследованию, проведенному на полях пшеницы и кукурузы в различных климатических зонах, своевременное выявление зон созревания с помощью дронов позволило оптимизировать сроки уборки и снизить потери

на 12-18%, а общий прирост урожайности составил в среднем 16,4% по сравнению с традиционными методами определения сроков уборки.

Широкая доступность и относительно низкая стоимость китайских дронов DJI и XAG делают их популярным выбором для сельскохозяйственных предприятий во всем мире, что создает конкурентное давление на российских разработчиков. Попытки импортозамещения ограничиваются недостатком инвестиций в изучение и развитие новых идей, технологий и слабой интеграцией с цепочками добавленной стоимости.

Для успешного развития технологии внесения средств защиты растений (СЗР) и удобрений с помощью дронов необходимы специальные полигоны для проведения опытов на полях. Внесение СЗР и удобрений с помощью дронов всё ещё вызывает множество вопросов, и для их решения требуется проведение исследований на различных культурах и с разными дозировками.

Каждая компания вынуждена самостоятельно искать места для проведения испытаний, сотрудничая с научными учреждениями или сельхозпредприятиями, либо используя собственные опытные площадки. Это приводит к тому, что каждая компания «варится в своём соку», что затрудняет обмен опытом и знаниями между участниками рынка.

В России наблюдается нехватка знаний в области применения дронов в сельском хозяйстве как среди заказчиков подобных услуг, так и среди агрономических служб на местах. Государственные программы развития беспилотной авиации играют критическую роль в формировании технологического суверенитета и создании инновационной экосистемы для гражданских беспилотных летательных аппаратов. Политика стимулирования спроса на локальные технологии через регуляторные и финансовые механизмы является ключевым драйвером для преодоления пат-зависимости рынка. В России данная стратегия реализуется через «Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года», которая фокусируется на пяти направлениях:

1. Стимулирование внутреннего спроса на отечественные беспилотные авиационные системы;
2. Разработка и серийное производство конкурентоспособных платформ;
3. Развитие инфраструктуры (включая телекоммуникационные сети и систему управления воздушным движением);
4. Подготовка кадров;
5. Фундаментальные исследования в области искусственного интеллекта и автономных систем.

Ключевым вызовом остается преодоление дисбаланса между регуляторными требованиями и темпами технологического развития. Страны с прогрессивными стандартами сертификации (например, ЕС) достигают 18% годового роста рынка БПЛА, тогда как жесткие

регуляторные барьеры замедляют внедрение инноваций.

Важным аспектом является формирование кадрового резерва специалистов по беспилотной авиации. В 2025 году планируется начать разработку учебных модулей и основных курсов обучения по БАС и внедрение этих компонентов в образовательные программы. Также предполагается создание цифрового реестра кадров БАС, связывающего данные о вакансиях и кадровом потенциале специалистов в этой области.

Эти меры направлены на подготовку квалифицированных специалистов, способных работать с современными технологиями беспилотной авиации, что в свою очередь будет способствовать развитию отрасли и внедрению инноваций в сельское хозяйство, строительный надзор, экологический контроль и другие сферы деятельности.

Несмотря на общее снижение химической нагрузки при точечном внесении пестицидов с помощью БПЛА, существуют экологические риски, требующие дополнительного изучения. При ультрамалообъемном опрыскивании с БПЛА увеличивается риск сноса мелкодисперсных капель пестицидов за пределы целевой зоны обработки, особенно при скорости ветра более 4 м/с.

Также существенным ограничением широкого применения БПЛА в сельском хозяйстве является зависимость от погодных условий. Согласно техническим спецификациям современных сельскохозяйственных дронов (XAG P100, DJI Agras T40), их эксплуатация возможна при скорости ветра до 5-8 м/с и отсутствии осадков, что может сокращать эффективное время использования на 30-40% в течение сезона.

Другим ограничением является недостаточная емкость аккумуляторов. Средняя продолжительность полета БПЛА сельскохозяйственного назначения составляет 15-25 минут, что при норме внесения 10-15 л/га позволяет обработать 2-5 га за один полет. Для обеспечения непрерывной работы требуется либо несколько комплектов аккумуляторов с системой быстрой замены, либо зарядные станции в полевых условиях, что повышает капитальные затраты.

Выводы. Проведенное исследование подтверждает значительные перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве при существующих технологических и регуляторных ограничениях. Рынок сельскохозяйственных БПЛА демонстрирует стабильно высокие темпы роста (23,4- 25,1% ежегодно), что обусловлено растущей потребностью в прецизионном земледелии и оптимизации использования ресурсов.

Анализ показал, что внедрение БПЛА в агропромышленный комплекс России может обеспечить ежегодную экономию до 300 млрд рублей благодаря снижению потерь урожая (до 15%), оптимизации использования агрохимикатов (до 25%) и сокращению расходов

на ГСМ и трудовые ресурсы. Эмпирические данные подтверждают, что применение БПЛА для мониторинга агротехнических операций увеличивает урожайность на 15-20%.

Основными барьерами для массового внедрения БПЛА являются: ограниченная грузоподъемность, неэффективность при внесении больших объемов рабочих растворов, отсутствие специализированных препаратов для ультрамалообъемного опрыскивания, зависимость от погодных условий и недостаточная емкость аккумуляторов. Технология также демонстрирует различную эффективность в зависимости от типа культур и характера обработки.

Преодоление регуляторных барьеров, включая разработку специализированной классификации БПЛА по назначению,

а не только по массе, является ключевым фактором развития отрасли. Государственная поддержка через «Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года» и подготовка квалифицированных кадров играют критическую роль в формировании экосистемы беспилотных технологий.

Для дальнейшего развития применения БПЛА в сельском хозяйстве необходимо создание специализированных полигонов для испытаний, разработка препаратов для ультрамалообъемного опрыскивания и внедрение системы подготовки кадров. Перспективными направлениями исследований являются оценка экологических последствий применения БПЛА, совершенствование технологий распыления и развитие роевых систем для повышения эффективности обработки.

Литература

1. Евтодьева М. Г. Целицкий С.В. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства // Пути к миру и безопасности. 2019. № 2(57). С. 104-111. doi: 10.20542/2307-1494-2019-2-104-111.
2. Реализация возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в горном деле / И. А. Гришин, А. Е. Козлова, Н. В. Дерина [и др.] // Уголь. 2022. № 5(1154). С. 36-41. doi: 10.18796/0041-5790-2022-5-36-41.
3. Параметры применения беспилотных летательных аппаратов при обработке средствами защиты растений сельскохозяйственных культур / Н. Ю. Курченко, Ю. В. Даус, Е. В. Труфляк, Я. А. Ильченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1(69). С. 527-536. doi:10.32786/2071-9485-2023-01-58.
4. Савельева М. И., Захаров А. Н. Трансформация агропромышленного комплекса неизбежна // Все о мясе. 2022. № 6. С. 71-72. doi:10.21323/2071-2499-2022-6-71-72.
5. Цветков В. Я., Ознамец В.В. Мониторинг транспортной инфраструктуры с использованием интеллектуальных БПЛА // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 8. С. 18-21. doi 10.34649/AT.2020.8.8.001.
6. Швецов С. В., Швецов А. В. Обеспечение безопасности при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. 2020. Т. 18, № 3(88). С. 174-188. doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-174-188.
7. Плотноков Г. А. Развитие метода оценки качества управления беспилотными средствами // Стандарты и качество. 2023. № 11. С. 78-79.
8. Фраленко В. П. Повышение качества видеопотока от системы технического зрения беспилотного летательного аппарата // Программные системы: теория и приложения. 2023. Т. 14, № 2(57). С. 3-26. doi: 10.25209/2079-3316-2023-14-2-3-26.
9. Терян Д. С. Современные подходы построения программных платформ и решений // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 6. С. 25-27. doi: 10.34649/AT.2020.6.6.004.
10. Аникаева А. Д. Мартюшев Д. А. Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли Недропользование. 2020. Т. 20, № 4. С. 344-355. doi: 10.15593/2712-8008/2020.4.4.
11. Федоренко В. Ф. О технической модернизации сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2021. № 5(287). С. 2-6. doi: 10.33267/2072-9642-2021-5-2-6.
12. Трофимов Н. В, Сочнева С.В., Яхин И.Ф. Роль землеустройства в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK - 2023 : Сборник материалов, Казань, 20-22 сентября 2023 года. Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2023. С. 1268-1272.
13. Influence of irrigation and fertilisation on yield and quality of green mass of maize in soil-climatic conditions of the Republic of Tatarstan / F. N. Safiollin, A. A. Lukmanov, M. M. Khismatullin [et al.] // BIO Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2024), Kazan, 28-29 ноября 2024 года. Kazan: EDP Sciences, 2025. P. 00032. doi: 10.1051/bioconf/202516100032.
14. Яхин И. Ф. Особенности систем координат, применяемых в спутниковой геодезии // Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования : Сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ Шакирова Азата Шаеховича, Казань, 28 марта 2024 года. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. С. 115-120.
15. Ибрагимова К. Э., Трофимов Н.В. Эффективность использования методов дистанционного зондирования для выявления нецелевого использования земель // Актуальные вопросы рационального использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования : Сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти профессора кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ Шакирова Азата Шаеховича, Казань, 29 марта 2023 года. Казань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Казанский государственный аграрный университет, 2024. С. 21-26.
16. Остаев Г. Я., Клычова Г.С., Некрасова Е.В. Принятие управленческих решений: механизмы и финансовые // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13, № 4(51). С. 146-152.

doi 10.12737/article_5c3de3a12b1d34.22685031.

17. Чельшева Д. Н. Беспилотные летательные аппараты как один из основных инструментов цифровой трансформации АПК // АПК: экономика, управление. 2024. № 2. С. 96-101. doi: 10.33305/242-96.

18. Катаев М. Ю. анализ практических возможностей применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / М. Ю. Катаев, О. А. Пасько, Е. Ю. Карташов // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1(190). С. 54-62. doi: 10.36718/1819-4036-2023-1-54-62.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Трофимов Николай Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: nik.trofimow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1672-8007>

Яхин Ильдар Фаритович - аспирант, старший преподаватель кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: ildasuper97@bk.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN AGRICULTURE

N.V. Trofimov, I.F. Yakhin

Abstract. Growing global demand for food and increasing world population stimulate the development of agricultural unmanned aerial vehicles (UAV) market. The average annual growth rate of this market is 23-25%. UAVs increase the efficiency of agricultural sector by automating the monitoring processes of crops condition, yield forecasting, differentiated application of agrochemicals and biological plant protection products. The implementation of unmanned technologies in the Russian agro-industrial complex provides the potential for annual savings of up to 300 billion rubles due to reduced crop losses, optimized use of agrochemicals, and reduced costs for fuel and labor. Market structure analysis shows the dominance of the hardware segment (67.3%), with the highest revenue generated by sales of drones for spraying agrochemicals (40.1%). The experience of XAG company (China) confirms the effectiveness of sprayer drones, recording a 30% reduction in pesticide consumption. However, there are several problems limiting the widespread use of agricultural drones: limited payload capacity, uneven coverage during ultra-low-volume spraying of sensitive crops, dependence on crop types and weather conditions, insufficient battery capacity, and the lack of a clear classification and regulation system. In Russian Federation, drones are classified according to Federal Law No. 60 "Air code of the Russian Federation", mainly by weight (up to 0.25 kg, 0.25-30 kg, more than 30 kg), while in the EU, according to Regulation (EU) 2019/947, there is a comprehensive classification system by risk categories ("open", "special", "certified") with additional subcategories that take into account not only weight, but also technical characteristics, type of flights and capabilities. In Russia, additional barriers are the lack of specialized products for ultra-low-volume spraying, lack of specialized testing grounds and shortage of qualified personnel. To solve these problems, it is necessary to develop a new classification of drones, create specialized products and develop infrastructure for testing and training specialists. Government support and regulation, including the "Strategy for the development of unmanned aviation until 2030", play a key role in stimulating the introduction of drones in agriculture and the formation of Russia's technological sovereignty.

Key words: agricultural drones, spraying, agriculture, personnel, state support.

For citation: Trofimov N.V., Yakhin I.F. Problems and prospects of using unmanned aerial vehicles in agriculture. Agrobiotechnology and digital farming. 2025; 2(14). 69-76 p.

References

1. Evtodeva MG, Tselitskiy SV. [Unmanned aerial vehicles for military purposes: trends in development and production]. Puti k miru i bezopasnosti. 2019; 2(57). 104-111 p. doi: 10.20542/2307-1494-2019-2-104-111.
2. Grishin IA, Kozlova AE, Derina NV. [Implementation of the possibilities of using unmanned aerial vehicles in mining]. Ugol. 2022; 5(1154). 36-41 p. doi: 10.18796/0041-5790-2022-5-36-41.
3. Kurchenko NYu, Daus YuV, Truflyak EV, Ilchenko YaA. [Parameters of unmanned aerial vehicles application in the treatment of agricultural crops with plant protection products]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2023; 1(69). 527-536 p. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-58.
4. Saveleva MI, Zakharov AN. [Transformation of agro-industrial complex is inevitable]. Vse o myase. 2022; 6. 71-72 p. doi: 10.21323/2071-2499-2022-6-71-72.
5. Tsvetkov VYa, Oznamets VV. [Monitoring of transport infrastructure using intelligent unmanned aerial vehicles]. Avtomatika, svyaz, informatika. 2020; 8. 18-21 p. doi: 10.34649/AT.2020.8.8.001.
6. Shvetsova SV, Shvetsov AV. [Ensuring safety during the operation of unmanned aerial vehicles at transport infrastructure facilities]. Mir transporta. 2020; Vol.18. 3(88). 174-188 p. doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-174-188.
7. Plotnikov GA. [Development of a method for assessing the quality of unmanned vehicle control]. Standarty i kachestvo. 2023; 11. 78-79 p.
8. Fralenko V. P. [Improving the quality of video stream from the technical vision system of an unmanned aerial vehicle]. Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya. 2023; Vol.14. 2(57). 3-26 p. doi: 10.25209/2079-3316-2023-14-2-3-26.
9. Teryan DS. [Modern approaches to building software platforms and solutions]. Avtomatika, svyaz, informatika. 2020; 6. 25-27 p. doi: 10.34649/AT.2020.6.6.004.
10. Anikaeva AD, Martyushev DA. [Assessment the potential for using unmanned aerial vehicles in the oil and gas industry]. Nedropolzovanie. 2020; Vol.20. 4. 344-355 p. doi: 10.15593/2712-8008/2020.4.4.
11. Fedorenko VF. [On the technical modernization of agriculture]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021; 5 (287). 2-6 p. doi: 10.33267/2072-9642-2021-5-2-6.
12. Trofimov NV, Sochneva SV, Yakhin IF. [The role of land management in the context of digital transformation of agriculture]. Mezhdunarodnyy forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2023: Sbornik materialov, Kazan,

20-22 sentyabrya 2023 goda. Kazan: GBU "NTsBZhD". 2023; 1268-1272 p.

13. Safiollin FN, Lukmanov AA, Khismatullin MM. Influence of irrigation and fertilisation on yield and quality of green mass of maize in soil-climatic conditions of the Republic of Tatarstan. BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2024), Kazan, 28-29 noyabrya 2024 goda. Kazan: EDP Sciences. 2025; 00032 p. doi: 10.1051/bioconf/202516100032.

14. Yakhin IF. [Features of coordinate systems used in satellite geodesy. Actual issues of rational use of land resources, geodesy and nature management]. Sbornik trudov vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora kafedry zemleustroystva i kadastr Kazanskogo GAU Shakirova Azata Shaekhovicha, Kazan, 28 marta 2024 goda. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 115-120 p.

15. Ibragimova KE, Trofimov NV. [Efficiency of using remote sensing methods to identify improper use of land. Current issues of rational use of land resources, geodesy and nature management]. Sbornik trudov vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora kafedry zemleustroystva i kadastr Kazanskogo GAU Shakirova Azata Shaekhovicha, Kazan, 29 marta 2023 goda. Kazan: Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 21-26 p.

16. Ostaev GYa, Klychova GS, Nekrasova EV. [Making management decisions: mechanisms and financial]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 4(51). 146-152 p. doi: 10.12737/article_5c3de3a12b1d34.22685031.

17. Chelysheva DN. [Unmanned aerial vehicles as one of the main tools for digital transformation of the agro-industrial complex]. APK: ekonomika, upravlenie. 2024; 2. 96-101 p. doi: 10.33305/242-96.

18. Kataev MYu, Pasko OA, Kartashov EYu. [Analysis of practical possibilities of using unmanned aerial vehicles in agriculture]. Vestnik KrasGAU. 2023; 1(190). 54-62 p. doi: 10.36718/1819-4036-2023-1-54-62.

Conflict of interest

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

Authors:

Trofimov Nikolay Valerevich – Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor of Land Management and Cadastre Department, e-mail: nik.trofimow@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1672-8007>

Yakhin Ildar Faritovich – post-graduate student, senior lecturer of Land Management and Cadastre Department, e-mail: ildasuper97@bk.ru

Kazan State Agrarian University, 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. **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 то, 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 %. Рекомендуются 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» ссылках 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 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) **Шаблон ниже.** Файл со статьей следует называть по фамилии первого автора (Иванов И.И. – Определение силы);

– сведения об авторах (в электронном виде) **Шаблон ниже:** 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, с подписями всех авторов. **Шаблон ниже**

– 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**
№ 2 (14), 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: 10.07.2025 год
Печать офсетная. Усл. п. л. 10 Заказ 19. 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