

Агробихотехнологии и цифровое земледелие



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 3 (15) 2025 год





АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

AGROBIOTECHNOLOGIES AND DIGITAL FARMING

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 3 (15)



Казань, 2025

Агробιοтехнологии и цифровое земледелие

научный журнал

Институт агробιοтехнологий и землепользования

Казанского государственного аграрного университета



№ 3 (15)
2025 г.

Учредитель –
Казанский
государственный аграрный
университет



Учрежден Казанским
государственным аграрным
университетом, в 2022 г.

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

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

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

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

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

Публикуется
4 раза в год

За достоверность информации
в опубликованных материалах
ответственность несут
авторы публикаций

16+

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Члены редакционного совета:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



№ 3 (15)
2025 г.

Agrobiotechnologies and digital farming

scientific journal

Institute of Agrobiotechnology and Land Management
Kazan State Agrarian University

Chief Editor:

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

Deputies of Chief Editor:

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

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

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

Members of the Editorial Committee:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Members of the Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Founder -
Kazan
State Agrarian
University



Established by Kazan State Agrarian University, in 2022

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

website:

www.agrobiotech.kazgau.ru

e-mail:

agrobiotech@kazgau.com

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

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

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

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

16+

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ

	стр.
Гайфуллин И. Х., Халиуллина З. М., Ганиев А. С. Ускоренная утилизация куриного помета и получение на его основе высококачественных биоудобрений.....	6
Егорова О. А., Егоров Л. М., Сафин Р. И. Оценка влияния некорневого внесения комплексных удобрений на формирование урожая различных сортов яровой тритикале.....	13
Климова Л. Р., Иматуллина Г. И., Кадырова Ф. З. Оценка потенциала каллусообразования сортов гречихи обыкновенной.....	20
Сафина Д. Р., Колесар В. А., Сафин Р. И. Оценка экологической пластичности и продуктивности различных сортов сои в условиях Предкамья Республики Татарстан.....	26
Сулейманов С. Р., Низамов Р. М. Влияние комбинированного применения биоагентов и растительного адаптогена на продуктивность и масличность ярового рапса на выщелоченном черноземе и серой лесной почве.....	32
Тойгильдин А. Л., Тойгильдина И. А., Чекалин А. М., Аюпов Д. Э., Кузин А. С. Приемы повышения продуктивности звеньев севооборотов в технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья.....	40
Яхин И. Ф., Сафиоллин Ф. Н., Хисматуллин М. М., Сулейманов С. Р., Трофимов Н. В. Влияние минеральных и серобентонитовых удобрений на урожайность кукурузы Росс 140 СВ на серых лесных почвах в условиях орошения и богарного земледелия.....	47

ЗООТЕХНИКА И ВЕТЕРИНАРИЯ

Гумеров И. Р., Тамбовцев К. А. Феромонный препарат Апимил при подсадке маток и посадке роев в улей.....	54
Зарубежнова Д. В., Шайдуллин Р. Р., Ахметов Т. М., Зиннатов Ф. Ф., Тюлькин С. В. Полиморфизм генов соматотропинового каскада у коров джерсейской породы.....	59

ЦИФРОВОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ванеева М. В., Высоцкая Е. А. Анализ применения методов спутниковых геодезических измерений при изучении пространственной изменчивости физико-химических свойств почв агроландшафтов в системе точного земледелия.....	65
--	----

CONTENTS

AGRONOMY

	pages
Gayfullin I. Kh., Khaliullina Z. M., Ganiev A. S. Accelerated utilization of poultry waste and production of high-quality biofertilizers on its basis.....	6
Egorova O. A., Egorov L. M., Safin R. I. Evaluation of influence of foliar application of complex fertilizers on yield formation of different spring triticale varieties.....	13
Klimova L. R., Imatullina G. I., Kadyrova F. Z. Assessment of callus-forming potential of buckwheat varieties.....	20
Safina D. R., Kolesar V. A., Safin R. I. Evaluation of ecological plasticity and productivity of different soybean varieties in Kama region of the Republic of Tatarstan.....	26
Suleymanov S. R., Nizamov R. M. Impact of combined application of bioagents and plant-based adaptogen on productivity and oil content of spring rape on leached chernozem and gray forest soil....	32
Toygildin A. L., Toygildina I. A., Chekalin A. M., Ayupov D. E., Kuzin A. S. Methods for increasing the productivity of direct-seeding crop rotation units in the forest-steppe zone of middle Volga region.....	40
Yakhin I. F., Safiollin F. N., Khismatullin M. M., Suleymanov S. R., Trofimov N. V. Effect of mineral and sulfur-bentonite fertilizers on Ross 140 SV corn yield on gray forest soils under irrigation and dryland farming.....	47

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDECINE

Gumerov I.R., Tambovtsev K.A. Apimil pheromone product for transplanting queens and planting swarms into the hive.....	54
Zarubezhnova D.V., Shaydullin R.R., Akhmetov T.M., Zinnatov F.F., Tyulkin S.V. Polymorphism of somatotropin cascade genes in Jersey cows.....	59

DIGITAL AGRICULTURE

Vaneeva M. V., Vysotskaya E. A. Analysis of satellite geodetic measurement methods application in studying spatial variability of physicochemical properties of agrolandscapes soil in precision farming system.....	65
---	----

УСКОРЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ КУРИНОГО ПОМЕТА И ПОЛУЧЕНИЕ НА ЕГО ОСНОВЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БИОУДОБРЕНИЙ**И. Х. Гайфуллин, З. М. Халиуллина, А. С. Ганиев**

Реферат. В настоящей работе представлены результаты ускоренной утилизации отходов птицеводства с получением органического биоудобрения для озимой пшеницы. Цель работы – разработка методов переработки куриного помета и его применения в сельском хозяйстве, а также в оценке воздействия их на урожайность сельскохозяйственных культур. Разработана технология компостирования, предусматривающая добавление биопрепарата «Мефосфон» в дозе 450 мл на тонну помета. Полевые исследования проводились в 2023–2024 годах на территории агрофирмы «Ак Барс-Пестрецы» (Республика Татарстан). Почва опытного участка представлена светло-серой лесной разновидностью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя, по данным обследования, проведенного ООО «Ак Барс Пестрецы», следующая: содержание гумуса варьирует в пределах 2,3–3,0%, реакция среды (рН) – от слабокислой до нейтральной (5,3–7,0), содержание щелочно-гидролизующего азота составляет 81,2 мг/кг, подвижного фосфора – 134,0–295,0 мг/кг, обменного калия – 90,0–170,0 мг/кг. Схема опыта включала контроль (необработанный помет) и опытный вариант (помет, обработанный препаратом). Установлено, что обработка «Мефосфоном» интенсифицирует процесс компостирования: температура в бурте достигала $48 \pm 1,5^\circ\text{C}$, что на $17,2^\circ\text{C}$ выше контроля, неприятный запах устранялся к 20-м суткам, конечный продукт имел нейтральную реакцию среды ($\text{pH}=7,5$ солевой вытяжки) и соответствовал IV классу опасности. Применение полученного биоудобрения под озимую пшеницу сорта «Скипетр ЭС» повысило коэффициент кущения на 7%, урожайность до 4,3 т/га и улучшило качество зерна: стекловидность на 16–28%, содержание сырой клейковины на 5,2–5,6%, число падения на 53 ед. по сравнению с контролем. Результаты подтверждают эффективность использования препарата «Мефосфон» для переработки помета в безопасное и высокоэффективное органическое удобрение.

Ключевые слова: отходы птицеводства, озимая пшеница (*Triticum aestivum*), сельское хозяйство, экология, почвоведение.

Для цитирования: Гайфуллин И.Х., Халиуллина З.М., Ганиев А.С. Ускоренная утилизация куриного помета и получение на его основе высококачественных биоудобрений // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. №3 (15). С. 6–12 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-6-12>

Введение. Применение органических отходов сельского хозяйства в качестве биоудобрений – обычная практика в мировом сельском хозяйстве [1]. Животноводство и птицеводство играют важную роль для продовольственной безопасности страны. Стремление обеспечить стабильное производство продукции животноводства и птицеводства в последние годы переживает интенсивное и масштабное развитие. Эффективная переработка и утилизация больших объемов органических отходов, образующихся в результате интенсивного ведения сельского хозяйства, представляет собой действенный способ сокращения отходов и повторного использования ресурсов.

Птицеводство является отраслью сельского хозяйства, которая обеспечивает население мясом и яйцами [2]. В процессе разведения птиц, особенно кур, образуется значительное количество помета, который является отходом (побочным продуктом). Несмотря на это в курином помете содержится множество макроэлементов, в том числе азот, фосфор и калий, что делает его ценным органическим биоудобрением [3,4]. Правильное использование куриного помета в растениеводстве способствует улучшению структуры почвы, повышению ее плодородия и устойчивости

к болезням. Систематическое внесение помета, как в чистом виде, так и в комбинации с соломой, опилками и минеральными удобрениями меняет физико-химические характеристики почвы. Исследования зарубежных ученых [5, 6] показали эффективность длительного применения биоудобрений на структуру почвы. Увеличение содержания питательных веществ в почве стимулирует рост и активность почвенных микроорганизмов [7, 8]. Ряд исследований [9, 10] посвящен изучению влияния куриного помета на химические свойства почвы, включая рН, содержание органического углерода, доступного фосфора, обменного кальция, магния, калия и натрия.

Известно, что органические отходы, такие как эфлюент, образующийся в процессе производства биогаза, и компост, представляют собой высокоэффективные ресурсы для сельского хозяйства. Они служат эффективными биоудобрениями, обогащающими почву необходимыми питательными веществами, улучшая ее структуру и влагоудерживающую способность [11]. Внесение органических отходов в почву оказывает влияние на почвенную среду, изменяя ее за счет микроорганизмов, питательных веществ, тяжелых металлов и

антибиотиков [12]. На протяжении нескольких веков биоудобрения, наряду с фиксацией азота бобовыми культурами, оставались основным удобрением для фермеров, значительно способствуя увеличению урожайности и поддержанию плодородия почвы [13].

Объем использования минеральных удобрений возрос с 14 млн тонн в 1950 году до примерно 142 млн тонн в 2025 году. Несмотря на достижения современных практик, интенсивное использование различных удобрений привело к серьезным экологическим проблемам и ухудшению здоровья населения. Изначально последствия, связанные с избыточным применением минеральных удобрений, недооценивались. Превышение рекомендованных доз рассматривалось как мера предосторожности против дефицита питательных веществ, что объяснялось низкой стоимостью удобрений и отсутствием строгого экологического контроля. Проблемы, связанные с избыточным использованием минеральных удобрений, активно обсуждаются и в научной литературе [14]. Связь органического земледелия с качеством производимой продукции также является предметом активных исследований. Современные исследования сосредоточены на замене минеральных удобрений на органические и биологические при переходе к органическому земледелию. Взаимодействие органических отходов с биологическими и химическими удобрениями оказывает значительное влияние на характеристик и растений. Одновременное использование этих удобрений способствует увеличению различных показателей, включая массу листьев, количество цветков и общую урожайность.

В Китае изучалось влияние замены комплексных удобрений органическими на потери азота и продуктивность овощных культур. Внесение навоза и компоста способствовало снижению общих потерь азотных соединений, однако в некоторых случаях это могло привести к снижению урожайности отдельных культур. Доказано, что переход на органические удобрения позволяет уменьшить потери азота на единицу урожая и потенциально улучшить экологическую обстановку, снижая содержание нитратов в овощах. Ведутся исследования влияния свежего и компостированного конского навоза и куриного помета на качество почвы и микробный состав. Использование свежего навоза может повысить микробную активность в почве. Частичная замена химических удобрений органическими может способствовать увеличению урожайности зерновых культур. Переход к органическому земледелию становится важным и

приоритетным направлением сельского хозяйства многих стран. В этих странах стремятся обеспечить население качественными продуктами питания, соблюдая принципы экологической безопасности [15].

Также и в Российской Федерации наблюдается растущая потребность в увеличении применения органических удобрений. Существует необходимость в разработке научно обоснованных рекомендаций по компостированию птичьего помета и его применению в почве с учетом различных факторов. Множество исследований посвящено использованию куриного помета в качестве органического удобрения и перспективам развития органического земледелия на его основе. Применяются различные методы переработки куриного помета с целью получения высококачественных органических удобрений. В связи с этим разработка биотехнологических методов утилизации органических отходов птицеводства и их использование в сельском хозяйстве представляют собой актуальную задачу для устойчивого развития аграрного сектора [16].

Целью настоящего исследования была оценка эффективности биопрепарата «Мефосфон» для ускорения компостирования куриного помета и последующего влияния, полученного биоудобрения на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Предполагалось, что обработка помета препаратом позволит ускорить процессы ферментации, снизить эмиссию запахов и повысить агрономическую ценность удобрения.

Условия, материалы и методы. Эффективность использования органических удобрений птицеводства была изучена на полях агрофирмы «Ак Барс-Пестрецы» Пестречинского муниципального района Республики Татарстан. Полевые исследования направлены на определение влияния различных форм куриного помета на агрохимические свойства почвы, экологическую безопасность и урожайность озимой пшеницы. Площадь производственных испытаний составлял 50 га. Почва – светло-серая лесная. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта: содержание гумуса – 2,3–3,0% (по Тюрину), значение pH – 5,3–7,0 (потенциометрически в солевой вытяжке). содержание щелочно-гидролизующего азота составляет 81,2 мг/кг, подвижного фосфора – 134,0–295,0 мг/кг, обменного калия – 90,0–170,0 мг/кг. Данные по содержанию азота, фосфора и калия в почве представлены на рисунке 1.

Метеорологические условия в период проведения исследований были характерными для зоны Среднего Поволжья. Вегетационные сезоны 2023 и 2024 года отличались умеренными температурами и достаточным увлажнением, что благоприятно сказалось на развитии озимой пшеницы.

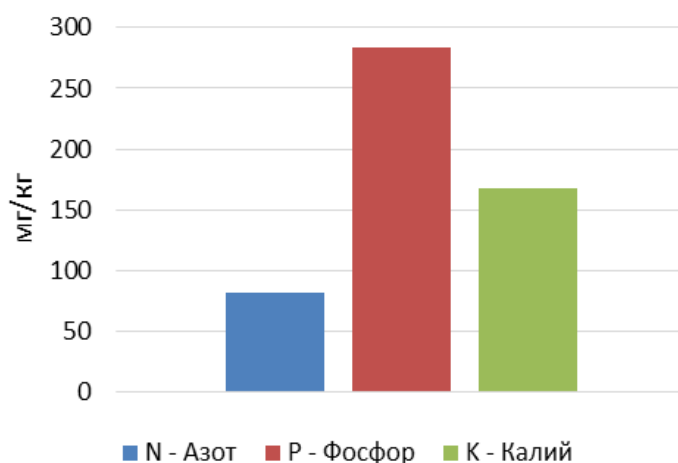


Рис. 1 – Содержание NPK в исследуемой почве

Полевой эксперимент был заложен на одном массиве поля, разделенном на две сопоставимые по площади делянки по 25 га, представляющие контрольный и опытный варианты. На участке площадью 25 га (контрольная группа) применялось внесение необработанного куриного помета. На втором участке, занимающем соответственно 25 га (экспериментальная группа), использовался куриный помет, предварительно обработанный препаратом «Мефосфон».

В качестве исходного материала использовали бесподстилочный куриный помет (III класс опасности) птицеводческого комплекса ООО «Ак Барс». Из помета было получено биоудобрение путем традиционного компостирования, а также создано новое удобрение с добавлением препарата «Мефосфон».

На контрольном участке вносился помет, компостированный традиционным способом. На опытном участке применялось удобрение, полученное путем компостирования исходного помета с добавлением препарата «Мефосфон».

Мефосфон – это биологически активный препарат, предназначенный для стимуляции почвенных микроорганизмов и ускорения биодеградации органических загрязнителей. Его применение для обработки отходов животноводства с целью получения органических удобрений и снижения класса опасности подтверждено заключением государственной экологической экспертизы Управления Росприроднадзора по Республике Татарстан (от 12.10.2017) [17].

Объектом исследования был районированный сорт озимой мягкой пшеницы «Скипетр ЭС», обладающий высокой зимостойкостью и устойчивостью к полеганию, что делает его перспективным для возделывания в данном регионе.

Для комплексной оценки воздействия куриного помета на окружающую среду был

использован метод биотестирования с применением тест-объектов – инфузорий *Paramecium caudatum* и рачков *Ceriodaphnia affinis*. Данный метод позволяет оценить токсичность субстрата и его потенциальное влияние на живые организмы.

В течение вегетационного периода проводились регулярные агрохимические анализы почвы, включающие определение содержания гумуса, кислотности, доступных форм азота, фосфора и калия. Агробιοлогические наблюдения за ростом и развитием растений включали фенологические наблюдения, учет густоты стояния, оценку пораженности болезнями и вредителями. В период уборки урожая проводился учет урожайности и определение структуры урожая. Для оценки качества зерна определялось содержание клейковины и белка. Полученные в ходе исследований данные были подвергнуты статистической обработке для выявления достоверных различий между вариантами опыта и оценки эффективности применения различных форм куриного помета в агротехнологиях возделывания озимой пшеницы. Результаты исследования позволят разработать научно обоснованные рекомендации по применению органических удобрений, направленные на повышение продуктивности и экологической безопасности сельскохозяйственного производства.

Результаты и обсуждение. Анализ температурных данных позволяет сделать вывод о существенном влиянии обработки препаратом «Мефосфон» на процесс ферментации помета. Более высокие температуры в буртах, обработанных препаратом «Мефосфон», свидетельствуют об интенсификации микробиологической активности и ускорении процесса разложения органических веществ. Разница в температурных режимах между опытным и контрольным образцами может быть обусловлена несколькими факторами.

Во-первых, препарат, вероятно, стимулирует рост и активность термофильных микроорганизмов, которые более эффективно разлагают органическое вещество при повышенных температурах.

Во-вторых, обработка могла изменить структуру субстрата, сделав его более доступным для микробиологического процесса.

Полученные результаты определяют потенциал использования препарата «Мефосфон» для оптимизации процесса компостирования органических отходов сельского хозяйства. Ускорение ферментации и повышение температуры приводят к сокращению времени компостирования, улучшению качества конечного продукта и снижению затрат на обработку отходов.

Дальнейшие исследования необходимы для более глубокого понимания механизмов воздействия препарата «Мефосфон» на микробиологическое сообщество и процесс компостирования. Целесообразно изучить влияние препарата на видовой состав микроорганизмов, их ферментативную активность и динамику изменения кислотности (pH) субстрата. Важно оценить экономическую эффективность применения препарата «Мефосфон» в промышленных масштабах [18, 19].

В таблице 1 представлены различия в температурах буртов, обработанных и необработанных препаратом «Мефосфон».

Таблица 1 – Изменение температуры в буртах в зависимости от применения препарата "Мефосфон"

Дата	Температура окружающей среды, °C	Среднее значение температуры бурта, обработанного Мефосфоном, °C (Вариант 1)	Среднее значение температуры бурта, необработанного Мефосфоном, °C (Контроль)
12.06.2023	24,7	48,0	20,0
22.06.2023	23,8	48,0	27,0
02.07.2023	33,4	47,0	32,0
12.07.2023	26,5	44,0	29,0
22.07.2023	23,0	42,0	28,0

Представленные данные демонстрируют значительное различие в температурах буртов, обработанных и необработанных препаратом «Мефосфон», со средней температурой обработанного бурта на уровне 44,4°C, что на 17,2°C выше, чем у необработанного бурта (27°C). Независимо от вариаций в температуре окружающей среды, которая колебалась от 23,5°C до 32,8°C, температура образца с обработкой оставалась более стабильной и завышенной, что указывает на то, что применение препарата может эффективно снижать влияние окружающих условий на температуру бурта. Потенциал препарата в оптимизации температурных процессов, что может быть критически важным для промышленного применения, и требуют дальнейшего исследования других факторов, таких как влажность и

концентрация препарата для более целенаправленного анализа.

На рисунке 2 отображена динамика колебаний температуры субстрата, полученная в ходе проведенных испытаний. Графическое представление динамики температурного режима наглядно демонстрирует достоверность различий между опытным и контрольным вариантами на всех этапах компостирования. Ширина доверительных интервалов не превышала $\pm 1,5^\circ\text{C}$ для опытного варианта и $\pm 2,0^\circ\text{C}$ для контроля, что свидетельствует о высокой воспроизводимости результатов и точности проведенных измерений.

К сороковым суткам эксперимента температура в контрольном образце снизилась до уровня температуры окружающей среды (28°C), в то время как в опытном образце она оставалась на уровне более 42°C.

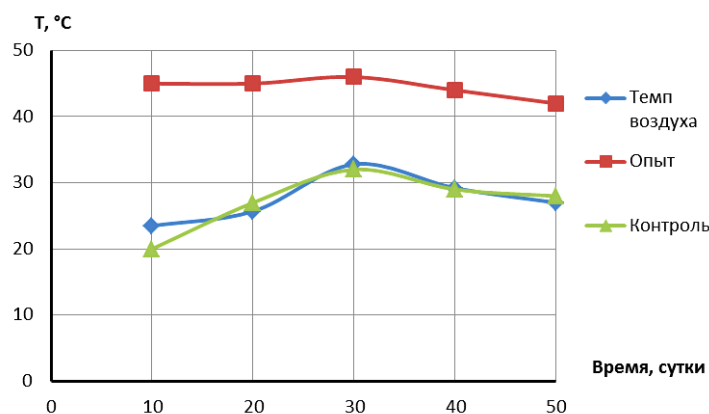


Рис. 2 – Изменение температуры в буртах

Анализ температурного режима процесса компостирования проводился с использованием методов статистической обработки данных. Для каждого варианта опыта (с применением препарата «Мефосфон» и контрольного) было выполнено по 25 измерений температуры на каждую дату наблюдения. Полученные результаты представлены в виде средних значений с указанием 95% доверительных интервалов, рассчитанных для уровня значимости $p < 0,05$.

Результаты исследований указывают процесс компостирования с применением препарата «Мефосфон» эффективно снижает интенсивность неприятного запаха, начиная уже с седьмого дня эксперимента. К двадцатому дню запах исчезал полностью. Конечным продуктом, полученным в результате переработки куриного помета при переработке препаратом «Мефосфон», является сухая, однородная, рассыпчатая масса темно-коричневого оттенка. Немаловажным является изменение pH в субстрате, значение которого было 6,8 в контрольном и 7,5 в экспериментальном образце. Концентрация азота в экспериментальном субстрате в 1,3 раза выше, чем в контрольном, что свидетельствует об активизации метаболизма органических кислот, увеличении активности спорообразующих микроорганизмов и актиномицетов.

По анализам испытательного центра ФГБУ «Татарстан межрегиональная ветеринарная лаборатория», которые были взяты на 45-е сутки исследований не выявлено присутствия патогенных микроорганизмов. Показатели бактерий группы кишечной палочки и энтерококков соответствовали санитарным нормам, а санитарно-паразитологические и санитарно-энтомологические параметры находились в пределах допустимых значений. Токсикологические исследования классифицировали оба компоста как IV класс опасности (малотоксичные вещества) [20].

Для дальнейших исследований в августе 2023 года был заложен полевой опыт с посевом озимой пшеницы сорта «Скипетр ЭС» для оценки эффективности полученных биоудобрений. Посевные качества семян характеризовались высокой чистотой (99,97%) и лабораторной всхожестью (80%) на обоих вариантах опыта. Применение биоудобрения, полученного с использованием препарата «Мефосфон», обеспечило достоверное повышение урожайности озимой пшеницы до 4,3 т/га по сравнению с контролем (3,8 т/га), что составило прирост 13,2%. Качественные показатели зерна также значительно улучшились: стекловидность увеличилась на 30,8%, содержание

сырой клейковины – на 23,2%. Наблюдаемый эффект обусловлен комплексным действием препарата на микробиологические процессы компостирования. Повышение температуры до 48°C свидетельствует об активизации термофильных микроорганизмов, которые ускоряют деградацию органических соединений помета. Изменение pH с 6,8 до 7,5 связано с интенсивной минерализацией органического азота и выделением аммония, что снижает потери азота в виде летучего аммиака и объясняет повышение содержания азота в готовом удобрении на 30%.

Поддержание термофильного режима (>45°C) в течение 20 суток обеспечило эффективную санацию субстрата, что подтверждено отсутствием патогенной микрофлоры и соответствием санитарно-гигиеническим нормативам.

Выводы. Проведенные исследования демонстрируют высокую эффективность применения препарата «Мефосфон» для ускоренной утилизации куриного помета. Установлено, что обработка помета препаратом в дозе 450 мл/т достоверно интенсифицирует процесс компостирования, что проявляется в значительном повышении температуры компостной массы на 17,2°C и сокращении периода ферментации. Важным результатом является получение биоудобрения с нейтральной реакцией среды (pH=7,5) и повышенным содержанием общего азота в 1,3 раза по сравнению с контролем, что свидетельствует об оптимизации микробиологических процессов трансформации питательных веществ.

Полученный продукт соответствует IV классу опасности и удовлетворяет всем санитарно-гигиеническим нормативам, что подтверждает его экологическую безопасность и возможность применения в сельскохозяйственном производстве. Применение разрабатываемого биоудобрения под озимую пшеницу показало значительное улучшение агрономических показателей: коэффициент кущения увеличился на 16,7%, урожайность возросла на 13,2% и достигла 4,3 т/га, а также существенно улучшились качественные характеристики зерна.

Технология ускоренной утилизации куриного помета с применением препарата «Мефосфон» представляет практический интерес для сельскохозяйственных предприятий, так как позволяет не только эффективно перерабатывать органические отходы птицеводства, но и получать высокоэффективное органическое удобрение, обеспечивающее существенное повышение продуктивности и качества зерна озимой пшеницы.

Литература

1. Головки А. Н., Бондаренко А. М. Применение тепловой солнечной энергии для ускорения процесса компостирования органических отходов животноводства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 5(91). С. 129-132.
2. Лунева А. В. Подбор соотношения микробных компонентов для ускорения биоразложения птичьего помета // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2021. Т. 247. № 3. С. 120-126. doi: 10.31588/2413-4201-1883-247-3-120-126.

3. Никифоров Л. Л. Переработка органических отходов // Мясная индустрия. 2024. № 2. С. 44-46. doi: 10.37861/2618-8252-2024-02-44-46.
4. Содержание нитратного азота в почве при внесении удобрения на основе помета / Д. А. Пырских, Л. В. Уфимцева, Я. С. Саудабаева и др. // Твердые бытовые отходы. 2024. № 1(211). С. 28-31.
5. Peculiarities of modeling the heat and mass transfer with accounting the scaling for biogas production reactors / G. E. Sakhmetova, A. M. Brener, V. V. Dilman et al. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2017. Vol. 6, No. 426. P. 207-215.
6. Оценка эффективного плодородия почв Беларуси на энергетической основе / Г. С. Цытрон, Л. И. Шибут, С. В. Шульгина и др. // Земледелие и защита растений. – № 4. 2013. С. 44-47.
7. Тойгильдин А. Л., Ермолаева Г. В., Никифорова С. А. Эффективность биологизированной технологии возделывания озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 2(78). С. 50-56. doi: 10.12737/2073-0462-2025-50-56.
8. Получение биогаза из отходов сельскохозяйственных животных / Н. Э. Маматов, А. К. Самыкбаев, Т. О. Осмонканов и др. // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2018. № 2. С. 279-282.
9. Влияние удобрений и способов их заделки на баланс органического вещества почвы при возделывании озимой пшеницы в условиях Верхневолжья / В. А. Шевченко, А. М. Соловьев, Г. И. Бондарева и др. // Плодородие. 2024. № 1(136). С. 32-36. doi: 10.25680/S19948603.2024.136.08.
10. Окорков В. В. К вопросу о равноценности питания растений нитратным и аммонийным азотом // Агрохимия. 2021. № 12. С. 3-14. doi:10.31857/S0002188121120103.
11. Семин И. В. Агротехнические приемы повышения качества семенных подвоев в питомнике // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 4. С. 59-62. doi: 10.31857/S2500208224040101.
12. Эседуллаев С. Т., Шмелева Н. В. Особенности аккумуляции азота многолетними бобовыми травами в чистых и смешанных посевах в Верхневолжье // Плодородие. 2016. № 6(93). С. 16-18.
13. Использование куриного помета в органическом земледелии / Ф. С. Сибгатуллин, А. С. Ганиев, З. М. Халиуллина и др. // Агрохимический вестник. 2023. № 3. С. 50-53. doi: 10.24412/1029-2551-2023-3-011.
14. Рубцова Т. Н., Гуляева К. Н. Агроэкологические аспекты применения удобрений // Russian Agricultural Science Review. 2015. Т. 5. № 5-1. С. 154-156.
15. Мастерова С. Н. Особенности развития сельского хозяйства современной России: проблемы доступности и стоимости здорового питания // Региональная экономика: теория и практика. 2024. Т. 22. № 6(525). С. 1110-1125. doi: 10.24891/re.22.6.1110.
16. Концепция современной технологии переработки бесподстилочного навоза / П. А. Смирнов, Е. П. Алексеев, М. П. Смирнов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 1(77). С. 82-92. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-82-92.
17. Влияние препарата Мефосфон на эффективность процесса получения биогаза и утилизации углеродсодержащих отходов / И. Х. Гайфуллин, З. М. Халиуллина, Б. Г. Зиганшин и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 19-26. doi: 10.12737/2073-0462-2021-19-26.
18. Влияние куриного помета на некоторые свойства почвы / Ф. С. Сибгатуллин, А. С. Ганиев, З. М. Халиуллина и др. // Агрохимический вестник. 2024. № 3. С. 67-71. doi: 10.24412/1029-2551-2024-3-012.
19. Халиуллина З. М., Ганиев А. С., Гайфуллин И. Х. Эффективность использования куриного помета при выращивании зерна озимой пшеницы // Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 2(10). С. 48-53. doi:10.12737/2782-490X-2024-48-53.
20. Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования и использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* ПНД Ф Т 14.1:2.3.13-06/ПДН Ф Т 16.1:2.3.10-06 «. Москва. 2014. 34 с.

Конфликт интересов

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

Сведения об авторах:

Гайфуллин Ильнур Хамзович – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: ilnur-gai@yandex.ru

Халиуллина Зульфия Мусавиховна – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, животноводства и химии, e-mail: khaliullinaz@mail.ru

Ганиев Алмаз Саляхутдинович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ganiev-almaz@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

ACCELERATED UTILIZATION OF POULTRY WASTE AND PRODUCTION OF HIGH-QUALITY BIOFERTILIZERS ON ITS BASIS

I. Kh. Gayfullin, Z. M. Khaliullina, A. S. Ganiev

Abstract. This paper presents the results of accelerated utilization of poultry waste to obtain organic biofertilizer for winter wheat. The purpose of the work is to develop methods for processing poultry waste and its use in agriculture, as well as to assess their impact on agricultural crop yield. A composting technology has been developed that provides for the addition of biopreparation "Mephosphon" at a dose of 450 ml per ton of manure. Field studies were carried out in 2023-2024 on the territory of "Ak Bars Pestretsy" agricultural company (Republic of Tatarstan). The soil of the experimental site is represented by a light gray forest variety. The agrochemical characteristics of the arable layer, according to the survey conducted by "Ak Bars Pestretsy" LLC, are as follows: the humus content varies within 2.3-3.0%, the pH of the environment is from slightly acidic to neutral (5.3-7.0), the content of alkaline-hydrolyzable nitrogen is 81.2 mg/kg, mobile phosphorus is 134.0-295.0 mg/kg, and exchangeable potassium is 90.0-170.0 mg/kg. The experimental design included a control (untreated manure) and an experimental variant (manure treated with the preparation). It was found that treatment by "Mephosphon" intensifies the composting process: the temperature in the heap reached 48±1.5°C, which is 17.2° C higher than the control, the unpleasant odor was eliminated by the 20th day, the final product had a neutral reaction of

the environment (pH=7.5 of the salt extract) and corresponded to hazard class IV. The use of the obtained biofertilizer for winter wheat of Skipetr ES variety increased the tillering coefficient by 7%, the yield to 4.3 t/ha and improved the grain quality: vitreousness by 16-28%, raw gluten content by 5.2-5.6%, the falling number by 53 units compared to the control. The results confirm the effectiveness of using "Mephosphon" preparation for processing manure into a safe and highly effective organic fertilizer.

Key words: poultry waste, winter wheat (*Triticum aestivum*), agriculture, ecology, soil science.

For citation: Gayfullin I.Kh., Khaliullina Z.M., Ganiev A.S. Accelerated utilization of poultry waste and production of high-quality biofertilizers on its basis. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 3 (15). 6-12 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-6-12>

References

1. Golovko AN, Bondarenko AM. [Application of thermal solar energy to accelerate the composting process of organic livestock waste]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; 5(91). 129-132 p.
2. Luneva AV. [Selection of the ratio of microbial components to accelerate the biodegradation of bird droppings]. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Bauman*. 2021; Vol.247. 3. 120-126 p. doi: 10.31588/2413-4201-1883-247-3-120-126.
3. Nikiforov LL. [Recycling of organic waste]. *Myasnaya industriya*. 2024; 2. 44-46 p. doi: 10.37861/2618-8252-2024-02-44-46.
4. Pyrsikov DA, Ufimtseva LV, Saudabaeva YaS. [The content of nitrate nitrogen in the soil when applying fertilizer based on manure]. *Tverdye bytovye otkhody*. 2024; 1(211). 28-31 p.
5. Sakhmetova GE, Brener AM, Dilman VV. [Peculiarities of modeling the heat and mass transfer with accounting the scaling for biogas production reactors]. *Izvestiya Natsionalnoy akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk*. 2017; Vol.6. 426. 207-215 p.
6. Tsytron GS, Shibut LI, Shulgina SV. [Assessment of effective soil fertility in Belarus on energy basis]. *Zemledelie i zashchita rasteniy*. 4. 2013; 44-47 p.
7. Toygildin AL, Ermolaeva GV, Nikiforova SA. [Efficiency of biologized technology for winter wheat cultivation in the forest-steppe zone of Middle Volga region]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2025; Vol.20. 2(78). 50-56 p. doi: 10.12737/2073-0462-2025-50-56.
8. Mamatov NE, Samykbaev AK, Osmonkanov TO. [Biogas production from farm animal waste]. *Vestnik Kyr-gyzskogo natsionalnogo agrarnogo universiteta im. K.I. Skryabina*. 2018; 2. 279-282 p.
9. Shevchenko VA, Solov'ev AM, Bondareva GI. [The influence of fertilizers and methods of their incorporation on the balance of soil organic matter on winter wheat cultivation in Upper Volga region]. *Plodorodie*. 2024; 1(136). 32-36 p. doi: 10.25680/S19948603.2024.136.08.
10. Okorkov VV. [On the issue of equivalence of plant nutrition with nitrate and ammonium nitrogen]. *Agrokhiimiya*. 2021; 12. 3-14 p. doi:10.31857/S0002188121120103.
11. Semin IV. [Agrotechnical methods for improving the quality of seed rootstocks in a nursery]. *Vestnik rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2024; 4. 59-62 p. doi: 10.31857/S2500208224040101.
12. Esedullaev ST, Shmeleva NV. [Features of nitrogen accumulation by perennial legumes in pure and mixed crops in Upper Volga region]. *Plodorodie*. 2016; 6(93). 16-18 p.
13. Sibagatullin FS, Ganiev AS, Khaliullina ZM. [Use of poultry waste in organic farming]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2023; 3. 50-53 p. doi: 10.24412/1029-2551-2023-3-011.
14. Rubtsova TN, Gulyaeva KN. [Agroecological aspects of fertilizer application]. *Russian Agricultural Science Review*. 2015; Vol.5. 5-1. 154-156 p.
15. Masterova SN. [Features of agriculture development in modern Russia: problems of availability and cost of healthy food]. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika*. 2024; Vol.22. 6(525). 1110-1125 p. doi: 10.24891/re.22.6.1110.
16. Smirnov PA, Alekseev EP, Smirnov MP. [The concept of modern technology for processing litterless manure]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2025; Vol.20. 1(77). 82-92 p. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-82-92.
17. Gayfullin IKh, Khaliullina ZM, Ziganshin BG. [The influence of Mephosphon biopreparation on the efficiency of the process of biogas production and utilization of carbon-containing waste]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2021; Vol.16. 3 (63). 19-26 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-19-26.
18. Sibagatullin FS, Ganiev AS, Khaliullina ZM. [The influence of poultry waste on some soil properties]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2024; 3. 67-71 p. doi: 10.24412/1029-2551-2024-3-012.
19. Khaliullina ZM, Ganiev AS, Gayfullin IKh. [Efficiency of using poultry waste in growing winter wheat grain]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2024; 2(10). 48-53 p. doi:10.12737/2782-490X-2024-48-53.
20. Metodika opredeleniya toksichnosti otkhodov, pochv, osadkov stochnykh, poverkhnostnykh i gruntovykh vod metodom biotestirovaniya i ispolzovaniem ravnoresnichnykh infuzorii *Paramecium caudatum*. [Methodology for determining the toxicity of waste, soil, sewage sludge, surface and groundwater by biotesting and using equal-ciliated ciliates *Paramecium caudatum*]. PND F T 14.1:2.3.13-06/PDN F T 16.1:2.3.3.10-06. Moscow. 2014; 34 p.

Conflict of interest

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

Authors:

Gayfullin Ilnur Khamzovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Machines and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: ilnur-gai@yandex.ru

Khaliullina Zulfira Musavikhovna – Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor of Animal Husbandry and Chemistry Biotechnology, e-mail: khaliullinaz@mail.ru

Ganiev Almaz Salakhutdinovich – Ph.D. of Biological Sciences, Senior Researcher, e-mail: ganiev-almaz@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕКОРНЕВОГО ВНЕСЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ**О. А. Егорова, Л. М. Егоров, Р. И. Сафин**

Реферат. В работе представлены результаты полевых опытов по изучению влияния некорневого внесения различных удобрений серии ИЗАГРИ на формирование урожая и качество двух сортов яровой тритикале. Исследования проводились в период 2023-2024 годы на среднесуглинистой серой лесной почве в Предкамье Республики Татарстан. В качестве объектов исследований выступали два сорта яровой тритикале – Тимур и Орден. Для некорневого внесения использовали удобрения серии «ИЗАГРИ» – ИЗАГРИ Бор-Молибден (1 л/га), ИЗАГРИ Вита (1,0 л/га), ИЗАГРИ Калий-Кремний (1,0 л/га). Некорневая подкормка проводилась в фазу колошения, расход рабочей жидкости – 200 л/га. Максимальный эффект в увеличении площади листовой поверхности был получен при использовании удобрения ИЗАГРИ Калий-Кремний (на сорте Тимур рост на 21,2%, на сорте Орден – 21,5%). Применение изучаемых удобрений способствовало увеличению величины коэффициента реализации колоса (КРК), что свидетельствует об их антистрессовой активности. На сорте Тимур максимальные значения коэффициента были в варианте с ИЗАГРИ Калий-Кремний, а на сорте Орден – с ИЗАГРИ Бор-Молибден. Применение подкормки увеличило урожайность яровой тритикале (на сорте Тимур прибавка урожая от некорневой подкормки была на уровне 10,3-18,2%, а на сорте Орден – 6,1-13,9%. На сорте Тимур, наибольший рост урожайности (на 0,65 т/га) был обеспечен при использовании удобрения ИЗАГРИ Калий-Кремний. На сорте Орден, примерно одинаковую урожайность обеспечило использование ИЗАГРИ Вита (прирост на 0,54 т/га) и ИЗАГРИ Калий-Кремний (0,52 т/га). У сорта Орден, содержание в зерне белка достоверно выше, чем у сорта Тимур. Максимальный сбор белка с 1 га был получен при использовании подкормки удобрением ИЗАГРИ Калий-Кремний, что позволяет рекомендовать его для включения в агротехнологию возделывания яровой тритикале в зоне Предкамья Республики Татарстан.

Ключевые слова: удобрения, комплексные удобрения, некорневая подкормка, урожайность, яровая тритикале (х *Triticosecale Wittmack*).

Для цитирования: Егорова О.А., Егоров Л.М., Сафин Р.И. Оценка влияния некорневого внесения комплексных удобрений на формирование урожая различных сортов яровой тритикале // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. 3(15). С. 13-19 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-13-19>

Введение. Современное сельское хозяйство, в том числе и растениеводство, сталкивается с глобальными вызовами, важнейшими из которых являются – необходимость быстрой адаптации производства продовольствия к климатическим изменениям; нестабильность цен на сырьевые товары на мировых рынках, а также растущий спрос на качественные и безопасные продукты питания [1]. Важнейшую роль в решении данных задач играет устойчивое развитие зернового комплекса России, в первую очередь за счет роста продуктивности зерновых культур [2, 3]. Перспективным направлением производства зерна как в нашей стране, так и зарубежом, является расширение набора культур, в частности, за счет тритикале, отличающейся высокой продуктивностью и экологической пластичностью [4, 5, 6]. В последние годы, значительно вырос интерес к использованию в качестве ценной продовольственной и зернофуражной культуры яровой тритикале [7, 8, 9]. При разработке агротехнологий возделывания данной культуры, адаптированных для различных природно-климатических зон, особое место занимают – подбор сортов и оптимизация минерального питания [10, 11, 12].

В системе минерального питания сельскохозяйственных культур, существенное место занимает использование некорневых подкормок различными удобрениями, использование которых позволяет оперативно управлять потребностями растений в макро- и микроэлементах, что обеспечивает как рост урожайности, так и существенное увеличение качественных характеристик сельскохозяйственной продукции [13, 14]. Имеются данные о высокой эффективности некорневого внесения комплексных удобрений и на яровой тритикале [15, 16, 17].

К числу удобрений, применяемых для некорневого внесения, относятся и препараты, относящиеся к серии «ИЗАГРИ», которые отличаются по своему составу и широко применяются на различных зерновых культурах [18, 19]. Показано положительное влияние данных удобрений как урожайности, так и на качественные характеристики зерна [20, 21]. Вместе с тем, оценки эффективности применения удобрений серии «ИЗАГРИ» для некорневой подкормки яровой тритикале в условиях Предкамья Республики Татарстан не проводилось.

Целью работы было изучение влияния

некорневого внесения различных удобрений серии «ИЗАГРИ» на формирование урожая различных сортов яровой тритикале в условиях серых лесных почв Предкамской агропроизводственной зоны Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. Полевые опыты проводились в 2023-2024 годах на опытных полях зернового блока Агробιο-технопарка Казанского ГАУ. Был заложен двухфакторный опыт:

Фактор А: сорт яровой тритикале

1. Тимур (среднеранний, продовольственного и зернофуражного направления. Патентообладатель – ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»).

2. Орден (раннеспелый, зернового использования. Патентообладатель – ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»).

Фактор В: удобрения для некорневого внесения

1. Контроль – без подкормки.

2. ИЗАГРИ Бор-Молибден, 1 л/га.

3. ИЗАГРИ Вита, 1 л/га.

4. ИЗАГРИ Калий-Кремний, 1 л/га.

Некорневая подкормка проводилась в фазу начала колошения, расход рабочей жидкости составил 200 л/га. Общая площадь делянки – 34 м², учетная – 25 м². Повторность в опыте – трехкратная. Предшественник – яровая пшеница. После уборки предшественника проводилась отвальная основная обработка почвы. В опытах использовалась норма высева семян – 5,0 млн. всхожих семян на 1 га. Минеральные удобрения вносились под предпосевную культивацию (1,5 ц/га

азофоски (16 : 16 : 16)), а также в фазу кушения проводилась корневая подкормка (сеялкой) яровой тритикале аммиачной селитрой (1,0 ц/га). Для контроля двудольных сорных растений использовался гербицид Балерина Супер (0,5 л/га).

Агроклиматические условия вегетации яровой тритикале как в 2023, так и в 2024 году отличались периодическими засухами. Так, в 2023 году за период май-август величина ГТК равнялась 0,66, а в 2024 – 0,96. Особенно сильно, засушливые явления в оба года исследований проявились в июне (в 2023 году ГТК в июне – 0,18, а в 2024 году – 0,32), что негативно отразилось на вегетативный рост растений яровой тритикале.

Почва опытных участков – серая лесная среднесуглинистая, с высоким содержанием гумуса; очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором и высокой – обменным калием. Реакция почвенного раствора – близкая к нейтральной (рН_{сол.} = 6,2-6,3). Низкая обеспеченность почвы отмечалась в отношении цинка (0,79-0,81 мг/кг) и молибдена (0,05-0,06 мг/кг).

Площадь листьев определи методом промеров линейных размеров. Лабораторные исследования проводились в Центре агроэкологических исследований (ЦАИ) Казанского ГАУ по соответствующим ГОСТ (ГОСТ 10846-91, ГОСТ ISO 520-2014).

Статистическая обработка данных проводилась стандартными методами согласно рекомендациям (Доспехов, 1985).

Характеристика удобрений для некорневой подкормки приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика удобрений серии ИЗАГРИ

Марка удобрения	Состав (содержание действующего вещества, %)
ИЗАГРИ Бор-Молибден	N – 5,5%; SO ₃ – 5,2%; B – 12,3%; Mo – 1,0%
ИЗАГРИ Вита	N – 3,2%; SO ₃ – 9,34%; аминокислоты – 15%, микроэлементы (Zn, Mg, Cu, Fe и др.)
ИЗАГРИ Калий-Кремний	N-0,04%; K ₂ O-16%; SiO ₂ – 20%

Результаты и обсуждение. Одной из целей некорневой подкормки является повышение листовой поверхности растений, что оказывает положительное влияние на их фотосинтетическую деятельность. Результаты оценки влияния различных удобрений на формирование листовой поверхности яровой тритикале представлены в таблице 2. С учетом того, что обработка проводилась в фазу начала колошения, представлены результаты через 14 дней после обработки (фаза цветения).

Результаты оценки показали, что между сортами яровой тритикале имеются различия по площади листовой поверхности – сорт Тимур отличается более высокими показателями, чем сорт Орден.

Вклад некорневой подкормки был

значительно ниже, чем сорта, но, в большинстве случаев отмечался рост площади листьев, в сравнении с контролем. Максимальная отдача от использования некорневого внесения удобрений серии «ИЗАГРИ» была при использовании их на сорте Орден. В целом, среди изучаемых удобрений, максимальный эффект в увеличении площади листовой поверхности был при использовании ИЗАГРИ Калий-Кремний (на сорте Тимур рост на 21,2%, а на сорте Орден – 21,5%). Отмечаемый эффект от данного удобрения может быть связан с его возможным антистрессовым действием, что несколько удлинило сроки функционирования листовой поверхности, тогда как в контроле отмечалось начало отмирания листьев, причем на обоих сортах.

АГРОНОМИЯ

Одним из показателей, характеризующих засухоустойчивость зерновых культур выступает коэффициент реализации колоса (КРК), который представляет собой отношение

сухой массы колоса яровой тритикале в фазу восковой спелости к его массе в фазу колошения. Полученные значения представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Площадь листовой поверхности яровой тритикале при использовании некорневой подкормки удобрениями ИЗАГРИ (фаза цветения), тыс. м²/га, 2023-2024 годы

Удобрение (фактор В)	Площадь листьев, тыс. м²/га	Отклонение от контроля	
		тыс. м²/га	%
Сорт Тимур (фактор А)			
Контроль	17,0		
ИЗАГРИ Бор-Молибден	18,5	1,5	8,8
ИЗАГРИ Вита	17,4*	0,4	2,4
ИЗАГРИ Калий-Кремний	20,6	3,6	21,2
Сорт Орден			
Контроль	13,5		
ИЗАГРИ Бор-Молибден	15,5	2,0	14,8
ИЗАГРИ Вита	15,6	2,1	15,6
ИЗАГРИ Калий-Кремний	16,4	2,9	21,5
Оценка изучаемых факторов	Для фактора А: $F_{\text{факт}} > F_{05}$ (доля в общей дисперсии 61,1%). Для фактора В: $F_{\text{факт}} > F_{05}$ (доля в общей дисперсии 33,9%).		

Примечание: * – значения недостоверны к показателям в контроле по величине стандартной ошибки при 95% уровне значимости по критерию Стьюдента

Таблица 3 – Коэффициент реализации колоса (КРК) яровой тритикале при использовании некорневой подкормки удобрениями ИЗАГРИ, 2023-2024 годы

Удобрение (фактор В)	КРК	Отклонение от контроля	
		±	%
Сорт Тимур (фактор А)			
Контроль	1,17		
ИЗАГРИ Бор-Молибден	1,31	0,14	12,0
ИЗАГРИ Вита	1,29	0,12	10,3
ИЗАГРИ Калий-Кремний	1,35	0,18	15,4
Сорт Орден			
Контроль	1,10		
ИЗАГРИ Бор-Молибден	1,40	0,30	27,3
ИЗАГРИ Вита	1,23	0,13	11,8
ИЗАГРИ Калий-Кремний	1,36	0,26	23,6
Оценка изучаемых факторов	Для фактора А: $F_{\text{факт}} < F_{05}$ (доля в общей дисперсии 1,5%). Для фактора В: $F_{\text{факт}} > F_{05}$ (доля в общей дисперсии 88,6%).		

Примечание: * – значения недостоверны к показателям в контроле по величине стандартной ошибки при 95% уровне значимости по критерию Стьюдента

Полученные данные подтвердили, что применение некорневой подкормки всеми удобрениями оказывает положительное влияние на величину КРК, что указывает на повышение устойчивости растений к абиотическим стрессам. Вместе с тем, существенных различий между изучаемыми сортами по величине КРК не обнаружено. Среди изучаемых удобрений, на сорте Тимур выделялся вариант с ИЗАГРИ Калий-Кремний и ИЗАГРИ Бор-Молибден, а на сорте Орден – ИЗАГРИ Бор-Молибден. По всей видимости, с учетом дефицита в почве опытного участка молибдена, использование удобрения ИЗАГРИ Бор-Молибден на обоих сортах яровой тритикале оказывает выраженное положительное влияние на повышение устойчивости растений к стрессам.

Данные по урожайности по вариантам опыта приведены в таблице 4.

Во все годы исследований, сорт Орден формировал урожай на 0,13-0,21 т/га выше, чем сорт Тимур.

Эффективность некорневого внесения различных удобрений серии ИЗАГРИ была достаточно высокой во все годы исследований и на обоих изучаемых сортах. Так, на сорте Тимур прибавка урожая от некорневой подкормки была на уровне 10,3-18,2%, а на сорте Орден – 6,1-13,9 %.

На сорте Тимур, наибольший рост урожайности (на 0,65 т/га) был обеспечен при использовании удобрения ИЗАГРИ Калий-Кремний. На сорте Орден, примерно одинаковую урожайность обеспечило использование ИЗАГРИ Вита (прирост на 0,54 т/га) и ИЗАГРИ Калий-Кремний (0,52 т/га).

Одним из важнейших показателей, характеризующих качественные характеристики зерна выступает содержание в нем белка (табл. 5).

АГРОНОМИЯ

Таблица 4 – Урожайность яровой тритикале при использовании некорневой подкормки удобрениями ИЗАГРИ, т/га, 2023-2024 годы

Удобрение (фактор В)	2023 год	2024 год	Средняя за 2 года	Отклонение от контроля	
				т/га	%
Сорт Тимур (фактор А)					
Контроль	4,50	2,66	3,58	-	-
ИЗАГРИ Бор-Молибден	5,04	2,86	3,95	0,37	10,3
ИЗАГРИ Вита	4,89	3,07	3,98	0,40	11,2
ИЗАГРИ Калий-Кремний	5,32	3,14	4,23	0,65	18,2
Сорт Орден					
Контроль	4,71	2,79	3,75	-	-
ИЗАГРИ Бор-Молибден	4,87	3,09	3,98	0,23	6,1
ИЗАГРИ Вита	5,60	2,98	4,29	0,54	14,4
ИЗАГРИ Калий-Кремний	5,37	3,17	4,27	0,52	13,9
НСР ₀₅ А	0,17	0,11			
НСР ₀₅ В	0,06	0,08			
НСР ₀₅ АВ	0,56	0,13			

Таблица 5 – Содержание в зерне и сбор белка с 1 га при использовании некорневой подкормки удобрениями ИЗАГРИ на различных сортах яровой тритикале, 2023-2024 годы

Удобрение (фактор В)	Содержание белка, % на сухое вещество	Сбор белка	
		т/га	±% к контролю
Сорт Тимур (фактор А)			
Контроль	12,73	0,456	
ИЗАГРИ Бор-Молибден	13,01*	0,514	12,7
ИЗАГРИ Вита	12,85*	0,511	12,2
ИЗАГРИ Калий-Кремний	12,94*	0,547	20,1
Сорт Орден			
Контроль	13,90	0,521	
ИЗАГРИ Бор-Молибден	14,56	0,579	11,1
ИЗАГРИ Вита	14,15*	0,607	16,4
ИЗАГРИ Калий-Кремний	14,65	0,626	20,0
Оценка изучаемых факторов	Для фактора А: $F_{\text{факт}} > F_{05}$ (доля в общей дисперсии 90,8%). Для фактора В: $F_{\text{факт}} < F_{05}$ (доля в общей дисперсии 7,2%).	Для фактора А: $F_{\text{факт}} > F_{05}$ (доля в общей дисперсии 46,1%). Для фактора В: $F_{\text{факт}} > F_{05}$ (доля в общей дисперсии 52,4%).	

Примечание: * – значения недостоверны к показателям в контроле по величине стандартной ошибки при 95% уровне значимости по критерию Стьюдента

Результаты анализа показали, что у сорта Орден, содержание в зерне белка достоверно выше, чем у сорта Тимур, и в целом, вклад сортовых отличий в данный показатель доминирует. Использование некорневой подкормки практически не оказало влияние на содержание белка в зерне на сорте Тимур, тогда как на сорте Орден увеличение содержания белка отмечалось при применении вариантов с ИЗАГРИ Бор-Молибден и ИЗАГРИ Калий-Кремний. Данные дисперсионного анализа показали, что сортовые особенности сыграли основную роль в накоплении белка в зерне яровой тритикале, тогда как положительное влияние некорневой подкормки удобрениями было недостоверным (в первую очередь на сорте Тимур). Данный эффект может быть связан с тем, что, часто, между урожайностью и накоплением в зерне белка существует

отрицательная корреляция, что показано и в опытах с тритикале [22]. По всей видимости, отмечаемый в опытах рост урожайности при применении изучаемых удобрений, оказал отрицательное влияние на накопление в зерне белка, особенно на сорте Тимур. Однако за счет роста урожайности, валовой сбор белка с 1 га посевов, в вариантах с подкормкой удобрениями Изагри на обоих сортах яровой тритикале был выше, чем в контроле.

На всех сортах, максимальный сбор белка с 1 га был получен при использовании подкормки удобрением ИЗАГРИ Калий-Кремний. На сорте Тимур рост сбора белка к показателям в контроле составил 20,1%, а сорте Орден – 20,0%.

Выводы. В условиях периодического дефицита влаги, отмечаемого в вегетационные периоды 2023-2024 годы, использование некорневой подкормки удобрениями

серии «ИЗАГРИ» способствует повышению устойчивости к стрессам, увеличению урожайности и сбору белка с 1 га посевов яровой тритикале на обоих изучаемых сортах. Наибольшую урожайность и более высокое содержание белка в зерне обеспечил сорт Орден.

С учетом роста урожайности и сбора белка с урожаем с 1 га посевов, среди изучаемых вариантов преимуществом обладала некорневая подкормка в фазу колошения удобрением ИЗАГРИ Калий-Кремний, что

позволяет рекомендовать его для включения в агротехнологию возделывания яровой тритикале в зоне Предкамья Республики Татарстан. На сорте Орден близкие результаты были получены при применении удобрения ИЗАГРИ Вита. Применение удобрения ИЗАГРИ Бор-Молибден оказывает положительное влияние на повышение устойчивости растений яровой тритикале к стрессам, в условиях низкого содержания в почве подвижных форм молибдена.

Литература

1. Роль и значение сельского хозяйства в обеспечении экономической и социальной стабильности общества (на примере Республики Татарстан) / И.Г. Гайнутдинов, Ф.Н. Мухаметгалиев, М.М. Хисматуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 3(75). С. 93-104. doi:10.12737/2073-0462-2024-93-104.
2. Бундина О.И., Белкина Е.Н., Хухрин А.С. Развитие зернового комплекса Российской Федерации: стратегические ориентиры // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 114. С. 35-41. doi:10.21515/1999-1703-114-35-41.
3. Яковенко Н.А., Иваненко И.С., Воронов А.С. Оценка структурных изменений агропродовольственного экспорта России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5(377). С. 88-92. doi:10.24411/2587-6740-2020-15101.
4. Медведев А.М., Горянина Т.А. О перспективах улучшения озимых и яровых тритикале в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 2(50). С. 61-68. doi:10.24412/2309-348X-2024-2-61-68.
5. Evaluation of dual-purpose triticale: grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions / L.Cui, L. Xu, H.Wang et al. // Agronomy 2025. 15. 881. doi:10.3390/agronomy15040881
6. Prospects for the use of a new non-traditional culture spring tritical in the precise agriculture system in the North-Kazakhstan region / A. K. Kurishbayev, B. K. Kanafin, N. A. Shestakova [et al.] // Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. No. 2(105). P. 4-12.
7. Иммунологическая и селекционная ценность новых линий яровой тритикале / Т. К. Шешегова, Г. А. Баталова, Л. А. Беспалова и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 104-109. doi:10.25750/1995-4301-2020-1-104-109.
8. Ержебаева Р.С., Таджибаев Д., Абугалиев А.И. Качество зерна коллекционных образцов яровой тритикале (× Triticosecale Wittmack) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 3. С. 111-121. doi:10.26898/0370-8799-2020-3-12.
9. Максимов В.А., Лапшин Ю.А., Золотарева Р.И. Экологическое испытание новых сортов яровой тритикале в Республике Марий Эл // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 5. С. 14-17. doi:10.31857/2500-2082/2023/5/14-17.
10. Александрова А.Н., Мефодьев Г.А., Шашкаров Л.Г. Нарспи - новый сорт яровой тритикале // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 1(61). С. 5-8. doi:10.12737/2073-0462-2021-5-8.
11. Тетеревская А.Д., Солодун В.И., Бояркин Е.В. Влияние сроков посева на содержание белка и урожайность сортов ярового тритикале в Предбайкалье // Вестник КрасГАУ. 2021. № 3(168). С. 9-14. doi:10.36718/1819-4036-2021-3-9-14.
12. Alenicheva AD, Shchuklina OA. [Efficiency of applying different doses of nitrogen fertilizer to spring triticale in Moscow region]. Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka. 2023; 3. 55-58 p. doi:10.31857/S2500262723030109.
13. Эффективность листовых подкормок яровой пшеницы в условиях северной лесостепи Западной Сибири / С. В. Шерстобитов, М. М. Визирская, Н. В. Абрамов и др. // Плодородие. 2024. № 2(137). С. 11-16. doi:10.25680/S19948603.2024.137.03.
14. Фокин С.А., Куркова И. В. Влияние применения жидких удобрений на качественные показатели зерна сорта яровой пшеницы ДальГАУ 1 // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 74-78. doi:10.32634/0869-8155-2023-374-9-74-78.
15. Кшникаткина А.Н., Долженко А.Н. Эффективность некорневой подкормки микроэлементами удобрениями на урожайность и качество зерна яровой тритикале // Нива Поволжья. 2020. № 1(54). С. 29-34. doi:10.36461/NP.2020.54.1.005.
16. Применение некорневых подкормок на яровой тритикале в условиях северо-западной зоны Ростовской области / И.В. Ляшков, К.Н. Бирюков, А.В. Крохмаль и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2(46). С. 134-140. doi:10.24412/2309-348X-2023-2-134-140.
17. Вильдфлуш И.Р., Кулешова А.А. Экономическая эффективность применения новых форм макро-, микроудобрений и регуляторов роста при возделывании яровой пшеницы и яровой тритикале // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3. С. 94-97.
18. Даваев А.В., Гольдварг Б.А., Козырчук В.И. Урожайность и качество озимой пшеницы при применении жидкого удобрения ИЗАГРИ в аридных условиях юга России // Плодородие. 2020. № 4(115). С. 38-41. doi:10.25680/S19948603.2020.115.11.
19. Даваев А.В., Гольдварг Б.А., Козырчук В.И. Эффективность применения жидкого удобрения Изагри при возделывании озимой мягкой пшеницы в центральной зоне Республики Калмыкия // Плодородие. 2022. № 6(129). С. 19-22. doi:10.25680/S19948603.2022.129.05.

20. Шурганов Б.В., Даваев А.В. Влияние жидкого микроудобрения изагри на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях центральной агроклиматической зоны Калмыкии / *Аграрная наука*. 2019. № 3. С. 38-41. doi:10.32634/0869-8155-2019-323-3-38-41.

21. Михайлова М. Ю. Отзывчивость гибрида кукурузы Нур на листовые подкормки карбамидом и стимулятором роста Изагри Вита в почвенно-климатических условиях Республики Татарстан // *Агробιοтехнологии и цифровое земледелие*. 2024. № 1(9). С. 32-37. doi:10.12737/2782-490X-2024-32-37.

22. Урожайность и содержание белка в зерне коллекционных образцов озимой тритикале / С. Н. Пономарев, М. Л. Пономарева, Г. С. Маннапова, Л. В. Илалова // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22, № 4. С. 495-506. doi:10.30766/2072-9081.2021.22.4.495-506.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Егорова Ольга Алексеевна - аспирант кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: egorova.615@mail.ru

Егоров Леонид Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: leon-1978.1978@mail.ru

Сафин Радик Ильясович - 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, Казань, Россия.

EVALUATION OF INFLUENCE OF FOLIAR APPLICATION OF COMPLEX FERTILIZERS ON YIELD FORMATION OF DIFFERENT SPRING TRITICALE VARIETIES

O. A. Egorova, L. M. Egorov, R. I. Safin

Abstract. This paper presents the results of field experiments on the effect of foliar application of various IZAGRI fertilizers on yield formation and quality of two spring triticale varieties. The study was conducted in 2023-2024 on medium loamy gray forest soil in Kama region of the Republic of Tatarstan. Two spring triticale varieties, Timur and Orden, were used as subjects. Fertilizers from IZAGRI series were used for foliar application: IZAGRI Bor-Molybdenum (1 l/ha), IZAGRI Vita (1.0 l/ha), IZAGRI Potassium-Silicon (1.0 l/ha). Foliar feeding was carried in the earing phase, the consumption of working fluid was 200 l/ha. The maximum effect in increasing the leaf surface area was obtained with the use of IZAGRI Potassium-Silicon fertilizer (on Timur variety a growth was 21.2%, on Orden variety - 21.5%). The use of the studied fertilizers contributed to an increase in the ear realization coefficient (ESC), which indicates their anti-stress activity. On Timur variety the maximum values of the coefficient were in the variant with IZAGRI Potassium-Silicon and on Orden variety - with IZAGRI Bor-Molybdenum. The use of top dressing increased the yield of spring triticale (on Timur variety the yield increase from foliar feeding was at the level of 10.3-18.2%, and on Orden variety - 6.1-13.9%). On Timur variety the greatest increase in yield (by 0.65 t/ha) was ensured by the use of IZAGRI Potassium-Silicon fertilizer. On Orden variety approximately the same yield was ensured by the use of IZAGRI Vita (an increase of 0.54 t/ha) and IZAGRI Potassium-Silicon (0.52 t/ha). In Orden variety the protein content in the grain is significantly higher than in Timur one. The maximum protein yield from 1 ha was obtained when using IZAGRI Potassium-Silicon fertilizer, which allows us to recommend it for inclusion in Agrotechnology for spring triticale cultivation in Kama region of the Republic of Tatarstan.

Key words: fertilizers, complex fertilizers, foliar feeding, yield, spring triticale (x *Triticosecale Wittmack*).

For citation: Egorova O.A., Egorov L.M., Safin R.I. Evaluation of influence of foliar application of complex fertilizers on yield formation of different spring triticale varieties. *Agrobiotechnology and digital farming*. 2025; 3(15). 13-19 p. http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-13-19

References

1. Gaynutdinov IG, Mukhametgaliev FN, Khismatullin MM. [The role and significance of agriculture in ensuring economic and social stability of society (on the example of the Republic of Tatarstan)]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 3(75). 93-104 p. doi:10.12737/2073-0462-2024-93-104.
2. Bundina OI, Belkina EN, Khukhrin AS. [Development of grain complex of the Russian Federation: strategic guidelines]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; 114. 35-41 p. doi:10.21515/1999-1703-114-35-41.
3. Yakovenko NA, Ivanenko IS, Voronov AS. [Assessment of structural changes in Russian agri-food exports]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2020; 5(377). 88-92 p. doi:10.24411/2587-6740-2020-15101.
4. Medvedev AM, Goryanina TA. [On the prospects for improving winter and spring triticale in the Russian Federation]. *Zernobobovye i krupyanye kultury*. 2024; 2(50). 61-68 p. doi:10.24412/2309-348X-2024-2-61-68.
5. Cui L, Xu L, Wang H. Evaluation of dual-purpose triticale: grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions. *Agronomy*. 2025; 15. 881 p. doi:10.3390/agronomy15040881
6. Kurishbayev AK, Kanafin BK, Shestakova NA. Prospects for the use of a new non-traditional culture spring triticale in the precise agriculture system in the North-Kazakhstan region. *Herald of Science of S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2020; 2(105). 4-12 p.
7. Sheshegova TK, Batalova GA, Beshpalova LA. [Immunological and breeding value of new lines of spring triticale]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2020; 1. 104-109 p. doi:10.25750/1995-4301-2020-1-104-109.
8. Erzhebaeva RS, Tadzhibaev D, Abugaliev AI. [Grain quality of collection accessions of spring triticale (x *Triticosecale Wittmack*)]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 2020; Vol.50. 3. 111-121 p. doi:10.26898/0370-8799-2020-3-12.
9. Maksimov VA, Lapshin YuA, Zolotareva RI. [Environmental testing of new varieties of spring triticale in the Mari El Republic]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2023; 5. 14-17 p. doi:10.31857/2500-2082/2023/5/14-17.
10. Aleksandrova AN, Mefodev GA, Shashkarov LG. [Narspi - a new variety of spring triticale]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 1(61). 5-8 p. doi:10.12737/2073-0462-2021-5-8.
11. Teterevskaya AD, Solodun VI, Boyarkin EV. [Influence of sowing dates on protein content and productivity of spring triticale varieties in Baykal region]. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 3(168). 9-14 p. doi:10.36718/1819-4036-2021-3-9-14.
12. Alenicheva AD, Shchuklina OA. [Efficiency of applying different doses of nitrogen fertilizer to spring triticale in Moscow region]. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka*. 2023; 3. 55-58 p. doi:10.31857/S2500262723030109.
13. Sherstobitov SV, Vizirskaya MM, Abramov NV. [Efficiency of foliar feeding of spring wheat in the northern

- forest-steppe of Western Siberia]. *Plodorodie*. 2024; 2(137). 11-16 p. doi:10.25680/S19948603.2024.137.03.
14. Fokin SA, Kurkova IV. [Effect of liquid fertilizer application on grain quality indicators of spring wheat of Dal SAU 1 variety]. *Agrarnaya nauka*. 2023; 9. 74-78 p. doi:10.32634/0869-8155-2023-374-9-74-78.
15. Kshnikatkina AN, Dolzhenko AN. [Efficiency of foliar feeding with microelement fertilizers on productivity and grain quality of spring triticale]. *Niva Povolzhya*. 2020; 1(54). 29-34 p. doi:10.36461/NP.2020.54.1.005.
16. Lyashkov IV, Biryukov KN, Krokhamal AV. [Application of foliar feeding on spring triticale in the conditions of the north-western zone of Rostov region]. *Zernobobovye i krupyanye kultury*. 2023; 2(46). 134-140 p. doi:10.24412/2309-348X-2023-2-134-140.
17. Vildflus IR, Kuleshova AA. [Economic efficiency of using new forms of macro- microfertilizers and growth regulators in the cultivation of spring wheat and spring triticale]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2023; 3. 94-97 p.
18. Davaev AV, Goldvarg BA, Kozyrchuk VI. [Productivity and quality of winter wheat when using liquid fertilizer IZAGRI in arid conditions of the south of Russia]. *Plodorodie*. 2020; 4(115). 38-41 p. doi:10.25680/S19948603.2020.115.11.
19. Davaev AV, Goldvarg BA, Kozyrchuk VI. [Efficiency of using liquid fertilizer Izagri in the cultivation of winter soft wheat in the central zone of the Republic of Kalmykia]. *Plodorodie*. 2022; 6(129). 19-22 p. doi:10.25680/S19948603.2022.129.05.
20. Shurganov BV, Davaev AV. [Influence of liquid microfertilizer Izagri on productivity and quality of winter wheat in the conditions of central agroclimatic zone of Kalmykia]. *Agrarnaya nauka*. 2019; 3. 38-41 p. doi:10.32634/0869-8155-2019-323-3-38-41.
21. Mikhaylova MYu. [Responsiveness of Nur corn hybrid to foliar feeding with urea and growth stimulator Izagri Vita in the soil and climatic conditions of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledelie*. 2024; 1(9). 32-37 p. doi:10.12737/2782-490X-2024-32-37.
22. Ponomarev SN, Ponomareva ML, Mannapova GS, Ilalova LV. [Productivity and protein content in grain of collection accessions of winter triticale]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2021; Vol.22. 4. 495-506 p. doi:10.30766/2072-9081.2021.22.4.495-506.

Conflict of interest

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

Authors:

Egorova Olga Alekseevna – post-graduate student, General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: egorova.615@mail.ru

Egorov Leonid Mikhaylovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Plant Growing and Fruit and Vegetable Growing Department, e-mail: leon-1978.1978@mail.ru

Safin Radik Ilyasovich - Doctor of Agricultural Sciences, Head of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: radiksaf2@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6276-5728>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА КАЛЛУСООБРАЗОВАНИЯ СОРТОВ ГРЕЧИХИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Л. Р. Климова, Г. И. Иматуллина, Ф. З. Кадырова

Реферат. Проведено сравнительное исследование морфогенетического потенциала четырех генотипов гречихи обыкновенной в культуре *in vitro*. Актуальность работы обусловлена необходимостью оптимизировать режим культивирования эксплантов *Fagopyrum esculentum* в условиях *in vitro* и оценить регенерационную активность и соматоклональную изменчивость генотипов для использования их в клеточной селекции. Впервые проведена комплексная оценка диплоидных сортов Яшлык, Батыр, Агата и тетраплоидной популяции Медовая по комплексу морфофизиологических признаков и регенеративной активности растительных тканей. Эксперимент выполнен на модифицированной агаризованной среде Мурасиге-Скуга с использованием гипокотильных эксплантов. Методология включала оценку каллусообразующей способности, морфологический анализ каллусных тканей, расчет индекса роста и удельной скорости роста. Установлены статистически значимые межсортные различия по всем изучаемым показателям. Сорт Батыр проявил максимальную регенерационную активность с частотой каллусообразования 81,0% и сформировал морфогенетически компетентные каллусные ткани плотной консистенции с меристематическими очагами. Сорт Медовая продемонстрировал наивысшую пролиферативную активность с индексом роста 1,23 и удельной скоростью роста 0,029 сут⁻¹. Выявлена обратная зависимость между морфогенетической компетентностью и интенсивностью пролиферации каллусных культур. Основной вывод исследования свидетельствует о генетической детерминированности изученных признаков и позволяет рекомендовать сорт Батыр для задач микроразмножения и получения соматоклональных вариантов, тогда как сорт Медовая представляет интерес для целей биомассного культивирования. Полученные результаты имеют практическое значение для селекционных программ, использующих клеточные технологии.

Ключевые слова: гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum*), каллусообразование, *in vitro*, индекс роста, удельная скорость роста.

Для цитирования: Климова Л.Р., Иматуллина Г.И., Кадырова Ф.З. Оценка потенциала каллусообразования сортов гречихи обыкновенной // Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2025. №3 (15). С. 20-25 <https://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-20-25>

Введение. Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench) утвердилась в статусе стратегически значимой псевдозерновой культуры, что обусловлено не только ее агроэкологической пластичностью, но и исключительной питательной ценностью производимого зерна. Биохимический профиль зерновок гречихи характеризуется высоким содержанием сбалансированного по аминокислотному составу белка, что делает ее незаменимым компонентом безглютеновых диет, а также уникальным комплексом фенольных соединений, главным образом рутина, обладающих доказанной антиоксидантной и противовоспалительной активностью [1, 2, 3]. Нутрицевтический потенциал культуры и ее роль в функциональном питании продолжают быть предметом интенсивного изучения [4], что, в свою очередь, обуславливает необходимость интенсификации селекционного процесса, направленного на повышение урожайности и улучшение качества плодов [5].

Между тем, традиционная селекция гречихи сталкивается с существенными методологическими ограничениями, кроющимися в биологических особенностях вида – гетеростилии, высокой степени самонесовместимости и низком коэффициенте размножения [6, 7]. Преодоление этих лимитирующих факторов видится в активном внедрении биотехнологических подходов, среди которых ключевое место занимает культура изолированных тканей и органов *in vitro*. Этот метод позволяет

осуществлять клональное микроразмножение ценных генотипов, индуцировать направленную генетическую изменчивость и проводить селекцию на клеточном уровне [8, 9].

История развития методов *in vitro* для гречихи берет начало с работ по регенерации растений из фрагментов семядолей [10]. Последующие исследования были сконцентрированы на изучении соматического эмбриогенеза и органогенеза в культурах различных эксплантов, таких как гипокотили [11, 12] и семядоли [13], однако достигнутые результаты часто характеризовались низкой воспроизводимостью и сильной генотипической зависимостью [6]. Фундаментальной проблемой остается недостаточная морфогенная компетентность каллусных тканей, требующая углубленного изучения их цитофизиологических особенностей для идентификации маркеров регенерационного потенциала [14].

Современный этап развития биотехнологии гречихи характеризуется поиском новых путей повышения эффективности морфогенеза. Перспективными направлениями являются использование природных элиситоров, в частности, экстрактов растений, для стимуляции дедифференцировки и регенерации [15], а также применение стресс-факторов, таких как ионы тяжелых металлов (меди, цинка), для индукции соматоклональной изменчивости с целью последующего отбора хозяйственно-ценных форм [8, 16]. Важным аспектом остается оптимизация условий

культивирования, включая гормональный баланс питательных сред, для усиления биосинтеза вторичных метаболитов, например, флавоноидов, в каллусных культурах [17]. Значительный прорыв связан с разработкой регенерационных протоколов, интегрированных с методами генетической трансформации, таких как система индукции «волосатых корней», что открывает возможности для целенаправленного редактирования генома [18]. Накопленный опыт, обобщенный в ряде обзоров и методических руководств [6, 18], свидетельствует о переходе от экспериментальных разработок к созданию новых генотипов для селекции. Однако, если методы регенерации в культуральных средах на других видах (*Solanum tuberosum*, *Fagopyrum tataricum* и др) изучены достаточно и позволяют решать прикладные аспекты селекции и семеноводства, то для *Fagopyrum esculentum* понадобилось адаптировать существующие технологии и разработать наиболее оптимальный режим культивирования в условиях *in vitro*.

Таким образом, несмотря на очевидный прогресс, задача разработки высокоэффективных и воспроизводимых биотехнологических протоколов для гречихи посевной, обеспечивающих стабильный морфогенез и регенерацию растений, сохраняет свою актуальность. Цель работы - разработать оптимальный режим культивирования в *in vitro* экспланты крупноплодной диплоидной и тетраплоидной гречихи селекции Татарского НИИСХ, и выявить генотипы с высокой способностью к каллусогенезу и регенерации для использования этого материала в клеточной селекции.

Условия, материалы и методы. Для проведения оценки каллусообразования в

in vitro были отобраны три генотипа диплоидной (Яшьлек, Батыр, Агата) и один генотип тетраплоидной (Медовая) гречихи обыкновенной созданных в Татарском НИИСХ.

Сорт Батыр – получен путем индивидуально-семейного отбора из гибридной комбинации Молва х Казанская 309. По морфологическим особенностям относится к краснострелцкому морфобиотипу.

Сорт Яшьлек – выведен многократным семейственно-групповым отбором из материалов селекционного питомника фасциированных форм. Популяция сформирована из растений с фасциациями зоны ветвления стебля.

Сорт Агата – выведен многократным семейственно-групповым отбором из питомника высокопродуктивных растений. Популяция состоит из растений с фасциациями зоны плодоношения стебля, имеющих крупные верхушечные соцветия.

Тетраплоидная популяция Медовая – получен естественным отбором на негативном фоне из сорта Эмка, имеет развитый габитус растения, высокую ветвистость, крупное зерно.

Для исследования были использованы плоды, полученные в один год при одинаковых условиях вегетационного периода, фракции 3,2-3,5 мм. При визуальной оценке плодов околоплодник был без повреждений.

Базовой средой для работы была выбрана агаризованная модифицированная среда Murashige-Skoog, которая широко применяется в биотехнологии растений благодаря сбалансированному составу макро- и микроэлементов (табл.1). Кислотность питательной среды была 5,6...5,7 единиц pH.

Таблица 1 – Состав питательной среды Murashige-Skoog, используемой в эксперименте

Компонент	Содержание, мг/л
Нитрат аммония (NH_4NO_3)	1650
Нитрат калия (KNO_3)	1900
Дигидрофосфат калия (KH_2PO_4)	170
Сульфат магния ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	370
Хлорид кальция ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	440
Сульфат марганца ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	24,1
Сульфат цинка ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	8,6
Борная кислота (H_3BO_3)	6,2
Йодид калия (KI)	0,83
Молибдат натрия ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0,025
Сульфат меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0,025
Хлорид кобальта ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	0,025
Хелат железа (FeNaEDTA)	27,8
Инозитол	100
Никотиновая кислота (PP)	0,5
Пиридоксин (B6)	0,5
Тиамин (B1)	0,1
Индолил-3-уксусной кислоты (ИУК)	0,2
6-бензиламинопури (БАП)	3,0
Кинетин	0,2
Глицин	2
Сахароза	30000
Агар	7000

Питательную среду готовили на средоварке марки Systec MediaPrep-10. После разлива в чашки Петри, проводят стерилизацию среды автоклавированием. Условия автоклавирования следующие: температурный режим 121°C, давление 1 атмосфера, время автоклавирования 20 минут. Далее чашки Петри для предотвращения конденсации охлаждали до 50°C, и затем герметизируют парафилом или пищевой пленкой.

Для проведения стерилизации питательной среды использовался автоклав марки Binder FD 115. Стерилизацию рабочего инструмента при проведении работ проводили при помощи спиртовой горелки.

Для проведения эксперимента использовали следующие лабораторные инструменты: Электронные лабораторные дозаторы, скальпели, пинцеты, ножницы, щипцы с тупыми или острыми концами длиной 160-200 мм.

Из лабораторной посуды использовали: мерные стаканы объемом 500 и 1000мл, чашки Петри, пробирки, контейнеры для временного хранения, автоклавируемые банки.

Экспериментальную работу проводили в ламинарном боксе, после чего экспланты помещали в ростовую комнату. Инкубация проводилась при +25°C и световом режиме 16/8.

Хранение стоковых растворов гормонов для предотвращения деградации проводилось в морозильных камерах при -20°C.

Стерилизация плодов проводилась по методу Барсуковой Е.Н.: зрелые плоды с перикарпием (плодовой оболочкой) помещали в концентрированную серную кислоту на 2 минуты, после чего трижды промывали в течение 5-10 минут стерильной дистиллированной водой, освобождали от перикарпия и пассировали на питательную безгормональную среду Мурасиге и Скуга для получения стерильных проростков [19].

Для получения каллуса были выбраны семидневные проростки, у которых был отделен

гипокотиль и пересажен на среду. Для проведения эксперимента использовали по 200 образцов каждого изучаемого генотипа. Экспланты культивировали в чашках Петри, размещая по 5 штук в каждой с последующим пассированием. Опыт проводили в четырехкратной биологической повторности. Для расчета индекса роста и удельной скорости роста использовались данные, полученные с четырех пассажей. Интенсивность роста каллусной культуры оценивали путем расчета индекса роста (ИРК) по формуле: $ИРК = (M_k - M_n) / M_n$, где M_n и M_k — начальная и конечная масса каллуса, соответственно. Удельную скорость роста (μ , сут^{-1}) каллусной ткани рассчитывали на 28-е сутки культивирования по формуле: $\mu = [\ln (M_2 / M_1)] / \Delta t$, где M_1 и M_2 — масса каллуса на начало эксперимента и на 28-е сутки соответственно, а $\Delta t = 28$ суток. Полученные в ходе исследований данные были обработаны с помощью пакета программ, входящих в состав Microsoft Excel (дисперсионный анализ).

Результаты и обсуждение. Одним из ключевых показателей, характеризующих морфогенетический потенциал изолированных тканей *in vitro*, является способность к образованию каллуса. Проведенный сравнительный анализ каллусогенного потенциала четырех сортов в условиях *in vitro*-культивирования выявил статистически значимые межсортные различия по показателю каллусообразующей способности (табл. 2). Наибольшей каллусогенной активностью характеризовался сорт «Батыр», у которого данный показатель достиг 81,0%. Сорта «Агата» (79,0%) и «Медовая» (74,5%) продемонстрировали средние значения, тогда как минимальная способность к образованию каллусной ткани была зафиксирована у сорта «Яшлык» (67,0%). Полученный разброс значений от 67,0% до 81,0% убедительно свидетельствует о генетической детерминированности данного признака.

Таблица 2 – Каллусообразующая способность различных сортов гречихи

Объект исследования	Изолировано гипокотилей на питательной среде <i>in Vitro</i> , шт	Образованно каллусов в среднем за четыре пассажа, шт	Каллусообразующая способность, %
Агата	200	158	79,0%
Яшлык	200	134	67,0%
Медовая	200	149	74,5%
Батыр	200	162	81,0%
НСР ₀₅	-	1,81	-

Культура каллусной ткани является модельной системой для оценки морфогенетического потенциала растений *in vitro*. Морфологические характеристики каллуса, такие как цвет и плотность, являются важными диагностическими признаками, позволяющими оценить физиологическое состояние культуры и ее способность к органогенезу. Проведенный морфологический анализ каллусных культур, инициированных из гипокотильных

эксплантов четырех сортов, выявил как общие черты, так и значимые различия (табл. 3).

Как следует из представленных данных, каллусные ткани сортов Агата, Яшлык и Медовая характеризовались сходным бурочеричным цветом и рыхлой, сильно обводненной структурой, склонной к распаду на мелкие агрегаты, что может свидетельствовать о низком тургоре клеток и ограниченной морфогенетической компетентности.

В отличие от них, каллус сорта Батыр также имел буро-коричневую пигментацию, но отличался плотной структурой с хорошо

выраженными меристематическими очагами, что коррелировало с активной регенерацией побегов.

Таблица 3 – Морфологическое описание полученных каллусов

Объект исследования	Морфологическое описание	
	цвет	плотность
Агата	Буро-коричневый	рыхлый обводненный, распадающийся на мелкие агрегаты
Яшьлек	Буро-коричневый	рыхлый обводненный каллус, распадающийся на мелкие агрегаты
Медовая	Буро-коричневый	рыхлый обводненный каллус, распадающийся на мелкие агрегаты
Батыр	Буро-коричневый	средней плотности с меристематическими очагами и регенерацией побегов

Для преодоления этих ограничений необходимо активное внедрение количественной оценки пролиферативной активности каллусных культур, поскольку кинетика ростовых процессов объективно отражает их физиологический статус и метаболический потенциал. Определение скорости накопления биомассы позволяет проводить сравнительный анализ морфогенетической компетентности различных генотипов и отбирать наиболее перспективные клеточные линии для целей микроразмножения, селекции и биосинтеза ценных вторичных метаболитов (табл. 4).

Для количественной оценки использовались ключевые параметры: индекс роста и удельная скорость роста (μ , сут⁻¹). Продолжительность пассажа для всех вариантов опыта составила 28 суток. Полученные данные

демонстрируют наличие статистически значимых межсортных различий по изучаемым показателям. Наибольшей пролиферативной активностью характеризовалась культура сорта «Медовая», у которой зафиксированы максимальные значения индекса роста (1,23) и удельной скорости роста (0,029 сут⁻¹). Каллусные ткани сортов «Агата» (индекс роста 0,96) и «Батыр» (0,90) показали умеренные, но достоверно более высокие результаты по сравнению с сортом «Яшьлек», который продемонстрировал минимальную интенсивность пролиферации (индекс роста 0,69, $\mu = 0,019$ сут⁻¹). Полученный диапазон значений удельной скорости роста соответствует характерному для культур клеток высших растений, что свидетельствует о корректности условий проведения эксперимента.

Таблица 4 – Параметры роста каллуса за цикл

Объект исследования	Начальная масса каллуса, г	Масса каллуса в конце пассажа, г	Продолжительность пассажа, сут	Индекс роста	Удельная скорость роста, сут ⁻¹
Агата	1,42	2,78	28	0,96	0,024
Яшьлек	1,24	2,10	28	0,69	0,019
Медовая	1,57	3,50	28	1,23	0,029
Батыр	1,51	2,87	28	0,90	0,023
НСР ₀₅	0,2	0,10	-	-	-

Выводы. Проведенное комплексное исследование позволило дать сравнительную оценку морфогенетического потенциала и ростовой активности каллусных культур четырех перспективных сортов. Полученные результаты убедительно демонстрируют наличие статистически значимой генетически детерминированной вариабельности по всем изученным показателям *in vitro*.

Анализ каллусообразующей способности гипокотильных эксплантов выявил сорта-лидеры по эффективности инициации каллусогенеза. Наибольший процент образования каллусной ткани показали сорта «Батыр» (81,0%) и «Агата» (79,0%), что свидетельствует об их высокой отзывчивости на условия культивирования. Значительно уступали им сорта «Медовая» (74,5%) и особенно «Яшьлек» (67,0%).

Ключевые различия были установлены в ходе морфологического анализа. Каллусы сортов «Агата», «Яшьлек» и «Медовая» имели сходную буро-коричневую пигментацию и рыхлую, склонную к распаду структуру, что указывает на их низкую морфогенетическую компетентность, несмотря на высокую частоту калусогенеза. Принципиально иная картина наблюдалась у сорта «Батыр», каллусная ткань которой, обладая аналогичной пигментацией, отличалась плотной консистенцией с активными меристематическими очагами и признаками регенерации побегов, что характеризует его как высокоперспективный генотип для микроразмножения и использования в клеточной селекции.

Оценка кинетики роста выявила иного лидера. Максимальные значения индекса роста (1,23) и удельной скорости роста

($\mu=0,04 \text{ сут}^{-1}$) были зафиксированы у тетраплоидного сорта «Медовая», что указывает на ее высокий пролиферативный потенциал. Сорта «Агата» и «Батыр»

показали умеренные, но достоверные темпы прироста биомассы, тогда как «Яшьлек» вновь продемонстрировал минимальные результаты.

Литература

1. Phytochemical and Pharmacological Profiles of Three Fagopyrum Buckwheats/ Jing R., Li H., Hu C. et al./ International Journal of Molecular Sciences. 2016. Vol.17. No. 4. P. 589 doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17040589>.
2. Nutritional profile, bioactive properties and potential health benefits of buckwheat: A review/ Sonawane, S., Shams, R., Dash, K., et al./ eFood. 2024. Vol. 5, No. 4. doi: <https://doi.org/10.1002/efd2.171>.
3. Morales D., Miguel M., Garcés-Rimón M. Pseudocereals: a novel source of biologically active peptides// Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 61(9). pp. 1537–1544. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761774>.
4. Is cytotoxicity a determinant of the different in vitro and in vivo effects of bioactives?/ Nunzio M. Di, Valli V., Tomás-Cobos L. et al./ BMC Complementary and Alternative Medicine. 2017. Vol. 17. P. 453. URL: <https://bmccomplementmedtherapies.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12906-017-1962-2> (дата обращения: 20.09.2025)
5. Кадырова Ф. З., Климова Л.Р., Кадырова Л.Р. Формирование качества плодов в процессе селекции гречихи// Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 4(4). С. 29-33. doi: 10.12737/2782-490X-2022-29-33.
6. Tomasiak A., Zhou M., Betekhtin A. Buckwheat in tissue culture research: current status and future perspectives// International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23(4). pp. 2298. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms23042298>
7. Суворова Г.Н., Соболева Г.В., Бобков С.В., Иконников А.В. Разработка и использование биотехнологических методов для создания новых форм растений зернобобовых и крупяных культур // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 2(2). С. 10–13.
8. Барсукова Е.Н., Клыков А.Г., Чайкина Е.Л. Селекция гречихи посевной с применением культуры in vitro // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5(194). С. 17–23. doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-17-23.
9. Барсукова Е.Н., Клыков А.Г., Чайкина Е.Л. Использование метода культуры ткани для создания новых форм Fagopyrum esculentum Moench // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 5. С. 3–6. DOI 10.31857/S2500-2627201953-6.
10. Plant regeneration from cotyledon tissues of common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench)/ Woo, S.H., Nair, A., Adachi, T. et al./ In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant. 2020. Vol. 36. pp. 358–361. doi: <https://doi.org/10.1007/s11627-000-0063-x>
11. Somatic Embryogenesis and Bud Formation on Cultured Fagopyrum esculentum/ Gumerova, E.A., Galeeva, E.I., Chuyenkova, S.A. et al./ Russian Journal of Plant Physiology. 2003. Vol. 50. pp. 640–645. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1025640107932>
12. Соматический эмбриогенез и геммогенез в культуре тканей гипокотилей Fagopyrum esculentum/ Е.А. Гумерова, Е.И. Галеева, С.А. Чуенкова и др. // Физиология растений. 2003. Т. 50. № 5. С. 716–721.
13. Efficient and rapid system of plant regeneration via protoplast cultures of Fagopyrum esculentum Moench./ Zaranek, M., Pérez-Pérez, R., Milewska-Hendel, A. et al./ Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2023. Vol. 154. pp. 673–687 doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02542-2>
14. Зинатуллина А.Е. Цитофизиологические особенности контрастных типов каллусов in vitro // Успехи современной биологии. 2020. Т. 140. № 2. С. 183–194. DOI 10.31857/S0042132420020040.
15. Borovaya S. A., Boginskaya N. G., Klykov A. G. Using plant extracts for the micropropagation of buckwheat// Vegetable Crops of Russia. 2023. No. 5. pp. 37-42. doi: 10.18619/2072-9146-2023-5-37-42.
16. Барсукова Е.Н., Клыков А.Г., Чайкина Е.Л. Селекционная оценка сортообразцов гречихи посевной (Fagopyrum esculentum Moench), полученных с использованием ионов меди и цинка // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 84–89. DOI 10.32634/0869-8155-2023-374-9-84-89.
17. Moumou Y., Trotin F., Dubois J. Influence of Culture Conditions on Polyphenol Production by Fagopyrum esculentum Tissue Cultures// Journal of Natural Products. 1992. Vol. 55. No. 1. pp. 33-38. doi: <https://doi.org/10.1021/np50079a004>
18. Callus Induction Followed by Regeneration and Hairy Root Induction in Common Buckwheat/ D.O. Omelchenko, E.S. Glagoleva, A.Y. Stepanovay, et al// Buckwheat. Methods in Molecular Biology. 2024. Vol. 2791. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3794-4_1
19. Способ размножения гречихи in vitro: пат. № 2538167 С1 Рос. Федерация № 2013135431/10/ Е. Н. Барсукова; заявл. 26.07.2013; опубл. 10.01.2015

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Климова Лилия Рафкатовна - младший научный сотрудник, e-mail: li21@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7333-2386>

Иматуллина Гульназ Илфатовна - младший научный сотрудник, e-mail: morozisummer@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-9647-0464>

ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия.

Кадырова Фануся Загитовна - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общего земледелия защиты растений и селекции, e-mail: fanusa51@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7093-3269>

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

ASSESSMENT OF CALLUS-FORMING POTENTIAL OF BUCKWHEAT VARIETIES

L. R. Klimova, G. I. Imatullina, F. Z. Kadyrova

Abstract. A comparative study of morphogenetic potential of four buckwheat genotypes in vitro was conducted. The relevance of the study is due to the need to optimize the in vitro cultivation of *Fagopyrum esculentum* explants and evaluate the regenerative activity and somaclonal variability of genotypes for use in cell selection. For the first time, a comprehensive assessment of Yashlek, Batyr and Agata diploid varieties and Medovaya tetraploid population was conducted for a set of morphophysiological features and regenerative activity of plant tissues. The experiment was performed on a modified Murashige-Skoog agar medium using hypocotyl explants. The methodology included an assessment of callus-forming capacity, morphological analysis of callus tissues and calculation of the growth index and specific growth rate. Statistically significant inter-varietal differences were identified for all studied indicators. Batyr variety showed maximum regenerative activity with a callus formation rate of 81.0% and formed morphogenetically competent callus tissues of a dense consistency with meristematic foci. Medovaya variety demonstrated the highest proliferative activity with a growth index of 1.23 and a specific growth rate of 0.029 days⁻¹. An inverse relationship was found between morphogenetic competence and the intensity of callus culture proliferation. The main conclusion of the study indicates the genetic determination of the studied traits and allows us to recommend Batyr variety for micropropagation and the production of somaclonal variants, while Medovaya variety is of interest for biomass cultivation. The obtained results have practical implications for breeding programs using cell-based technologies.

Key words: buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), callus formation, in vitro, growth index, specific growth rate.

For citation: Klimova L.R., Imatullina G.I., Kadyrova F.Z. Assessment of callus-forming potential of buckwheat varieties. *Agrobiotechnology and digital farming*. 2025; 3 (15). 20-25 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-20-25>

References

1. Jing R, Li H, Hu C. Phytochemical and pharmacological profiles of three fagopyrum buckwheats. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016; Vol.17. No.4. 589 p. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17040589>.
2. Sonawane S, Shams R, Dash K. Nutritional profile, bioactive properties and potential health benefits of buckwheat: a review. *eFood*. 2024; Vol.5. No.4. doi: <https://doi.org/10.1002/efd2.171>.
3. Morales D, Miguel M, Garcés-Rimón M. Pseudocereals: a novel source of biologically active peptides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021; Vol.61(9). 1537-1544 p. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761774>.
4. Nunzio MDi, Valli V, Tomas-Cobos L. Is cytotoxicity a determinant of the different in vitro and in vivo effects of bioactives? [Internet]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017; Vol.17. 453 p. [cited 2025, September 20]. Available from: <https://bmccomplementarymedtherapies.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12906-017-1962-2>
5. Kadyrova FZ, Klimova LR, Kadyrova LR. [Formation of fruit quality in the process of buckwheat breeding]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2022; 4(4). 29-33 p. doi: [10.12737/2782-490X-2022-29-33](https://doi.org/10.12737/2782-490X-2022-29-33).
6. Tomasiak A, Zhou M, Betekhtin A. Buckwheat in tissue culture research: current status and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; Vol.23(4). 2298 p. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms23042298>
7. Suvorova GN, Soboleva GV, Bobkov SV, Ikonnikov AV. [Development and use of biotechnological methods for creating new forms of grain legumes and cereal crops]. *Zernobobovye i krupyanye kultury*. 2012; 2(2). 10-13 p.
8. Barsukova EN, Klykov AG, Chaykina EL. [Breeding of common buckwheat using in vitro culture]. *Vestnik KrasGAU*. 2023; 5(194). 17-23 p. doi: [10.36718/1819-4036-2023-5-17-23](https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-17-23).
9. Barsukova EN, Klykov AG, Chaykina EL. [Using the tissue culture method to create new forms of *Fagopyrum esculentum* Moench]. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka*. 2019; 5. 3-6 p. DOI [10.31857/S2500-2627201953-6](https://doi.org/10.31857/S2500-2627201953-6).
10. Woo SH, Nair A, Adachi T. Plant regeneration from cotyledon tissues of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*. 2020; Vol.36. 358-361 p. doi: <https://doi.org/10.1007/s11627-000-0063-x>
11. Gumerova EA, Galeeva EI, Chuyenkova SA. Somatic embryogenesis and bud formation on cultured *Fagopyrum esculentum*. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2003; Vol.50. 640-645 p. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1025640107932>
12. Gumerova EA, Galeeva EI, Chuenkova SA. [Somatic embryogenesis and hemmogenesis in *Fagopyrum esculentum* Hypocotyl]. *Fiziologiya rasteniy*. 2003; Vol.50. 5. 716-721 p.
13. Zaranek M, Perez-Perez R, Milewska-Hendel A. Efficient and rapid system of plant regeneration via protoplast cultures of *Fagopyrum esculentum* Moench. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2023; Vol.154. 673-687 p. doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02542-2>
14. Zinatullina AE. [Cytophysiological features of contrasting calli types in vitro]. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2020; Vol.140. 2. 183-194 p. DOI [10.31857/S0042132420020040](https://doi.org/10.31857/S0042132420020040).
15. Borovaya SA, Boginskaya NG, Klykov AG. Using plant extracts for the micropropagation of buckwheat. *Vegetable Crops of Russia*. 2023; No.5. 37-42 p. doi: [10.18619/2072-9146-2023-5-37-42](https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-5-37-42).
16. Barsukova EN, Klykov AG, Chaykina EL. [Breeding evaluation of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) varieties obtained using copper and zinc ions]. *Agrarnaya nauka*. 2023; 9. 84-89 p. DOI [10.32634/0869-8155-2023-374-9-84-89](https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-84-89).
17. Moumou Y, Trotin F, Dubois J. Influence of culture conditions on polyphenol production by *Fagopyrum esculentum* tissue cultures. *Journal of Natural Products*. 1992; Vol.55. No.1. 33-38 p. doi: <https://doi.org/10.1021/np50079a004>
18. Omelchenko DO, Glagoleva ES, Stepanovau AY. Callus induction followed by regeneration and hairy root induction in common buckwheat. *Buckwheat. Methods in Molecular Biology*. 2024; Vol.2791. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3794-4_1
19. Barsukova EN. [Method for in vitro buckwheat propagation]. Patent No. 2538167 C1 Russian Federation No. 2013135431/10. Declared July 26, 2013; published January 10, 2015.

Conflict of interest

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

Authors:

Klimova Liliya Rafkatovna - junior researcher, e-mail: li21@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7333-2386>

Imatullina Gulnaz Ilfatovna - junior researcher, e-mail: morozisummer@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-9647-0464>

Tatar Research Institute of Agriculture of Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia.

Kadyrova Fanusya Zagitovna - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: fanusa51@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7093-3269>

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ
РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДКАМЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН****Д. Р. Сафина, В. А. Колесар, Р. И. Сафин**

Реферат. Приведены результаты исследования по оценке особенностей формирования урожая и содержанию белка в зерне у раннеспелых сортов сои различных селекционных центров. Исследования проводились в 2023-2024 годах на серой лесной почве в зоне Предкамья Республики Татарстан на территории агробиотехнопарка Казанского ГАУ. В качестве объектов исследований выступали одиннадцать сортов отечественной и зарубежной селекции (ЭН Аргента, Самер 3, СК Алекса, Василиса, Самер 2, Миляуша, Волжанка, Везелица, Вилана, ЕЦ Флора, Дуэт). Агроклиматические условия в годы проведения исследований отличались проявлением периодически засушливых явлений в период вегетации сои. При анализе биометрических показателей, было установлено, что на величину высоты растений в большей степени влияли сортовые особенности, тогда как на длину корня – агроклиматические условия года. Наиболее устойчивыми к корневым гнилям были сорта – Волжанка, Аэлита, ЕЦ Флора и СК Алекса. За годы исследований, наибольшая урожайность была получена у сортов – ЕЦ Флора, Дуэт и ЭН Аргента. Минимальные показатели вариабельности урожайности по годам исследований были при использовании сортов – Миляуша, ЕЦ Флора и ЭН Аргента. Максимальное содержание белка в зерне сои было у сорта Миляуша, несколько меньше у сортов – Волжанка и Везелица. По показателю выхода белка с 1 га посевов преимуществом обладали сорта – ЕЦ Флора, Волжанка и Миляуша. Сорт местной селекции – Миляуша, а также сорта – Волжанка, Везелица могут быть использованы в селекционных программах по повышению содержания белка в зерне сои для условий Предкамья Республики Татарстан. Сорта Дуэт, ЕЦ Флора и ЭН Аргента отличаются высокой урожайностью и стабильной продуктивностью (экологической пластичностью) и являются перспективными для возделывания в Предкамье Республики Татарстан.

Ключевые слова: экологическая пластичность, продуктивность, содержание белка, сорта, соя (*Glycine max* (L.) Merr.).

Для цитирования: Сафина Д.Р., Колесар В.А., Сафин Р.И. Оценка экологической пластичности и продуктивности различных сортов сои в условиях Предкамья Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 3(15). С. 26-31 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-26-31>

Введение. Культурная соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является одной из важнейших мировых продовольственных культур, что в первую очередь связано с уникальным химическим составом ее семян, которые являются ценным источником как белков, так и растительных масел [1, 2, 3]. Именно поэтому отмечается рост интереса к увеличению производства данной культуры во многих регионах мира и в Российской Федерации [4, 5, 6]. Мировой спрос на соевые бобы увеличивается с каждым годом, причем самый высокий уровень спроса наблюдается в Китае, который является крупнейшим импортером данной культуры [7, 8]. Кроме того, соевые бобы, как правило, обеспечивают высокий уровень рентабельности производства, в том числе за счет большей ценовой стабильности и более высоких закупочных цен по сравнению со многими другими сельскохозяйственными культурами [9].

Для Республики Татарстан развитие производства сои имеет важнейшее значение с учетом необходимости обеспечения растущей потребности в растительных белках и жирах как для населения, так и для животноводства [10, 11, 12]. Для успешного решения данной задачи возникает необходимость в разработке научно-обоснованных агротехнологий возделывания культур, адаптированных для условий различных агроклиматических

и производственных зон Республики Татарстан [13, 14]. Особое значение при разработке таких технологий отводится подбору максимально адаптированных для местных условий сортов сои, что предполагает проведение соответствующей оценки как отечественных, так и зарубежных генотипов культуры [15]. Вместе с тем, расширение ареала возделывания сои в мире и в России сталкивается с определенными сложностями, важнейшими из которых являются отмечаемые климатические изменения [16, 17], ведущие в том числе к увеличению частоты проявления абиотических стрессов, в первую очередь связанных с развитием недостатка влаги [18, 19].

Наибольшая потребность сои в воде наблюдается в фазы цветения и налива семян, однако именно дефицит воды в фазу формирования семян является наиболее критическим периодом для формирования урожая культуры [20, 21]. В ряде исследований отмечалось [22], что наибольшее снижение урожайности семян сои происходит при воздействии стрессовых факторов на ранней стадии образования бобов и, по сравнению со стрессом на стадии всходов и цветения. В связи с этим, возникает необходимость в подборе сортов сои, обладающих высокой засухоустойчивостью и способностью формировать стабильные урожаи в различных погодных условиях.

Целью работы было изучение особенностей формирования урожая у различных сортов сои для оценки их экологической пластичности и перспективности для использования в Предкамье Республики Татарстан.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились в 2023-2024 годах на серой лесной почве опытных полей ФГБУ ВО Казанский ГАУ. Погодные условия вегетации в годы исследований отличались проявлением периодически засушливых явлений, что отразилось на формировании урожая сои. В 2023 году величина ГТК составляла за период вегетации сои (май-сентябрь) составила 0,19 (особенно засушливыми были июнь (ГТК = 0,18) и сентябрь (ГТК = 0,1), тогда как в мае данный показатель был равен 1,42). В 2024 году ГТК за вегетацию был на уровне 0,27 (особенно низкими значения ГТК были в сентябре (0,1), июне (0,32) и в августе (0,71), тогда как в мае и июле величин ГТК была на уровне 2,90 и 1,11).

В качестве объектов исследований выступали следующие сорта сои раннеспелой группы – Дуэт, Везелица (Белгородский ГАУ), Самер 2, Самер 3 (Самарский ФИЦ РАН), СК Алекса (Соевый комплекс),

ЕЦ Флора, Василиса (Воронежский ГАУ), Волжанка (НПО Волгоград), Миляуша (Омский АНЦ, ФИЦ КазНЦ РАН), ЭН Аргента (ООО «ЭкоНива Семена»), Вилана (ФГБНУ ФНИЦ «ВНИИ Масличных культур имени В.С.Пустовойта»)

Общая площадь делянки в опытах составляла 37 м², учетная – 30 м² при трехкратной повторности. Агротехнологии возделывания сои соответствовали рекомендациями для Предкамья Республики Татарстан, использовалась схема сплошного посева с междурядьями 15 см. Под предпосевную культивацию вносилась азофоска (200 кг/га). Почва отличалась высоким и повышенным содержанием основных макроэлементов, низким – серы. Реакция почвенного раствора была близка к нейтральной (рН_{сол} = 6,1-6,3).

В ходе работы использовались стандартные методики биометрических исследований, фитосанитарного мониторинга, учета урожайности и оценки качества зерна, рекомендованные для сои [23].

Результаты и обсуждение. В качестве важнейших биометрических показателей, характеризующих рост и развитие растений выступают высота растений и длина главного корня (табл. 1).

Таблица 1 – Высота растений и максимальная длина главного корня у различных сортов сои (фаза формирования бобов), см, 2023-2024 года

Сорт	Высота растений, см		Длина корня, см	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Миляуша (стандарт)	40,5±1,0	45,1±2,3	9,5±0,7	22,0±1,0
Волжанка	64,0±2,0	76,0±3,1	14,5±0,7	26,0±1,4
Везелица	29,5±0,7	47,0±2,4	11,0±3,0	22,2±2,3
Вилана	34±1,3	62,0±3,0	14,0±0,1	24,4±2,3
ЕЦ Флора	32,5±3,0	44,0±3,0	13,0±1,1	23,5±2
Дуэт	45,0±7,0	44,2±2,3	16,0±4,1	23±2,2
ЭН Аргента	29,0±0,3	45,4±2,0	12,2±2,1	24,0±2
Самер 3	32,5±5,0	56,4±4,0	13,5±2,2	14,4±3,9
СК Алекса	25,5±5,0	35,2±3,1	17,1±4,2	15,2±2,3
Василиса	40,5±0,7	36,0±3,3	13,1±7,2	23,0±2,0
Самер 2	46,5±2,0	60,0±1,5	12,5±0,7	20,0±4,4
В среднем по сортам	38,1±10,9	50,1±12,2	13,3±2,1	21,6±3,7
Коэффициент вариации, %	28,7	24,4	16,0	17,1

Результаты оценки показали, что в условиях 2024 года средняя высота растений и длина главного корня были несколько выше, чем в 2023 году. При этом, отмечаются различия по вариабельности данных биометрических параметров – наиболее сильно изменялась величина высоты растений, тогда как показатель длины корня был более стабильным для всех сортов сои, которые изучались в опыте. При сравнении сортов, было установлено, что во все годы исследований наибольшая высота растений была у сорта Волжанка, а минимальные показатели – у сорта СК Алекса. При оценке с использованием дисперсионного анализа вклада сорта и условий года в изменения высота растений сои было установлено, что надолу сорта приходится 63,8%, а на условия года – 22,7%.

Для величины максимальной длины главного корня, в условиях 2023 года максимальные значения были у сорта СК Алекса, а в 2024 году – у сорта Волжанка, тогда как минимальные показатели в первый год исследований были у сорта Миляуша, а во второй – у сорта Самер 3. Соответственно, вклад сорта в варьирование длины главного корня составил 12,6%, а условий года – 67,8%. Таким образом, было установлено, что на величину высоты растений в большей степени влияли (сортотипные особенности, тогда как на длину корня – погодные условия года. Среди наиболее вредоносных и распространенных болезней сои в Республике Татарстан, выделяются корневые гнили, поэтому при оценке сортов был проведен учет данного микоза (табл. 2).

АГРОНОМИЯ

Таблица 2 – Развитие корневых гнилей у различных сортов сои (фаза бутонизация-цветение), %, 2023-2024 года

Сорт	Год исследований		Среднее за 2 года
	2023	2024	
Миляуша (стандарт)	0,33	0,06	0,20
Волжанка	0	0,04	0,02
Везелица	0	0,18	0,09
Вилана	0	0,04	0,02
ЕЦ Флора	0	0,04	0,02
Дуэт	0	0,26	0,13
ЭН Аргента	0	0,14	0,07
Самер 3	0	0,16	0,08
СК Алекса	0	0,04	0,02
Василиса	0,33*	0,06*	0,20
Самер 2	0,33*	0,14	0,24
В среднем по сортам	0,09	0,11	0,09

Примечание: * – данные не отличаются от значений для стандарта при использовании критерия Стьюдента при $P=0,05$

В условиях 2023 года только три сорта сои (Миляуша, Василиса и Самер 2) поражались корневыми гнилями, тогда как в 2024 году все сорта, в той или иной степени, были заражены данным микозом. Среди сортов, наименее поражаемых корневыми гнилями (во все годы

опытов) – Волжанка, Вилана, ЕЦ Флора и СК Алекса. Наиболее сильно корневыми гнилями поражались растения сорта Самер 2.

В годы исследований отмечались различия между сортами по урожайности и вариабельности данного показателя (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность различных сортов сои, т/га, 2023-2024 года

Сорт	Год исследований		Средняя за 2 года	Коэффициент вариации, %
	2023	2024		
Миляуша (стандарт)	0,67	0,79	0,73	11,6
Волжанка	0,64	1,05	0,85	34,3
Везелица	1,01	0,39	0,70	62,6
Вилана	1,26	0,40	0,83	73,3
ЕЦ Флора	1,20	0,95	1,08	16,4
Дуэт	0,57	1,33	0,95	56,6
ЭН Аргента	0,78	1,00	0,89	17,5
Самер 3	0,39	0,74	0,57	43,8
СК Алекса	0,67	0,43	0,55	30,9
Василиса	1,24	0,36	0,80	77,8
Самер 2	0,84	0,40	0,62	50,2
В среднем по сортам	0,84	0,71	0,78	
НСР ₀₅	0,03	0,02		

Отмечаемые в годы исследований засушливые явления негативно отразились на урожайности всех сортов сои. В целом, в 2023 году средняя урожайность по всем изучаемым сортам, была выше, чем в 2024 году. Однако у сортов Дуэт, Волжанка, ЭН Аргента, Самер 3, напротив, отмечалась противоположная тенденция, т.е. в 2024 году, показатели урожайности превышали значения для предыдущего года. В среднем за годы исследований, максимальная урожайность была у сортов – ЕЦ Флора, Дуэт и ЭН Аргента. Для оценки стабильности (экологической пластичности) урожайности сорта использовался показатель коэффициента вариации. Минимальные показатели вариабельности урожайности были при использовании сортов Миляуша, ЕЦ Флора и ЭН Аргента.

При производстве сои особое внимание уделяется получению белка, поэтому для

оценки сортов определялось его содержание в зерне и выход протеина с урожаем (табл. 4).

Засушливые условия в годы исследований, оказали различное влияние на содержание белка в зерне у разных сортов сои. Так, у сортов Вилана, Дуэт, ЭН Аргента, Василиса, содержание белка было ниже 30%, тогда как у сортов Миляуша, Волжанка и Везелица показатели были на уровне 35,11-42,02%. Различия сортов сои по накоплению в зерне белка в условиях засушливого вегетационного периода, может быть связано как с сортовыми особенностями, так и с различиями в использовании почвенного азота растениями в условиях острой засухи. Кроме того, почвы опытного участка отличаются низким содержанием серы, которая также в условиях почвенной засухи, может по разному поглощаться различными сортами сои.

Таблица 4 – Содержание белка в зерне (%) и выход протеина с 1 га с урожаем (кг/га), 2023-2024 года

Сорт	Содержание белка в зерне, %	Выход белка с 1 га, кг	Отклонение от стандарта, кг/га
Миляуша (стандарт)	42,02	306,7	
Волжанка	37,62	319,8	13,1
Везелица	35,11	245,8	-60,9
Вилана	28,96	240,4	-66,3
ЕЦ Флора	32,89	355,2	48,5
Дуэт	28,04	266,4	-40,3
ЭН Аргента	27,93	248,6	-58,1
Самер 3	33,63	191,7	-115,0
СК Алекса	33,80	185,9	-120,8
Василиса	25,82	206,6	-100,1
Самер 2	31,99	198,3	-108,4
В среднем по сортам	32,53	306,7	1
НСР ₀₅	1,32		

При сравнении выхода белка с 1 га посевов, наибольший его сбор обеспечили сорта – ЕЦ Флора, Волжанка и Миляуша. У остальных сортов, выход белка с 1 га был ниже показателей чем у стандартного сорта.

Выводы. Проведенные исследования показали, что в условиях двух засушливых вегетационных периодов, с точки зрения урожайности и его стабильности (высокой экологической пластичности) преимущественно обладали сорта ЕЦ Флора, Дуэт и ЭН Аргента. Причем сорт ЕЦ Флора обеспечил и максимальный сбор белка (355,2 кг) с урожаем с 1 га посевов.

По содержанию в зерне белка выделились сорта Миляуша, Волжанка и Везелица, у которых значения превышали уровень 35%. Местный сорт Миляуша в засушливых условиях обеспечил наибольшее (42,02%) накопления белка в зерне.

Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации набора сортов при выращивании сои на богаре в Предкамье Республики Татарстан и при подборе исходного материала для селекционных программ для данной зоны.

Литература

1. Применение сои и продуктов ее переработки в перерабатывающей и пищевой промышленности / Н. А. Березина, Е. В. Хмелева, О. В. Евдокимова, Л. А. Самофалова // Биология в сельском хозяйстве. 2023. № 3(40). С. 25-37.
2. Ананьева Т. В., Серебрякова О. В. Тенденции производства сои в мире и России: сравнительный анализ // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 2. С. 80-86. doi:10.53859/02352451_2025_39_2_80.
3. Синеговский М. О. Возделывание сои в России в современных условиях // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 5. С. 11-16. doi: 10.31857/S2500208224050037.
4. Клычова Г. С., Цыпин А. П., Валиев А. Р. Перспективы развития рынка сои и его значимость для Российской экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 128-134. doi:10.12737/2073-0462-2021-128-134.
5. Козлова Е. И., Новак М. А., Яндю В. В. Региональные аспекты развития рынка сои на современном этапе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 1(76). С. 213-220. doi:10.53914/issn2071-2243_2023_1_213.
6. Полухин А. А., Зубарев К. Ю. Развитие органического земледелия в Российской Федерации и рентабельность производства органической сои // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 6. С. 44-49. doi:10.53859/02352451_2023_37_6_44.
7. Синеговский М. О. Перспективы производства сои в Дальневосточном Федеральном округе // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 13-16. doi: 10.30850/vrnp/2020/1/13-16.
8. Векленко В. И., Дадашев Б. А. Производство соевого масла в мире и России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 192-197.
9. Дегтярева Е. Д. Организационно-экономические модели развития селекции сои // АПК: экономика, управление. 2025. № 3. С. 135-140. doi:10.33305/253-135.
10. Краснов А. В., Смирнов С. Г., Нигматзянов А. Р. Производство сои в Республике Татарстан // Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной памяти Р. Г. Гареева. Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2023. С. 193-195. doi:10.37071/conferencearticle_65817336725257.32020736.
11. Фадеева А. Н., Тагиров М. Ш. Соя в Татарстане. Казань: Фолиант, 2016. 32 с.
12. Фадеева А. Н., Тагиров М. Ш. Перспективы возделывания сои в Татарстане / А. Н. Фадеева, М. Ш. Тагиров // Нива Татарстана. 2015. № 1. С. 7-8.
13. Нафиков М. М., Смирнов С. Г. Формирование урожая сои в зависимости от агротехнических факторов в Татарстане // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата: Сборник материалов IV международной научно-практической конференции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», Саратов, 21–22 марта 2024 года. Саратов: ООО "Медиамир", 2024. С. 309-314.
14. Особенности применения способов обработки почвы при возделывании сои в лесостепной зоне / М. М. Нафиков, С. Г. Смирнов, А. В. Краснов, Л. Г. Шашкаров // Аграрная наука. 2024. № 4. С. 70-74. doi:10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74.

15. Экологическое сортоиспытание сои в Республике Татарстан / К. Д. Шурхаева, А. Т. Хуснутдинова, Т. Н. Абросимова и др. // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 4(12). С. 43-51. doi:10.12737/2782-490X-2024-43-51.
16. Wang H, Guohui S, Zizhong S, Xiangdong H. Effects of climate and price on soybean production: Empirical analysis based on panel data of 116 prefecture-level Chinese cities. PLoS One. 2023 Mar 24;18(3):e0273887. doi:10.1371/journal.pone.0273887.
17. Goulart H.M.D., van der Wiel K., Folberth C., Boere E., van den Hurk B. Increase of simultaneous soybean failures due to climate change //Earth'sFuture, 2023. 11,e2022EF003106. doi:10.1029/2022EF003106
18. 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.
19. Изменения климата на территории Республики Татарстан / Ю. П. Переведенцев, К. М. Шанталинский, Н. А. Мирсаева и др. // Географический вестник. 2024. № 1(68). С. 103-112. doi:10.17072/2079-7877-2024-1-103-112.
20. Iqbal Z, Iqbal MS, Hashem A, Abd Allah EF, Ansari MI. Plant Defense Responses to Biotic Stress and Its Interplay With Fluctuating Dark/Light Conditions. //Front Plant Sci. 2021 Mar 4;12:631810. doi:10.3389/fpls.2021.631810.
21. Соя. Биология и технология возделывания/В. М. Лукомец, В. Ф. Баранов, У. Т. Корреа [и др.]. Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2005. 433 с.
22. Paes de Melo, B.; Carpinetti, P.d.A.; Fraga, O.T.; Rodrigues-Silva, P.L.; Fioresi, V.S.; de Camargos, L.F.; Ferreira, M.F.d.S. Abiotic Stresses in Plants and Their Markers: A Practice View of Plant Stress Responses and Programmed Cell Death Mechanisms //Plants. 2022.11, 1100. doi:10.3390/plants11091100
23. Методика проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами (Сообщение 1. Исследования в опытах с соей) / В. М. Лукомец, Н. М. Тишков, М. В. Трунова и др. // Масличные культуры. 2023. № 1(193). С. 33-52. doi:10.25230/2412-608X-2023-1-193-33-52.

Конфликт интересов

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

Сведения об авторах:

Сафина Диана Радиковна - аспирант кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: safdia@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0950-7989>

Колесар Валерия Александровна - доцент кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: klerochka@gmail.com

Сафин Радик Ильясович - 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, Казань, Россия.

EVALUATION OF ECOLOGICAL PLASTICITY AND PRODUCTIVITY OF DIFFERENT SOYBEAN VARIETIES IN KAMA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

D. R. Safina, V. A. Kolesar, R. I. Safin

Abstract. The article presents the results of a study to evaluating of yield formation characteristics and grain protein content in early-maturing soybean varieties from various breeding centers. The studies were conducted in 2023-2024 on gray forest soil in Kama region of the Republic of Tatarstan on the territory of Agrobiotechnopark of Kazan State Agrarian University. Eleven domestic and foreign varieties (EN Argenta, Samer 3, SK Aleksa, Vasilisa, Samer 2, Milyausha, Volzhanka, Vezelitsa, Vilana, ETs Flora, Duet) served as subjects of study. Agroclimatic conditions during the study years were characterized by periodic droughts during the soybean growing season. Analysis of biometric parameters revealed that plant height was primarily influenced by varietal characteristics, while root length was influenced by the agroclimatic conditions of the year. The following varieties were most resistant to root rot: Volzhanka, Aelita, ETs Flora, and SK Aleksa. Over the years of study the highest yields were obtained with the ETs Flora, Duet and EN Argenta varieties. The lowest yield variability across years was observed with Milyausha, ETs Flora and EN Argenta varieties. Milyausha variety had the highest protein content in soybean grain, while Volzhanka and Vezelitsa had slightly lower protein content. ETs Flora, Volzhanka, and Milyausha varieties demonstrated the highest protein yield in terms of protein yield per hectare of crop. The locally bred variety Milyausha, as well as the varieties Volzhanka and Vezelitsa, can be used in breeding programs to increase the protein content of soybean grains for the conditions of Kama region of the Republic of Tatarstan. Duet, ETs Flora and EN Argenta varieties are characterized by high yields and stable productivity (ecological plasticity) and are promising for cultivation in Kama region of the Republic of Tatarstan.

Key words: ecological plasticity, productivity, protein content, varieties, soybean (*Glycine max* (L.) Merr.).

For citation: Safina D.R., Kolesar V.A., Safin R.I. Evaluation of ecological plasticity and productivity of different soybean varieties in Kama region of the Republic of Tatarstan. Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 3(15). 26-31 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-26-31>

References

1. Berezina NA, Khmeleva EV, Evdokimova OV, Samofalova LA. [Use of soybeans and their processed products in the processing and food industry]. Biologiya v selskom khozyaystve. 2023; 3(40). 25-37 p.
2. Ananeva TV, Serebryakova OV. [Soybean production trends in the world and in Russia: a comparative analysis]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2025; Vol.39. 2. 80-86 p. doi:10.53859/02352451_2025_39_2_80.
3. Sinegovskiy MO. [Soybean cultivation in Russia under modern conditions]. Vestnik rossiyской selskokhozyaystvennoy nauki. 2024; 5. 11-16 p. doi: 10.31857/S2500208224050037.
4. Klychova GS, Tsypin AP, Valiev AR. [Prospects for the development of soybean market and its importance for the Russian economy]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3(63). 128-134 p. doi:10.12737/2073-0462-2021-128-134.
5. Kozlova EI, Novak MA, Yando VV. [Regional aspects of soybean market development at the current stage]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.16. 1(76). 213-220 p. doi:10.53914/issn2071-2243_2023_1_213.

6. Polukhin AA, Zubarev KYu. [Development of organic farming in the Russian Federation and profitability of organic soybean production]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023; Vol.37. 6. 44-49 p. doi:10.53859/02352451_2023_37_6_44.
7. Sinegovskiy MO. [Prospects for soybean production in the Far Eastern Federal District]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2020; 1. 13-16 p. doi: 10.30850/vrsn/2020/1/13-16.
8. Veklenko VI, Dadashev BA. [Soybean oil production in the world and in Russia]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2024; 2. 192-197 p.
9. Degtyareva ED. [Organizational and economic models for the development of soybean selection]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2025; 3. 135-140 p. doi:10.33305/253-135.
10. Krasnov AV, Smirnov SG, Nigmatzyanov AR. [Soybean production in the Republic of Tatarstan]. *Materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati R.G. Gareeva*. Kazan: Akademiya nauk Respubliki Tatarstan. 2023; 193-195 p. doi:10.37071/conferencearticle_65817336725257.32020736.
11. Fadeeva AN, Tagirov MSh. *Soya v Tatarstane*. [Soybean in Tatarstan]. Kazan: Foliant. 2016; 32 p.
12. Fadeeva AN, Tagirov MSh. [Prospects for soybean cultivation in Tatarstan]. *Niva Tatarstana*. 2015; 1. 7-8 p.
13. Nafikov MM, Smirnov SG. [Formation of soybean yield depending on agrotechnical factors in Tatarstan. Scientific support for sustainable development of agro-industrial complex in the conditions of climate aridization]. *Sbornik materialov IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii FGBNU RosNIISK "Rossorgo"*, Saratov, 21-22 marta 2024 goda. Saratov: OOO Mediamir. 2024; 309-314 p.
14. Nafikov MM, Smirnov SG, Krasnov AV, Shashkarov LG. [Features of soil cultivation methods application in soybean cultivation in the forest-steppe zone]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 4. 70-74 p. doi:10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74.
15. Shurkhaeva KD, Khusnutdinova AT, Abrosimova TN. [Ecological testing of soybean varieties in the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledelie*. 2024; 4(12). 43-51 p. doi:10.12737/2782-490X-2024-43-51.
16. Wang H, Guohui S, Zizhong S, Xiangdong H. Effects of climate and price on soybean production: Empirical analysis based on panel data of 116 prefecture-level Chinese cities. *PLoS One*. 2023 Mar 24; 18(3): e0273887. journal.pone.0273887.
17. Goulart HMD, van der Wiel K, Folberth C, Boere E, van den Hurk B. Increase of simultaneous soybean failures due to climate change. *Earth's Future*. 2023; 11. e2022EF003106. doi:10.1029/2022EF003106
18. Shaytanov OL, Nizamov RM, Zakharova EI. [Assessing 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.
19. Perevedentsev YuP, Shantalinskiy KM, Mirsaeva NA. [Climate change in the Republic of Tatarstan]. *Geograficheskii vestnik*. 2024; 1(68). 103-112 p. doi:10.17072/2079-7877-2024-1-103-112.
20. Iqbal Z, Iqbal MS, Hashem A, Abd Allah EF, Ansari MI. Plant defense responses to biotic stress and its interplay with fluctuating dark/light conditions. *Front Plant Sci*. 2021 Mar.4; 12. 631810 p. doi:10.3389/fpls.2021.631810.
21. Lukomets VM, Baranov VF, Korrea UT. *Soya. Biologiya i tekhnologiya vozdel'yvaniya*. [Soybean. Biology and Technology of Cultivation]. Krasnodar: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut maslichnykh kultur im. V.S. Pustovoita. 2005; 433 p.
22. Paes de Melo B, Carpinetti PdA, Fraga OT, Rodrigues-Silva PL, Fioresi VS, de Camargos LF, Ferreira MFdS. Abiotic stresses in plants and their markers: a practice view of plant stress responses and programmed cell death mechanisms. *Plants*. 2022; 11. 1100 p. doi:10.3390/plants11091100
23. Lukomets VM, Tishkov NM, Trunova MV. [Methodology for conducting agrotechnical research in experiments with oilseed crops (communication 1. research in experiments with soybeans)]. *Maslichnye kultury*. 2023; 1(193). 33-52 p. doi:10.25230/2412-608X-2023-1-193-33-52.

Conflict of interest

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

Authors:

Safina Diana Radikovna – post-graduate student of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: safdia@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0950-7989>
 Kolesar Valeriya Aleksandrovna - Associate Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: klerochka@gmail.com
 Safin Radik Ilyasovich - Doctor of Agricultural Sciences, Head of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: radiksaf2@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6276-5728>
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ БИОАГЕНТОВ И РАСТИТЕЛЬНОГО АДАПТОГЕНА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И МАСЛИЧНОСТЬ ЯРОВОГО РАПСА НА ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЧЕРНОЗЕМЕ И СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ**С. Р. Сулейманов, Р. М. Низамов**

Реферат. В статье представлены результаты полевых опытов 2017-2019 годов, проведенных на двух типах почв Республики Татарстан (выщелоченный чернозем и серая лесная почва) для оценки влияния комбинированного применения биоагентов на основе бактерий *Bacillus spp.* (RECB-95 В и RECB-50 В) и растительного адаптогена (вытяжка из проростков проса) на продуктивность ярового рапса сорта Гедемин. Исследование включало предпосевную обработку семян и некорневую подкормку вегетирующих растений в фазе 3-4 пар листьев. Установлено, что комплексное применение препаратов значительно улучшило элементы структуры урожая: количество продуктивных стручков увеличилось до 40 шт./растение на черноземе и 37 шт./растение на серой лесной почве, число семян в стручке возросло до 27 и 23 соответственно, а количество непродуктивных стручков снизилось до 2 шт./растение. Максимальная прибавка урожайности достигнута в варианте RECB-50 В с адаптогеном: 1,05 т/га (54,9%) на черноземе и 0,70 т/га (53,8%) на серой лесной почве. Валовый сбор масла увеличился до 1246,1 кг/га (+57,2%) и 894,0 кг/га (+47,5%) соответственно. Выявлен синергетический эффект между комплексом штаммов *Bacillus* и биологически активными веществами адаптогена, что особенно выражено проявилось на менее плодородной серой лесной почве. Относительные прибавки урожая на обоих типах почв оказались сопоставимыми, что свидетельствует о высокой эффективности биопрепаратов в стрессовых условиях. Основным механизмом действия изучаемых приемов является стимуляция ростовых процессов и формирования урожая семян без кардинального изменения их биохимического состава. Результаты демонстрируют перспективность комбинированного использования биоагентов и адаптогенов в технологиях возделывания ярового рапса.

Ключевые слова: яровой рапс (*Brassica napus* L.), биоагенты, растительный адаптоген, продуктивность, масличность, выщелоченный чернозем, серая лесная почва, RECB-50 В.

Для цитирования: Сулейманов С.Р., Низамов Р.М. Влияние комбинированного применения биоагентов и растительного адаптогена на продуктивность и масличность ярового рапса на выщелоченном черноземе и серой лесной почве // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. №3 (15). С. 32-39 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-32-39>

Введение. Рапс яровой (*Brassica napus* L.) является одной из важнейших масличных культур мирового земледелия, что обусловлено высоким содержанием жира в его семенах и универсальностью использования получаемого растительного масла [1, 2]. В Российской Федерации данная культура играет ключевую роль в импортозамещении и наращивании производства растительного белка и масла, а также в укреплении кормовой базы животноводства [3, 4]. Однако потенциал продуктивности ярового рапса в основных зонах его возделывания, в частности в северной части Среднего Поволжья, реализуется далеко не полностью, а величина урожайности остается нестабильной и, как правило, невысокой – в пределах 1,0-1,8 т/га [5]. Низкая и неустойчивая урожайность культуры связана с ее высокой чувствительностью к комплексу абиотических (засуха, дефицит питания) и биотических (болезни, вредители) стрессовых факторов, особенно в критические периоды роста и развития [6, 7].

Продуктивность рапса в значительной степени детерминирована такими структурными элементами урожая, как количество продуктивных стручков на растении, число семян в стручке и доля непродуктивных стручков. Формирование этих элементов представляет собой сложный физиолого-биохимический процесс, зависящий как от генетических

особенностей сорта, так и от условий окружающей среды, среди которых тип почвы, ее плодородие и обеспеченность влагой выступают ключевыми модифицирующими факторами [8, 9]. В связи с этим, поиск и внедрение эффективных и экологически безопасных приемов, направленных на оптимизацию процессов формирования репродуктивных органов рапса и повышение его стрессоустойчивости, представляет собой актуальную задачу современного адаптивного растениеводства [10].

Одним из наиболее перспективных направлений в решении данной задачи является использование микробиологических препаратов (биоагентов) на основе ризобактерий рода *Bacillus*, способных стимулировать рост растений, индуцировать системную резистентность и улучшать минеральное питание [11, 12]. Другим современным трендом является применение растительных адаптогенов – комплексов биологически активных веществ, выделенных из растений-адаптогенов, которые способны неспецифически повышать устойчивость культур к широкому спектру стрессоров [13]. В настоящее время особый интерес вызывает изучение синергетических эффектов от совместного применения биоагентов и адаптогенов, что может привести к значительному усилению положительного действия на

продукционный процесс [14, 15]. Однако влияние таких комплексных обработок на формирование элементов структуры урожая, урожайность и качество семян ярового рапса в зависимости от типа почвы остается малоизученным.

Целью настоящих исследований явилась оценка влияния предпосевной обработки семян и некорневой подкормки вегетирующих растений биоагентами на основе *Bacillus spp.* и растительного адаптогена (вытяжка из проростков проса) на продуктивность, масличность и валовый сбор масла ярового рапса сорта Гедемин в условиях выщелоченного чернозема и серой лесной почвы.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучить влияние различных схем обработки (химические, биологические, комбинированные) на элементы структуры урожая ярового рапса (количество продуктивных и непродуктивных стручков, число семян в стручке);
- оценить воздействие применяемых препаратов и их комбинаций на урожайность семян рапса;
- определить влияние изучаемых приемов на содержание жира в семенах и расчетный валовый сбор растительного масла.
- провести сравнительный анализ эффективности технологических приемов на двух контрастных по плодородию типах почв.

Условия, материалы и методы.

Опыты по изучению отзывчивости сорта ярового рапса Белорусской селекции Гедемин на комбинированное применение биоагентов и растительного адаптогена проводились в 2017-2019 годах на двух типах почв – серой лесной (Предкамская зона) и выщелоченного чернозема (Закамская зона) Республики Татарстан.

В исследованиях были использованы следующие штаммы микроорганизмов:

- RECB-95 В (*Bacillus subtilis*);
- RECB-50 В (*Bacillus spp.*).

Обработка семян вышесказанными биоагентами проводилась в день посева, а некорневая подкормка – в фазе 3-4-х пар настоящих листьев ярового рапса.

В качестве адаптогена была использована вытяжка из проростков семян проса.

Почва участка, на котором располагался первый опыт – светло-серая лесная, содержание в пахотном слое гумуса высокое (> 3,0%), подвижного фосфора (> 250 мг/кг) очень высокое, обменного калия (121-170 мг/кг) повышенное, обладала нейтральной реакцией среды (рН 6,1-7,0). Почва второго опытного участка – выщелоченный чернозем. Содержание гумуса составило 5% (по Тюрину), подвижного фосфора – 250 и обменного калия 147 мг/кг почвы (по Чирикову), рН солевой вытяжки – 6,4-6,5.

Погодные условия за годы проведения исследований представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Количество осадков, выпавших в годы проведения исследований, мм

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	За май-август
Среднемноголетние	36	62	59	59	216
2017	32	63	93	76	264
В % к среднемноголетним	88	101	158	129	122,2
2018	21,8	34,4	52	14	122,2
В % к среднемноголетним	60	55	88	24	56,5
2019	55,9	60,7	100	34	250,6
В % к среднемноголетним	155	98	169	58	116,0

Таблица 2 – Среднемесячная температура воздуха вегетационных периодов, °С

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	За май-август
Среднемноголетние	13,0	16,8	19,9	17,0	16,6
2017	13,4	16,3	20,5	19,9	17,5
В % к среднемноголетним	103	97	103	117	105
2018	15,3	16,9	21,3	17,7	17,8
В % к среднемноголетним	118	101	107	104	107
2019	16	18,8	23,1	19,2	19,2
В % к среднемноголетним	123	112	116	113	115

Результаты и обсуждение. Продуктивность ярового рапса в значительной степени зависит от комплекса факторов, среди которых структурные элементы урожая – количество продуктивных стручков на растении, число семян в стручке и доля непродуктивных стручков – выступают прямыми детерминантами конечной урожайности семян [16, 17].

Формирование этих элементов представляет собой сложный физиолого-биохимический процесс, подверженный влиянию как генетических особенностей сорта, так и условий окружающей среды, включая тип почвы, обеспеченность влагой и элементами питания, а также воздействие стрессовых факторов биотической и абиотической природы (табл. 3).

Таблица 3 – Структурные элементы урожая ярового рапса сорта Гедемин (2017-2019 года)

Вариант	Выщелоченный чернозем			Серая лесная почва		
	кол-во продуктивных стручков, шт./раст.	кол-во непродуктивных стручков, шт./раст.	кол-во семян в стручке, шт.	кол-во продуктивных стручков, шт./раст.	кол-во непродуктивных стручков, шт./раст.	кол-во семян в стручке, шт.
Контроль	30	6	22	19	9	19
Круйзер, 15,0 л/т	30	5	23	25	5	19
Ризоплан, 1,0 л/т + Ризоплан, 1,0 л/га	31	4	23	27	5	20
RECB-95 В, 2,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га	33	4	24	28	4	21
RECB-50 В, 2,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га	34	4	24	28	4	21
RECB-95 В, 2,0 л/т + адаптоген, 1,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га + адаптоген, 1,0 л/га	38	2	26	34	3	22
RECB-50 В, 2,0 л/т + адаптоген, 1,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га + адаптоген, 1,0 л/га	40	2	27	37	2	23
Круйзер, 15,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га	34	3	25	30	3	22
Круйзер, 15,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га	34	3	25	31	3	22

Проведенный анализ данных (табл. 3) по структурным элементам урожая ярового рапса сорта Гедемин за трехлетний период (2017-2019 года) на двух типах почв – выщелоченном черноземе и серой лесной почве – выявил существенное влияние как типа почвы, так и применяемых технологий обработки семян и вегетирующих растений на ключевые показатели продуктивности.

Контрольный вариант без обработки продемонстрировал базовые значения: на черноземе растения формировали в среднем 30 продуктивных и 6 непродуктивных стручков с 22 семенами в стручке, в то время как на менее плодородной серой лесной почве эти показатели были ожидаемо ниже – 19 продуктивных и 9 непродуктивных стручков с 19 семенами в стручке, что подчеркивает исходно менее благоприятные условия на данном типе почвы.

Применение протравителя Круйзер (15,0 л/т) показало умеренный положительный эффект, особенно заметный на серой лесной почве: количество продуктивных стручков увеличилось до 25 шт./раст. (против 19 в контроле), а непродуктивных снизилось до 5 шт./раст. (против 9). Однако, биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* продемонстрировали более выраженное и стабильное действие. Обработка семян Ризопланом (1,0 л/т) с последующим опрыскиванием вегетирующих растений (1,0 л/га) привела к значительному росту числа продуктивных стручков на серой лесной почве (до 27 шт./раст.) и снижению доли непродуктивных (до 5 шт./раст.), при этом количество семян в стручке также увеличилось до 20 шт. Аналогичная тенденция, но с более высокими значениями, наблюдалась при ис-

пользовании препаратов RECB-95 В (*Bacillus subtilis*) и RECB-50 В (смесь штаммов *Bacillus spp.*) по схеме «обработка семян (2,0 л/т) + опрыскивание (1,0 л/га)». Наибольший прирост продуктивных стручков на черноземе зафиксирован для RECB-95 В (33 шт./раст.) и RECB-50 В (34 шт./раст.), а на серой лесной почве оба препарата обеспечили 28 продуктивных стручков при 21 семени в стручке и лишь 4 непродуктивных стручка.

Наиболее значимый эффект в формировании элементов урожая был достигнут при включении в технологию растительного адаптогена (вытяжка из проростков пшеницы) в комбинации с биопрепаратами RECB. Добавление адаптогена к RECB-95 В на этапе обработки семян (1,0 л/т) и опрыскивания (1,0 л/га) привело к резкому увеличению количества продуктивных стручков до 38 шт./раст. на черноземе и 34 шт./раст. на серой лесной почве, при одновременном сокращении непродуктивных стручков до минимальных 2 и 3 шт./раст. соответственно. Число семян в стручке также возросло до 26 и 22 шт. Абсолютный максимум по всем изучаемым показателям был зафиксирован при комбинированном применении RECB-50 В и адаптогена: 40 продуктивных стручков (27 семян/стручок) на черноземе и 37 продуктивных стручков (23 семени/стручок) на серой лесной почве, при минимальном числе непродуктивных стручков – всего 2 шт./раст. на обоих типах почв. Это свидетельствует о мощном синергетическом эффекте между комплексом штаммов *Bacillus spp.* (RECB-50 В) и биологически активными соединениями растительного адаптогена, значительно повышающем

устойчивость растений к стрессам (особенно на менее благоприятной серой лесной почве) и оптимизирующем процессы формирования репродуктивных органов.

Интересные результаты показали и комбинации химического протравителя Круйзер с последующим опрыскиванием биопрепаратами RECB. Обработка по схеме «Круйзер (семена) + RECB-95 В (опрыскивание)» и «Круйзер (семена) + RECB-50 В (опрыскивание)» обеспечила одинаковые показатели на черноземе (34 продуктивных стручка, 25 семян/стручок, 3 непродуктивных стручка), превосходящие как чистый Круйзер, так и отдельное применение RECB, но все же уступающие комбинациям RECB с адаптогеном. На серой лесной почве комбинация с RECB-50 В показала небольшое преимущество (31 продуктивный стручок против 30 у RECB-95 В).

Урожайность ярового рапса в северной

части Среднего Поволжья и в целом Российской Федерации остается невысокой, и за последние 10 лет ее величина колеблется от 1,0 до 1,8 т/га [18].

Предпосевная обработка семян ярового рапса сорта Гедемин, а так же некорневая подкормка растений в начале вегетации биоагентами и добавлением адаптогена на обоих типах почв во все годы исследований, оказало положительное влияние на продуктивность изучаемой культуры (табл.4).

Во все годы исследований метеорологические условия во время вегетации ярового рапса складывались благоприятными как по обеспеченности растений продуктивной влагой, так и теплом. Поэтому даже на контрольном варианте (без применения биоагентов и адаптогенных препаратов) формировался неплохой урожай маслосемян ярового рапса – на чернозёмной почве – 1,7-2,24 т/га и серой лесной почве от 0,92 до 1,41 т/га.

Таблица 4 – Фактическая урожайность маслосемян ярового рапса в зависимости от применения биоагентов и адаптогенных препаратов, т/га (2017-2019 года)

Вариант	Выщелоченный чернозем			Серая лесная почва		
	среднее за 3 года	прибавка к контролю		среднее за 3 года	прибавка к контролю	
		т/га	%		т/га	%
Контроль	1,91	-	-	1,30	-	-
Круйзер, 15,0 л/т	2,07	0,16	8,4	1,39	0,09	6,9
Ризоплан, 1,0 л/т + Ризоплан, 1,0 л/га	2,14	0,23	12,0	1,46	0,16	12,3
RECB-95 В, 2,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га	2,38	0,47	24,6	1,56	0,26	20,0
RECB-50 В, 2,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га	2,74	0,83	43,4	1,78	0,48	36,9
RECB-95 В, 2,0 л/т + адаптоген, 1,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га + адаптоген, 1,0 л/га	2,86	0,95	49,7	1,94	0,64	49,2
RECB-50 В, 2,0 л/т + адаптоген, 1,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га + адаптоген, 1,0 л/га	2,96	1,05	54,9	2,0	0,70	53,8
Круйзер, 15,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га	2,69	0,78	40,8	1,96	0,66	50,7
Круйзер, 15,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га	2,73	0,82	42,9	1,88	0,58	44,6

Во всех вариантах опыта обработка семян и растений биопрепаратами (Ризоплан, RECB-95 В, RECB-50 В) обеспечила статистически значимую прибавку урожайности по сравнению как с контролем (без обработки), так и с вариантом, где использовался только химический протравитель Круйзер (15,0 л/т). На выщелоченном черноземе прибавка от биопрепаратов варьировала от 0,16 т/га (8,4%) для Круйзера до 1,05 т/га (54,9%) для RECB-50 В с адаптогеном, а на серой лесной почве – от 0,09 т/га (6,9%) до 0,70 т/га (53,8%) соответственно. Это свидетельствует о высокой эффективности микроорганизмов в стимулировании роста, развитии корневой системы и повышении устойчивости растений рапса.

Наиболее выраженный положительный эффект во все годы исследований и на обоих

типах почв был достигнут при комбинированном применении биоагентов с растительным адаптогеном (вытяжка из проростков проса). Максимальная урожайность и прибавка были зафиксированы в вариантах RECB-50 В + адаптоген (2,96 т/га, +54,9% на черноземе; 2,00 т/га, +53,8% на серой лесной) и RECB-95 В + адаптоген (2,86 т/га, +49,7%; 1,94 т/га, +49,2%). Это указывает на синергизм действия микробиологических препаратов и биологически активных веществ адаптогена, вероятно, усиливающих физиолого-биохимические процессы, стрессоустойчивость и усвоение питательных элементов. Существенное преимущество препарата RECB-50 В (содержащего комплекс *Bacillus spp.*) перед RECB-95 В (на основе *Bacillus subtilis*) как в чистом виде, так и в сочетании с

адаптогеном, подчеркивает важность видового разнообразия и специфичности штаммов в составе биопрепаратов для максимальной эффективности.

Все схемы, предусматривавшие двукратное внесение биоагентов (обработка семян + опрыскивание вегетирующих растений), показали значительно более высокие результаты по сравнению с однократной обработкой семян (Круйзер или Ризоплан только на семенах). Это подтверждает необходимость не только стартовой защиты и стимуляции проростков, но и поддержания благоприятного микробиома и физиологического статуса растений на протяжении критических фаз вегетации рапса.

Хотя абсолютные показатели урожайности на серой лесной почве были ожидаемо ниже, чем на выщелоченном черноземе (средний контроль 1,30 т/га против 1,91 т/га), относительные прибавки (%) от применения биопрепаратов, особенно в комбинации с адаптогеном, оказались сопоставимыми. Это крайне важный результат, указывающий на особую ценность биотехнологических приемов именно на менее плодородных и, возможно, более стрессогенных серых лесных почвах, где они способны существенно нивелировать лимитирующие факторы.

Интересные результаты получены при сочетании химического протравителя Круйзер с последующей обработкой вегетирующих растений биопрепаратами RECB-95 В или RECB-50 В. Эти варианты показали высокую эффективность (прибавки 40,8-42,9% на

черноземе, 44,6-50,7% на серой лесной), хотя и несколько уступали комбинациям RECB с адаптогеном. Данный подход может представлять практический интерес как переходный этап к более полной биологизации, обеспечивая надежную стартовую защиту химией с последующей стимуляцией и поддержкой растений экологичными биологическими средствами.

Анализ данных по годам показывает, что применение биопрепаратов, особенно в комбинации с адаптогеном, способствовало не только повышению урожайности, но и большей стабильности производства. Растения в этих вариантах лучше противостояли неблагоприятным погодным условиям, что проявлялось в меньшем снижении урожайности в стрессовые годы по сравнению с контролем и вариантом с Круйзером.

Повышение эффективности возделывания ярового рапса, направленное на увеличение урожайности семян и валовых сборов масла при одновременном обеспечении экологической безопасности, остается актуальной задачей современного сельского хозяйства.

Известно, что почвенные условия (плодородие, гранулометрический состав, влагообеспеченность, микробиом) могут существенно модифицировать отклик культуры на применяемые агроприемы, однако сравнительный анализ реакции рапса на биостимуляторы на контрастных типах почв, таких как высокоплодородный выщелоченный чернозем и менее плодородная серая лесная почва, требует углубленного изучения (табл. 5).

Таблица 5 – Содержание жира в семенах ярового рапса и валовые сборы растительного масла по вариантам опыта (2017-2019 года)

Вариант	Выщелоченный чернозем				Серая лесная почва			
	мас-личн-ость, %	валовый сбор раст. масла, кг/га	прибавка		мас-личн-ость, %	валовый сбор раст. масла, кг/га	прибавка	
			кг/га	%			кг/га	%
Контроль	41,5	792,7	-	-	46,2	606,0	-	-
Круйзер, 15,0 л/т	42,5	875,6	82,9	10,5	46,7	649,1	43,1	7,1
Ризоплан, 1,0 л/т + Ризоплан, 1,0 л/га	42,8	915,9	12,2	15,1	46,2	674,5	68,5	11,3
RECB-95 В, 2,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га	41,9	997,2	204,5	25,8	47,5	741,0	135,0	22,3
RECB-50 В, 2,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га	41,7	1142,6	349,9	44,1	46,2	822,4	216,4	35,7
RECB-95 В, 2,0 л/т + адаптоген, 1,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га + адаптоген, 1,0 л/га	42,0	1201,2	408,5	51,5	45,7	886,6	280,6	46,3
RECB-50 В, 2,0 л/т + адаптоген, 1,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га + адаптоген, 1,0 л/га	42,0	1246,1	453,4	57,2	44,7	894,0	288,0	47,5
Круйзер, 15,0 л/т + RECB-95 В, 1,0 л/га	41,9	1127,1	334,4	42,2	44,3	868,3	262,3	43,3
Круйзер, 15,0 л/т + RECB-50 В, 1,0 л/га	42,7	1165,7	373,0	47,1	46,9	881,7	275,7	45,5

Полученные результаты убедительно доказывают высокую агробиологическую эффективность применения биопрепаратов на основе ризобактерий рода *Bacillus* (RECB-95 В и RECB-50 В) в технологии возделывания ярового рапса. Помимо влияния обработок, эксперимент выявил фундаментальное различие в качестве семян в зависимости от типа почвы: на серой лесной почве семена рапса характеризовались достоверно более высокой исходной масличностью (46,2%) по сравнению с выщелоченным черноземом (41,5%), и эта разница сохранялась во всех изучаемых вариантах. Это указывает на сильное влияние почвенно-генетических и почвенно-физиологических взаимодействий на биохимический состав семян рапса.

Максимальный эффект от применения биопрепаратов, выражающийся в существенном увеличении валового сбора растительного масла (на 44-57% на черноземе и 35-48% на серой лесной почве), достигается при комплексной обработке, включающей предпосевную обработку семян препаратом RECB (2,0 л/т) совместно с растительным адаптогеном (вытяжка из проростков проса, 1,0 л/т) и последующее опрыскивание вегетирующих растений той же комбинацией (RECB 1,0 л/га + адаптоген 1,0 л/га).

Особого внимания заслуживает синергетический эффект от применения биопрепаратов RECB совместно с растительным адаптогеном, а также их комбинации с химическим протравителем Круйзер. Это открывает перспективы для разработки интегрированных систем защиты и стимуляции рапса, позволяющих снижать пестицидную нагрузку без потери, а даже с существенным увеличением продуктивности. Выявленная отзывчивость культуры, особенно на менее плодородной, но обеспечивающей более высокую масличность семян серой лесной почве, на комплексные биологические обработки, имеет важное практическое значение для повышения рентабельности и экологизации производства рапса в различных почвенно-климатических условиях.

Данные по незначительному влиянию обработок на процентное содержание жира (в пределах ± 1 -15% от контроля внутри типа почвы), но резко на рост его валового сбора (на 25-57%), однозначно подчеркивают, что основным механизмом действия изучаемых препаратов и их комбинаций является

стимуляция ростовых процессов и формирования урожая семян, а не кардинальное изменение их биохимического состава.

Выводы. 1. Установлено существенное влияние типа почвы на продуктивность ярового рапса сорта Гедемин: на выщелоченном черноземе контрольная урожайность составила в среднем 1,91 т/га, тогда как на менее плодородной серой лесной почве – лишь 1,30 т/га.

2. Применение биопрепаратов на основе бактерий рода *Bacillus* (RECB-95 В и RECB-50 В) обеспечило достоверное увеличение всех элементов структуры урожая – количества продуктивных стручков (до 40 шт./растение), числа семян в стручке (до 27 шт.) и снижение доли непродуктивных стручков (до 2 шт./растение).

3. Наибольшая эффективность достигнута при комбинированном применении биоагентов с растительным адаптогеном: вариант RECB-50 В + адаптоген показал максимальную прибавку урожайности на черноземе – 1,05 т/га (54,9%), на серой лесной почве – 0,70 т/га (53,8%).

4. Комплексное применение биоагентов с адаптогеном обеспечило наибольший валовый сбор растительного масла: на черноземе – 1246,1 кг/га (прибавка 57,2%), на серой лесной почве – 894,0 кг/га (прибавка 47,5%).

5. Выявлен синергетический эффект между комплексом штаммов *Bacillus spp.* (RECB-50 В) и биологически активными соединениями растительного адаптогена, значительно повышающий устойчивость растений к стрессам и оптимизирующий процессы формирования репродуктивных органов.

6. Установлена особая эффективность биотехнологических приемов на менее плодородной серой лесной почве, где относительные прибавки урожайности оказались сопоставимыми с таковыми на высокоплодородном черноземе.

7. Комбинация химического протравителя Круйзер с последующей обработкой биопрепаратами RECB показала высокую эффективность (прибавки 40,8-50,7%), что может представлять практический интерес как переходный этап к биологизированному земледелию.

8. Основным механизмом действия изучаемых препаратов является стимуляция ростовых процессов и формирования урожая семян, а не кардинальное изменение их биохимического состава.

Литература

1. Тойгильдин А. Л., Подсевалов М. И., Остин В. Н. Перспективы использования масличных культур в севооборотах лесостепной зоны Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2(54). С. 54-61. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-54-61.
2. Габбасов И. И., Низамов Р. М., Сулейманов С. Р. Влияние удобрений марки Изagri на ростовые процессы и продуктивность ярового рапса // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 5. С. 34-38. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10508.
3. Яровой рапс – перспективная культура для развития агропромышленного комплекса Красноярского края /Е. Н. Олейникова, М. А. Янова, Н. И. Пыжикова и др. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (142). С. 74-80.
4. Зубкова Т. В., Мотылева С. М., Виноградов Д. В. Исследование влияния органических и минеральных удобрений на урожайность рапса и зольный состав его маслосемян // Вестник Ульяновской

государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1(57). С. 77-84. doi: 10.18286/1816-4501-2022-1-77-84.

5. Цыбулько Н. Н., Пунченко С. С. Эффективность применения дифференцированных доз минеральных удобрений под яровой рапс на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной степени эродированности // Почвоведение и агрохимия. 2015. № 1 (54). С. 189–200.

6. Интенсификация технологии возделывания ярового рапса на маслосемена / С. В. Гольцман, Т. В. Горбачева, Н. А. Рендов и др. // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (17). С. 12–14.

7. Нурлыгаянов Р. Б. Яровой рапс поддерживает земледельцев // Аграрная тема. 2012. № 10 (39). С. 43.

8. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake / M. Halpern, U. Yermiyahu, A. Bar-Tal, et al. // Advances in Agronomy. 2015. Vol. 130. P. 141–174. doi: 10.1016/bs.agron.2014.10.001.

9. Куликова А. Х., Карпов А. В., Пахалин В. А. Влияние цеолита и удобрений на его основе на питательный режим чернозема выщелоченного и урожайность рапса // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4(64). С. 37–42. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-37-42.

10. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating red signaling as a possible unifying mechanism / A. K. Srivastava, P. Suprasanna, R. Pasala, et al. // Advances in Agronomy. 2016. Vol. 137. P. 237–278. doi: 10.1016/bs.agron.2015.12.002.

11. Зубкова Т. В., Виноградов Д. В. Воздействие природного минерала на свойства и урожайность ярового рапса // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2(62). С. 12–20. doi: 10.18286/1816-4501-2023-2-12-20.

12. Брескина Г. М., Масютенко Н. П., Чуян Н. А. Биопрепараты как средство восстановления здоровья черноземных почв // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2(58). С. 25–31. doi: 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31.

13. Юшкевич Л. В., Щитов А. Г., Пахотина И. В. Агротехнические особенности формирования продуктивности яровой пшеницы после рапса в лесостепи Западной Сибири // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4(56). С. 46–52. doi: 10.18286/1816-4501-2021-4-46-52.

14. Зубкова, Т. В., Виноградов Д. В. Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помёта и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 46–54. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54.

15. Антистрессовые и фитогормонные препараты в технологии возделывания ярового рапса на серых лесных почвах Республики Татарстан / Д. Г. Гатауллин, Ф. Н. Сафиоллин, Г. С. Миннуллин и др. // Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 45–49. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.

16. Verma L. C., Prasad A. Estimation of Yield Gap in Rapeseed-Mustard through Cluster Front Line Demonstrations // Journal of Krishi Vigyan. 2023. Vol. 11. No. 2. P. 140–144. doi: 10.5958/2349-4433.2023.00024.7.

17. Формирование урожайности маслосемян рапса ярового при обработке посевного материала микроудобрениями / А. М. Хайруллин, Р. Р. Гайфуллин, В. С. Сергеев и др. // Аграрная наука. 2020. № 1. С. 62–65.

18. Селяков А. А., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Влияние приемов посева на урожайность и биохимический состав маслосемян сортов ярового рапса в Среднем Предуралье // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2. С. 47–51.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан (соглашение №146/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Сведения об авторах:

Сулейманов Салават Разяпович – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой землеустройства и кадастров, e-mail: dusai@mail.ru

Низамов Рустам Мингазизович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: nizamovr@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

IMPACT OF COMBINED APPLICATION OF BIOAGENTS AND PLANT-BASED ADAPTOGEN ON PRODUCTIVITY AND OIL CONTENT OF SPRING RAPE ON LEACHED CHERNOZEM AND GRAY FOREST SOIL

S. R. Suleymanov, R. M. Nizamov

Abstract. This article presents the results of field experiments conducted in 2017-2019 on two soil types in the Republic of Tatarstan (leached chernozem and gray forest soil) to assess the impact of combined application of *Bacillus* spp.-based bioagents (RECB-95 B and RECB-50 B) and plant-based adaptogen (millet seedling extract) on productivity of spring rapeseed of Gedemin variety. The study included pre-sowing seed treatment and foliar feeding of vegetative plants in the phase of 3-4 pairs of leaves. It was found that the combined use of preparations significantly improved the elements of yield structure: the number of productive pods increased to 40 pcs./plant on chernozem and 37 pcs./plant on gray forest soil, the number of seeds per pod increased to 27 and 23, respectively, and the number of unproductive pods decreased to 2 pcs./plant. The maximum yield increase was achieved in RECB-50 B variant with an adaptogen: 1.05 t/ha (54.9%) on chernozem and 0.70 t/ha (53.8%) on gray forest soil. The gross oil productivity increased to 1246.1 kg/ha (+57.2%) and 894.0 kg/ha (+47.5%), respectively. A synergistic effect was found between the *Bacillus* strain complex and biologically active substances of the adaptogen, which was particularly pronounced in the less fertile gray forest soil. Relative yield increases in both soil types were comparable, demonstrating the high effectiveness of biopreparations under stressful conditions. The primary mechanism of action of the studied techniques is stimulation of growth processes and seed yield formation without fundamentally altering their biochemical composition. The results demonstrate a potential of the combined use of bioagents and adaptogens in spring rapeseed cultivation technologies.

Key words: spring rapeseed (*Brassica napus* L.), bioagents, plant adaptogen, productivity, oil content, leached chernozem, gray forest soil, RECB-50 B.

For citation: Suleymanov S.R., Nizamov R.M. Impact of combined application of bioagents and plant-based adaptogen on productivity and oil content of spring rape on leached chernozem and gray forest soil. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 3 (15). 32-39 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-32-39>

References

1. Toygildin AL, Podsevalov MI, Ostin VN. [Prospects for the use of oilseed crops in crop rotations of forest-steppe zone of Volga region]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 2(54). 54-61 p. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-54-61.
2. Gabbasov II, Nizamov RM, Suleymanov SR. [Influence of Izagri brand fertilizers on growth processes and productivity of spring rape]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019; Vol.33. 5. 34-38 p. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10508.
3. Oleynikova EN, Yanova MA, Pyzhikova NI. [Spring rape is a promising crop for the development of agro-industrial complex of Krasnoyarsk Krai]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; 1(142). 74-80 p.
4. Zubkova TV, Motyleva SM, Vinogradov DV. [Study of the influence of organic and mineral fertilizers on rapeseed yield and ash composition of its oilseeds]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 1(57). 77-84 p. doi: 10.18286/1816-4501-2022-1-77-84.
5. Tsybulko NN, Puchenko SS. [Efficiency of applying differentiated doses of mineral fertilizers for spring rape on sod-podzolic light loamy soils with varying degrees of erosion]. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2015; 1 (54). 189-200 p.
6. Goltzman SV, Gorbacheva TV, Rendov NA. [Intensification of spring rapeseed cultivation technology for oilseeds]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; 1 (17). 12-14 p.
7. Nurlygayanova RB. [Spring rape supports farmers]. *Agrarnaya tema*. 2012; 10 (39). 43 p.
8. Halpern M, Yermiyahu U, Bar-Tal A. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Advances in Agronomy*. 2015; Vol.130. 141-174 p. doi: 10.1016/bs.agron.2014.10.001.p.
9. Kulikova AKh, Karpov AV, Pakhalin VA. [Effect of zeolite and fertilizers based on it on the nutrient regime of leached chernozem and rapeseed yield]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2023; 4 (64). 37-42 p. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-37-42.
10. Srivastava AK, Suprasanna P, Pasala R. Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating red signaling as a possible unifying mechanism. *Advances in Agronomy*. 2016; Vol.137. 237-278 p. doi: 10.1016/bs.agron.2015.12.002.
11. Zubkova TV, Vinogradov DV. [Effect of natural mineral on properties and yield of spring rape]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2023; 2(62). 12-20 p. doi: 10.18286/1816-4501-2023-2-12-20.
12. Breskina GM, Masyutenko NP, Chuyan NA. [Biopreparations as a means of restoring the health of chernozem soils]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 2(58). 25-31 p. DOI 10.18286/1816-4501-2022-2-25-31.
13. Yushkevich LV, Shchitov AG, Pakhotina IV. [Agrotechnical features of the formation of spring wheat productivity after rapeseed in the forest-steppe of Western Siberia]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 4(56). 46-52 p. doi: 10.18286/1816-4501-2021-4-46-52.
14. Zubkova TV, Vinogradov DV. [Properties of organomineral fertilizer based on chicken manure and its application in spring rapeseed technology for seeds]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 1(53). 46-54 p. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54.
15. Gataullin DG, Safiullin FN, Minnullin GS. [Anti-stress and phytohormone preparations in the technology of spring rapeseed cultivation on gray forest soils of the Republic of Tatarstan]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2021; 2. 45-49 p. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.
16. Verma LC, Prasad A. Estimation of yield gap in rapeseed-mustard through cluster front line demonstrations. *Journal of Krishi Vigyan*. 2023; Vol.11. 2. 140-144 p. doi: 10.5958/2349-4433.2023.00024.7.
17. Khayrullin AM., Gayfullin RR, Sergeev VS. [Formation of spring rapeseed oilseeds yield when treating the seed material with microfertilizers]. *Agrarnaya nauka*. 2020; 1. 62- 65 p.
18. Selyakov AA, Bogatyreva AS, Akmanaev ED. [Influence of sowing methods on yield and biochemical composition of oilseeds of spring rape varieties in Middle Urals]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; Vol.14. 2. 47-51 p.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. This work was supported by a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (agreement No. 146/2024 – PD dated December 16, 2024) for young candidates of science (postdoctoral students) to defend their doctoral dissertations, conduct research and perform work functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan.

Authors:

Suleymanov Salavat Razyapovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Land Management and Cadastre Department, e-mail: dusai@mail.ru

Nizamov Rustam Mingazizovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of General Agriculture, Plant Protection and Breeding, e-mail: nizamovr@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗВЕНЬЕВ СЕВООБОРОТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

А. Л. Тойгильдин, И. А. Тойгильдина, А. М. Чекалин, Д. Э. Аюпов, А. С. Кузин

Реферат. Целью исследований являлась оценка влияния нормы внесения минеральных удобрений и промежуточных почвопокровных культур на продуктивность звена севооборота «яровой рапс – озимая пшеница» при возделывании культур по технологии прямого посева. Полевые эксперименты проводились в 2023-2025 годах на стационарном полевом опыте Ульяновского ГАУ, в 6-польном полевом севообороте: рапс яровой - озимая пшеница – соя - яровая пшеница – гречиха – ячмень. Схема опыта включала изучение норм минеральных удобрений (варианты под яровой рапс и озимую пшеницу: контроль без удобрений, $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ и $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$), кроме того после уборки ячменя высевались промежуточные почвопокровные культуры (ППК) - (контроль – без ППК, смесь яровых культур, смесь озимых культур). Результаты исследований показали, что в засушливых условиях осени 2023 года (ГТК=0,51) ППК сформировали биомассу в количестве от 0,11 до 0,28 т/га сухого вещества, с достоверным преимуществом вариантов с внесением минеральных удобрений под предшествующую культуру. Урожайность ярового рапса увеличивалась под влиянием минеральных удобрений на 0,18-0,35 т/га (16,5-32,1%). Почвопокровные культуры также оказали достоверное положительное влияние, особенно на неудобренном фоне, обеспечив прибавку до 0,42 т/га (51,0%). В среднем по опыту прибавка урожайности ярового рапса от яровых смесей составила 0,22 т/га (19,6%), от озимых – 0,24 т/га (21,4%). Урожайность озимой пшеницы определялась нормами удобрений (прибавка 0,39-0,64 т/га или 10,7-17,2%) и последствием ППК, которое было максимальным на неудобренном фоне (до 0,31 т/га или 8,8%). Продуктивность звена севооборота повышалась на 0,25-0,26 тыс. з.ед. (9,2-9,6%) от ППК и на 0,33-0,56 тыс. з.ед. (12,7-21,6%) от минеральных удобрений, достигая максимума 3,15 тыс. з.ед. на варианте $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$.

Ключевые слова: прямой посев, промежуточные почвопокровные культуры, нормы минеральных удобрений, яровой рапс (*Brassica napus*), озимая пшеница (*Triticum aestivum*), продуктивность.

Для цитирования: Приемы повышения продуктивности звеньев севооборотов в технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / Тойгильдин А.Л., Тойгильдина И.А., Чекалин А.М. [и др.] // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. №3 (15). С. 40-46 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-40-46>

Введение. В мире все большую актуальность приобретают вопросы сохранения почвенных ресурсов, и Российская Федерация не является исключением, для нашей страны характерны растущие темпы деградации земель. Площади пашни (65%), сенокосов (28%) и пастбищ (50%) подвержены разрушающему, порой совместному, воздействию эрозии, дефляции, периодических засух и суховеев. По сравнению с 1990 г. к настоящему времени площадь сельскохозяйственных земель, подверженных эрозии и дефляции, увеличилась на 22 млн га и составила 126 млн га, при этом из-за водной эрозии 10% пашни уже утратило 30-60% плодородия, а 25% – от 10 до 30%. Ежегодная убыль гумуса на пашне в среднем составляет 0,62 т/га, а его содержание в почве за 100 лет снизилось на 30-40%. Площадь заволашеванных угодий достигла 8 млн га, а ежегодный прирост эродированных земель достигает 0,4-0,5 млн га. От вредного воздействия природно-антропогенных факторов ежегодный недобор продукции растениеводства в Российской Федерации уже достигает почти 43 млн т в зерновом эквиваленте [1].

В условиях снижения качества почв все сложнее поддерживать обеспечение продовольственной безопасности нашей страны, по мнению целого ряда ученых необходимо менять концепцию использования земельных ресурсов

и опираться на инновационные концепции стабильной, эффективной биологизированной интенсификации агропроизводства [2]. Данным требованиям отвечает почвозащитное ресурсосберегающее земледелие – одна из стратегий этой концепции, пропагандируемая и внедряемая в последние годы в отечественное и мировое агропроизводство. Центральным звеном системы почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (ПРЗ) является технология прямого посева, которая все больше получает распространение в нашей стране [3, 4].

Основанием для этого служит ряд преимуществ данной технологии, прежде всего ее почвозащитные функции [5, 6], повышение биологического фактора в воспроизводстве плодородия почвы и формировании урожая [7], снижение потерь углерода [8], повышение эффективности производства и снижения себестоимости получаемой продукции [9, 10] и др. Между тем, по мнению ряда авторов, технология прямого посева (No-till) имеет ряд недостатков [11, 12, 13], что вызывает необходимость разработки приемов повышения эффективности данной технологии [14, 15].

Дискуссионным вопросом остается способ, сроки и нормы применения минеральных удобрений с целью повышения эффективности

их использования.

Практика и результаты исследований показывают, что эффективность технологии прямого посева можно повысить посевом промежуточных почвопокровных культур [16]. Однако в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья этот вопрос изучен недостаточно, что определяет актуальность наших исследований.

Цель исследований. Разработать приемы повышения урожайности культур и продуктивности звена севооборота «яровой рапс - озимая пшеница», возделываемых по технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья.

В рамках достижения цели решались следующие задачи:

- оценить влияние системы удобрения предшествующей культуры на динамику продуктивной влаги в почве и накопление биомассы промежуточных почвопокровных культур;

- выявить закономерности влияния норм минеральных удобрений и промежуточных почвопокровных культур на формирование урожая яровой рапса и последующей озимой пшеницы;

- определить продуктивность звена севооборота в зависимости от применяемых агроприемов в технологии прямого посева.

Условия, материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились в течение 2023–2025 года на стационарном полевом опыте в Ульяновском государственном аграрном университете им. П.А. Столыпина. Опыт проводился в 6-польном севообороте: яровой рапс - озимая пшеница – соя - яровая пшеница - гречиха - ячмень. Все культуры в севообороте возделывались по технологии прямого посева.

В опыте изучались нормы минеральных удобрений при возделывании полевых культур (Фактор А), под ячмень, яровой рапс и озимую пшеницу вносились следующие удобрения:

A0 - (экстенсивная технология) контрольный вариант без применения удобрений;

A1 - (нормальная технология, на планируемую урожайность рапса 1,5 т/га, озимой пшеницы – 4,0 т/га): $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ (комплексные удобрения NPK(S) - 8:19:29(3) + 0,2Zn - 80 кг/га при посеве; подкормка аммиачной селитрой в фазу розетки рапса, возобновления вегетации озимой пшеницы - 100 кг/га);

A2 - (интенсивная технология, на планируемую урожайность рапса 2,0 т/га, озимой пшеницы – 5,0 т/га): $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ (комплексные удобрения NPK(S) - 8:19:29(3)+0,2Zn - 160 кг/га, подкормка аммиачной селитрой - 100 кг/га + подкормка аммиачной селитрой (в период бутонизации рапса, конец кущения озимой пшеницы) - 100 кг/га).

После уборки ячменя проводилась обработка гербицидом на основе глифосата (480 г/л, 2 л/га) с последующим посевом

промежуточных почвопокровных культур - ППК (Фактор В):

B0 - контроль (без промежуточных почвопокровных культур);

B1- смесь яровых культур (вика яровая, чечевица, овес, сорго-суданский гибрид, редька, дайкон, лен, фацелия) с общей нормой высева 13,9 кг/га;

B2 - смесь озимых культур (озимая пшеница и озимая вика) с нормой высева 25,0 кг/га.

Яровые виды покровных культур к окончанию полевого сезона полностью завершали онтогенез. В отличие от них, озимые формы сохраняли ростовую активность и оставались в вегетативном состоянии. В начале следующего вегетационного периода, непосредственно перед посевом ярового рапса, проводилась повторная обработка вегетирующих сорняков гербицидом на основе глифосата в идентичной дозировке. Для посева всех сельскохозяйственных культур использовалась сеялка прямого посева модели СПС-4000 «Десна-Полесье». Комплексные минеральные удобрения вносились при посеве, аммиачная селитра – разбрасывателем минеральных удобрений. Норма высева устанавливалась из расчета 1,0 млн семян рапса (сорт Абакус) на 1 га и 4,5 млн семян озимой пшеницы (сорт Студенческая Нива) на 1 га. Подбор компонентов для смесей и расчет их норм высева выполнялся в соответствии с методическими рекомендациями [17].

Почвенный покров экспериментального поля представлен черноземом выщелоченным среднесуглинистого механического состава, со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 4,6%, рН солевой вытяжки – 5,9. Обеспеченность подвижным фосфором по Чирикову 128 мг/кг, обменным калием 169 мг/кг. Сумма поглощенных оснований – 26,7 мг-экв./100 г почвы, а степень насыщенности основаниями достигает 97,2%.

Схема опыта предусматривала трехкратную повторность с систематическим размещением опытных делянок. Учетная площадь основных делянок составляла 648 м², а субделянок – 216 м². Экспериментальный севооборот размещен на шести обособленных полевых участках (блоках). Для сбора научных данных применялись специализированные методические подходы для технологии прямого посева [18]. Для перевода урожайности возделываемых в опыте культур в зерновые единицы использовались коэффициенты перевода, утвержденные Министерством сельского хозяйства РФ [19]. Экспериментальные данные обрабатывались методом дисперсионного анализа [20].

Погодные условия в течение трехлетнего исследовательского цикла демонстрировали значительную межгодовую изменчивость по температурному режиму и влагообеспеченности.

В первый год наблюдений 2023 года сложился выраженный дефицит атмосферной

влаги. Количество осадков, зарегистрированное в критические месяцы вегетации май-июль, составило 83,2 мм на фоне повышенного температурного фона (в среднем 15,6°C, 16,3°C и 21,3°C по месяцам). Рассчитанный гидротермический коэффициент Селянинова составил 0,51.

Следующий 2024 год характеризовался более сбалансированными погодными параметрами. Сумма летних осадков возросла до 145,6 мм, а значение ГТК достигло 0,89, что указывает на удовлетворительную влагообеспеченность.

Наиболее влажным периодом оказался 2025 год, когда за аналогичный промежуток времени выпало 214 мм осадков при умеренных температурах (14,2°C, 17,8°C и 20,6°C). Величина ГТК - 1,33 свидетельствовала о достаточном и даже избыточном увлажнении в течение ключевой фазы развития сельскохозяйственных культур.

Результаты и обсуждение. Проведенные нами исследования показали, что урожайность ячменя, возделываемого в севообороте, в засушливых условиях 2023 года варьировала в зависимости от уровня минерального питания. На неудобренном контроле этот показатель составил в среднем 3,09 т/га, применение удобрений в норме $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ обеспечило достоверное увеличение урожайности до 4,08 т/га, а максимальная продуктивность культуры – 4,65 т/га – была зафиксирована на варианте $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$.

После уборки ячменя в 3 декаде июля 2023 года на делянках были посеяны промежуточные почвопокровные культуры. Для лесостепной зоны Средневолжского региона успешность формирования всходов промежуточных культур и их последующее

развитие детерминированы, в первую очередь, запасами продуктивной влаги в корнеобитаемом слое и количеством выпадающих атмосферных осадков.

Агрометеорологическая обстановка в послеуборочный период сложилась неблагоприятная для их начального развития. Август отличался экстремальной засухой – месячная сумма осадков не превысила 10 мм при климатической норме 53 мм. В сентябре дефицит влаги сохранялся (40 мм при норме 45 мм). Существенное увлажнение отмечалось лишь в октябре (89 мм), однако пик осадков пришелся на его завершающую декаду, когда вегетация уже замедлялась. Несмотря на формально достаточный гидротермический коэффициент - 1,12 (выпало 139 мм осадков) за трехмесячный период, его значение было достигнуто исключительно за счет влажного октября. Критический недостаток влаги в начальные фазы роста предопределил замедленное развитие покровных культур.

Анализ водного баланса показал, что осадки вегетационного периода 2023 года (139,0 мм за август-октябрь) расходовались преимущественно на физическое испарение с поверхности почвы, а не на формирование биомассы покровных культур. На контрольных делянках без почвопокровных культур к моменту прекращения вегетации (1 ноября) накопилось 21,1-23,2 мм влаги, что составило 15,2-16,7% от общего количества выпавших осадков. При этом на участках с промежуточными культурами запасы продуктивной влаги в почвенном профиле оставались существенно выше – 49,6-65,3 мм, с преимуществом на варианте без удобрений (табл.1).

Таблица 1 - Водопотребление и продуктивность промежуточных культур после уборки ячменя, 2023 г.

Нормы удобрений под ячмень	ППК после уборки ячменя	W ₀ , мм	W ₁ , мм	Суммарное водопотребление, мм	Накопление СВ в осенний период, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т
Без удобрений	Без ППК	65,2	88,4	115,8	-	-
	Яровые ППК	69,8	65,3	143,5	0,16	897
	Озимые ППК	66,5	63,1	142,4	0,11	1295
$N_{40}P_{15}K_{23}S_2$	Без ППК	62,3	84,7	116,6	-	-
	Яровые ППК	56,1	50,8	144,3	0,23	627
	Озимые ППК	58,9	56,2	141,7	0,16	886
$N_{80}P_{30}K_{46}S_5$	Без ППК	61,8	82,9	117,9	-	-
	Яровые ППК	59,4	51,1	147,3	0,28	526
	Озимые ППК	55,2	49,6	144,6	0,22	657
HCP ₀₅ для част. различий		10,7	11,8	-	0,10	-
HCP _{05 A}		6,2	6,8	-	0,06	-
HCP _{05 B}		6,2	6,8	-	0,07	-
HCP _{05 AB}		3,6	4,0	-	0,03	-

Примечание: W₀ – содержание продуктивной влаги в метром слое почвы перед посевом почвопокровных культур, мм; W₁ – содержание продуктивной влаги в метром слое перед уходом в зиму почвопокровных культур, мм; СВ – сухое вещество

В течение летне-осеннего сезона яровые покровные культуры достигли продуктивности по сухой биомассе в диапазоне 0,16-0,28 т/га. Минимальный показатель зафиксирован на неудобренном фоне, тогда как максимальное значение получено при внесении $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ под основную культуру. Озимые покровные смеси показали схожую зависимость от уровня минерального питания, сформировав 0,11-0,22 т/га растительной массы. Весеннее возобновление вегетации озимых видов (рожь и вика) сопровождалось интенсивными ростовыми процессами и к периоду посева ярового рапса количество сухого вещества в фитомассе увеличилось на 30,0-41,5% относительно осенних показателей, достигнув 0,16 т/га на контроле и 0,29 т/га на интенсивном фоне питания.

Суммарное водопотребление культур определялось расходом влаги и накопленной биомассой промежуточных культур. Расчёты показали, что смесь яровых ППК более эффективно использовала ресурсы урожая, и в летне-осенний период на 1 тонну сухого вещества расходовала от 897 м³ воды на 1 тонну сухого вещества на неудобренном фоне до 657 м³/т на фоне $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ внесенных при возделывании предшествующей культуры.

Таблица 2 - Урожайность ярового рапса в технологии прямого посева после ячменя, возделываемого по различным вариантам, т/га (2024 год)

Нормы удобрений (фактор А)	Почвопокровные культуры (фактор В)			Среднее
	контроль	яровые	озимые	
Без удобрений	0,82	1,24	1,21	1,09
$N_{40}P_{15}K_{23}S_2$	1,20	1,31	1,33	1,27
$N_{80}P_{30}K_{46}S_5$	1,33	1,47	1,53	1,44
Среднее	1,13	1,29	1,38	

HCP_{05} для частных различий = 0,15; HCP_{05} для факторов: А = 0,09; В = 0,09; АВ = 0,05

Формирование урожайности озимой пшеницы в севообороте существенно изменялась от влияния минеральных удобрений и последствий промежуточных почвопокровных культур. Использование удобрений с нормой $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ обеспечило достоверное увеличение урожайности на 0,39 т/га (10,7%) по сравнению с неудобренным контролем. Дальнейшее повышение нормы питания до $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ позволило получить максимальную прибавку в 0,64 т/га (17,2%), что свидетельствует о выраженной отзывчивости культуры на интенсивную технологию возделывания.

Применение минеральных удобрений оказало существенное влияние на урожайность ярового рапса, возделываемого после ячменя. Внесение удобрений в норме $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ обеспечило увеличение урожайности в среднем на 0,18 т/га (16,5%), тогда как применение $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ способствовало более значительному росту - на 0,35 т/га (32,1%) относительно неудобренного контроля (табл. 2).

Анализ данных по влиянию промежуточных почвопокровных культур позволил установить их положительное влияние на продуктивность ярового рапса, особенно на фоне без удобрений, где прибавка составила 0,42 т/га (51,0%) при посеве после смеси яровых культур и 0,39 т/га (47,6%) после смеси озимых культур. На фоне минеральных удобрений влияния ППК было менее выраженным, но урожайность также возросла существенно от 0,11-0,13 т/га (9,1 – 10,8%) на фоне $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ до 0,13-0,20 т/га (9,8-15,0%) на фоне $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$.

В среднем по опыту оценка влияния ППК показала, что посев яровых промежуточных культур обеспечил увеличение урожайности рапса на 0,22 т/га (19,6%) по сравнению с контролем, смесь озимых почвопокровных культур на 0,24 т/га (21,4%).

Почвопокровные культуры оказали последствие на урожайность озимой пшеницы. Наилучший результат был получен на варианте без минеральных удобрений, где прибавка составила после смеси яровых культур 0,31 т/га (8,8%), а после смеси озимых ППК – 0,23 т/га (6,5%). С увеличением нормы внесения минеральных удобрений влияние ППК снижалось, если на фоне $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ озимая пшеница сформировала урожайность достоверно выше, чем на контроле на 0,17 т/га (4,3%) как после яровых, так и после озимых ППК, то с увеличением нормы удобрений до $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ различия между вариантами оказались не достоверными (табл. 3).

Таблица 3 - Урожайность озимой пшеницы в технологии прямого посева после ярового рапса, возделываемой по различным вариантам, т/га (2025 год)

Нормы удобрений (фактор А)	Почвопокровные культуры (фактор В)			Среднее
	контроль	яровые	озимые	
Без удобрений	3,53	3,83	3,76	3,71
$N_{40}P_{15}K_{23}S_2$	3,99	4,16	4,16	4,10
$N_{80}P_{30}K_{46}S_5$	4,27	4,36	4,40	4,34
Среднее	3,93	4,12	4,11	-

HCP_{05} для частных различий = 0,28; HCP_{05} для факторов: А = 0,16; В = 0,16; АВ = 0,09

Оценка эффективности агроприемов по влиянию на продуктивность севооборотного звена «яровой рапс – озимая пшеница» показала, что использование минеральных удобрений под культуры с нормой $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ повысило продуктивность звена с 2,59 тыс з.ед. (контроль) до 2,92 тыс з.ед. или на 0,33 тыс з.ед. (12,7%). На фоне $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ продуктивность звена возросла до 3,15 тыс з.ед. или на 0,56 тыс з.ед. (21,6%).

Использование ППК также повышало продуктивность звеньев севооборота на варианте со смесью яровых ППК на 0,25 тыс з.ед. (9,2%), после смеси озимых ППК на 0,26 тыс з.ед. (9,6%).

Оценка окупаемости минеральных удобрений показала, что при внесении $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ на 1 кг д.в. было получено 2,35 кг дополнительного урожая рапса и 4,90 кг/кг озимой пшеницы. Тогда как при увеличении нормы удобрения до $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ соответственно 2,18 и 3,93 кг/кг.

Расчеты экономической эффективности показали, что окупаемость минеральных удобрений при возделывании культур в звене рапса яровой - озимая пшеница на фоне $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ составила 1,59 руб на каждый вложенный рубль, на фоне $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ - 1,40 руб.

Почвопокровные культуры отличались большей окупаемостью в сравнении с минеральными удобрениями, при посеве смеси яровых ППК было получено 2,39 руб/руб, после смеси озимых ППК - 2,07 руб. на каждый вложенный рубль.

Выводы. В системе прямого посева после уборки ячменя в засушливых условиях 2023 года (ГТК=0.51) смесь яровых промежуточных почвопокровных культур

сформировала биомассу 0,16-0,28 т/га сухого вещества, смесь озимых культур - 0,11-0,22 т/га с достоверным преимуществом вариантов с внесением минеральных удобрений под предшествующую культуру – яровой ячмень.

Урожайность ярового рапса определялась, прежде всего, нормами внесения минеральных удобрений. Внесение $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ и $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ обеспечило достоверное повышение урожайности соответственно на 0,18 или 16,5% и 0,35 т/га или 32,1%. Почвопокровные культуры также оказали достоверное положительное влияние на урожайность рапса, особенно на варианте без использования минеральных удобрений.

Урожайность озимой пшеницы, возделываемой после ярового рапса, определялась нормами удобрений и последствием ППК. Внесение $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ повышало урожайность на 0,39 т/га или на 10,7%, а норма в $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ - на 0,64 т/га или на 17,2%. Промежуточные почвопокровные культуры повышали урожайность озимой пшеницы особенно на вариантах без удобрений – прибавка после смеси яровых ППК составила 0,31 т/га или 8,8%, после смеси озимых – 0,23 т/га или 6,5%. С увеличением нормы минеральных удобрений эффективность промежуточных культур снижалась.

В условиях лесостепи Среднего Поволжья на выщелоченном черноземе в технологии прямого посева для повышения продуктивности звена севооборота «яровой рапс - озимая пшеница» рекомендуется использовать систему минеральных удобрений на планируемую урожайность рапса ярового 1,5 т/га, озимой пшеницы - на 4,0 т/га.

Литература

1. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года / К. Н. Кулик, А. Л. Иванов, А. С. Рулев [и др.]. – 2-е издание, дополненное и переработанное. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 36 с.
2. Технологические особенности почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (в развитие концепции ФАО) / М. С. Соколов, А. П. Глинушкин, Ю. Я. Спиридонов [и др.] // Агрохимия. 2019. № 5. С. 3-20. doi: <http://doi.org/10.1134/S000218811905003X>.
3. Грошева О. А. положительные и отрицательные аспекты применения ресурсосберегающих технологий в степном земледелии // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 21-27. doi: <http://doi.org/10.17513/use.37923>.
4. Беленков А. И. Мазиров М. А., Береза Д. В. Прямой посев и его интерпретация в современном земледелии // Сельскохозяйственный журнал. 2021. № S5(14). С. 82-87. doi: <http://doi.org/10.25930/2687-1254/009.5.14.2021>.
5. Эффективность и почвозащитная роль системы прямого посева на черноземах России / А. Л. Иванов, В. К. Дридигер, В. П. Белобров [и др.] // Почвоведение. 2025. № 9. С. 1225-1238. doi: <http://doi.org/10.31857/S0032180X25090105>.
6. Почвозащитная роль прямого посева в земледелии / В. П. Белобров, Д. А. Шаповалов, В. К. Дридигер [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 3(393). С. 255-260. doi: http://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_3_255.
7. Минимизация обработки почвы как важный элемент биологизации земледелия в Оренбуржье / Ф. Г. Бакиров, И. В. Васильев, А. В. Филиппова [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108, № 2. С. 172-185. doi: <http://doi.org/10.33284/2658-3135-108-2-172>.
8. Углеродный след продукции растениеводства при использовании технологий почвозащитного ресурсосберегающего земледелия / Л. В. Орлова, Р. И. Сафин, Г. В. Кнурова [и др.] // Земледелие. 2024. № 7. С. 9-13. doi: <http://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-9-13>.
9. Чекаев Н.П., Кузнецов, А.Ю. (2015). Технология No-till – путь к реальным результатам. Продовольственная политика и безопасность, 2(1), С. 7-18. doi: <http://doi.org/10.18334/ppib.2.1.453>.
10. Эффективность применения системы прямого посева на чернозёме южном Волгоградской области / В. К. Дридигер, Т. В. Волошенкова, Р. Г. Гаджимаров [и др.] // Земледелие. 2025. № 4. С. 17-23. doi: <http://doi.org/10.31857/S0032180X25040105>.

doi.org/10.24412/0044-3913-2025-4-17-23.

11. Иванов А. Л., Кулинцев В. В., Дриггер В. К., Белобров В. П. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России // Достижения науки и техники АПК. 2021. №4. С. 8-16. doi: <http://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10401>.

12. Зотова К. Ю. Влияние технологии No-Till на состав и свойства чернозёма обыкновенного // Устойчивость почвенного покрова и продуктивность экосистем: Материалы Межрегиональной научной конференции, Красноярск, 22–23 декабря 2023 года. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. С. 48-54.

13. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства черноземов выщелоченных и урожайность подсолнечника / Е. Б. Дрёпа, О. И. Власова, А. С. Голубь и др. // Земледелие. 2020. № 3. С. 18–20. doi: <http://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10304>.

14. Пыхтин И. Г., Дубовик Д. В., Айдиев А. Я. Текущие проблемы в земледелии // Земледелие. 2018. № 5. С. 8–11. doi: <http://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10502>.

15. Гамзиков Г. П. Система No-till в сибирском земледелии: проблемы, реальности и перспективы // Земледелие. 2024. № 3. С. 10–17. doi: <http://doi.org/10.24412/0044-3913-20241-3-10-17>.

16. Влияние возделывания почвопокровных культур на урожайность кукурузы в условиях предгорно-степной зоны Крыма / О. Л. Томашова, А. В. Ильин, П. С. Захарчук, К. Р. Сильченко // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2021. № 27(190). С. 46-58.

17. Томашова О.Л. Способ подбора почвопокровных культур и расчет норм высева // Патент РФ № 2021120324; заявл 09.07.2001, 18.10.2022.

18. Методические рекомендации по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева / В. И. Кирюшин, В. К. Дриггер, А. Н. Власенко [и др.]; Москва: Издательство МБА, 2019. 136 с. ISBN 978-5-6043225-2-9.

19. Приказ Минсельхоза России от 06.07.2017 N 330 «Об утверждении коэффициентов перевода в зерновые единицы сельскохозяйственных культур» <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708010062?index=1>.

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

Конфликт интересов

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

Сведения об авторах:

Тойгильдин Александр Леонидович - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, растениеводства и селекции, e-mail: atoigildin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7713-5283>

Тойгильдина Ирина Александровна - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия, растениеводства и селекции, e-mail: irina1082@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8620-2671>

Чекалин Артем Михайлович - аспирант, e-mail: chekalin.artim@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6230-3465>.

Аюпов Денис Энисович - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия, растениеводства и селекции, e-mail: ayupov1989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2329-0181>.

Кузин Александр Сергеевич - аспирант, e-mail: sashakyzin99@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6866-9410>.

Ульяновский государственный аграрный университет, Ульяновск, Россия.

METHODS FOR INCREASING THE PRODUCTIVITY OF DIRECT-SEEDING CROP ROTATION UNITS IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF MIDDLE VOLGA REGION

A. L. Toygildin, I. A. Toygildina, A. M. Chekalin, D. E. Ayupov, A. S. Kuzin

Abstract. The purpose of this study was to assess the impact of mineral fertilizer application rates and intercrop cover crops on productivity of spring rapeseed - winter wheat crop rotation unit cultivated using direct seeding. Field experiments were conducted in 2023-2025 on a stationary field of Ulyanovsk State Agrarian University, on a six-field crop rotation: spring rapeseed - winter wheat - soybeans - spring wheat - buckwheat - barley. The experimental scheme included a study of mineral fertilizer rates (variants for spring rapeseed and winter wheat: control without fertilizer, $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$, and $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$), in addition, intermediate cover crops were sown after barley harvesting (control variant - without intermediate cover crops, spring crop mixture and winter crop mixture). The results showed that under the dry conditions of autumn 2023 (HTC = 0.51), intermediate cover crops produced biomass ranging from 0.11 to 0.28 t/ha of dry matter, with a significant advantage in the variants with mineral fertilizer application under the preceding crop. Spring rapeseed productivity increased under the influence of mineral fertilizers by 0.18-0.35 t/ha (16.5-32.1%). Ground cover crops also had a reliable positive effect, especially against an unfertilized background, providing an increase of up to 0.42 t/ha (51.0%). On average, in the experiment, the increase of spring rapeseed yield from spring mixtures was 0.22 t/ha (19.6%), from winter crops - 0.24 t/ha (21.4%). Winter wheat productivity was determined by fertilizer rates (an increase of 0.39-0.64 t/ha or 10.7-17.2%) and the aftereffect of intermediate cover crops, which was maximum against an unfertilized background (up to 0.31 t/ha or 8.8%). Crop rotation productivity increased by 0.25-0.26 thousand units (9.2-9.6%) with the direct seeding and by 0.33-0.56 thousand units (12.7-21.6%) with mineral fertilizers, reaching a maximum of 3.15 thousand units in the $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ variant.

Key words: direct seeding, intermediate cover crops, mineral fertilizer rates, spring rapeseed (*Brassica napus*), winter wheat (*Triticum aestivum*), productivity.

For citation: Methods for increasing the productivity of direct-seeding crop rotation units in the forest-steppe zone of middle Volga region / Toygildin A.L., Toygildina I.A., Chekalin A.M. [et al.] // Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 3 (15). 40-46 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-40-46>

References

1. Kulik KN, Ivanov AL, Rulev AS. Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda 2-e izdanie, dopolnennoe i pererabotannoe. [Protective afforestation development strategy in the Russian Federation through 2025]. 2nd edition, added and revised. Volgograd: FNTs agroekologii RAN. 2018; 36 p.

2. Sokolov MS, Glinushkin AP, Spiridonov YuYa. [Technological features of soil-conserving resource-saving agriculture (in development of FAO concept)]. Agrokhimiya. 2019; 5. 3-20 p. doi: <http://doi.org/10.1134/S000218811905003X>.

3. Grosheva OA. [Positive and negative aspects of resource-saving technologies application in steppe agriculture]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2022; 11. 21-27 p. doi: <http://doi.org/10.17513/use.37923>.
4. Belenkov AI, Mazirov MA, Bereza DV. [Direct sowing and its interpretation in modern agriculture]. *Selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2021; S5(14). 82-87 p. doi: <http://doi.org/10.25930/2687-1254/009.5.14.2021>.
5. Ivanov AL, Dridiger VK, Belobrov VP. [Efficiency and soil-protective role of direct seeding system on Russian black earth regions]. *Pochvovedenie*. 2025; 9. 1225-1238 p. doi: <http://doi.org/10.31857/S0032180X25090105>.
6. Belobrov VP, Shapovalov DA, Dridiger VK. [Soil-protective role of direct seeding in agriculture]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2023; 3(393). 255-260 p. doi: http://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_3_255.
7. Bakirov FG, Vasilev IV, Filippova AV. [Minimization of soil cultivation as an important element of biologization of agriculture in Orenburg region]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2025; Vol.108. 2. 172-185 p. doi: <http://doi.org/10.33284/2658-3135-108-2-172>.
8. Orlova LV, Safin RI, Knurova GV. [Carbon footprint of crop products when using soil-conserving resource-saving agricultural technologies]. *Zemledelie*. 2024; 7. 9-13 p. doi: <http://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-9-13>.
9. Chekaev NP, Kuznetsov AYU. [No-till technology – path to real results]. *Prodovolstvennaya politika i bezopasnost*. 2015; 2 (1). 7-18 p. doi: <http://doi.org/10.18334/ppib.2.1.453>.
10. Dridiger VK, Voloshenkova TV, Gadzhumarov RG. [Efficiency of using direct seeding system on the southern chernozem of Volgograd region]. *Zemledelie*. 2025; 4. 17-23 p. doi: <http://doi.org/10.24412/0044-3913-2025-4-17-23>.
11. Ivanov AL, Kulintsev VV, Dridiger VK, Belobrov VP. [On feasibility of direct seeding system development on Russian black earth regions]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021; 4. 8-16 p. doi: <http://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10401>.
12. Zotova KYu. [Influence of no-till technology on composition and properties of ordinary chernozem. Stability of soil cover and productivity of ecosystems]. *Materialy Mezhrayonalnoy nauchnoy konferentsii, Krasnoyarsk, 22-23 dekabrya 2023 goda*. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 48-54 p.
13. Drepa EB, Vlasova OI, Golub AS. [Influence of cultivation technology on the agrophysical properties of leached chernozems and sunflower yield]. *Zemledelie*. 2020; 3. 18-20 p. doi: <http://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10304>.
14. Pykhtin IG, Dubovik DV, Aydiev AYU. [Current problems in agriculture]. *Zemledelie*. 2018; 5. 8-11 p. doi: <http://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10502>.
15. Gamzikov GP. [No-till system in Siberian agriculture: problems, realities and prospects]. *Zemledelie*. 2024; 3. 10-17 p. doi: <http://doi.org/10.24412/0044-3913-20241-3-10-17>.
16. Tomashova OL, Ilin AV, Zakharchuk PS, Silchenko KR. [Influence of cover crops cultivation on corn yield in the foothill-steppe zone of Crimea]. *Izvestiya selskokhozyaystvennoy nauki Tavriy*. 2021; 27(190). 46-58 p.
17. Tomashova OL. [Method for selecting cover crops and calculating seeding rates]. Patent RF № 2021120324; yayavl 09.07.2001, 18.10.2022.
18. Kiryushin VI, Dridiger VK, Vlasenko AN. [Methodological recommendations for the development of minimum tillage and direct seeding systems]. Moscow: Izdatelstvo MBA. 2019; 136 p. ISBN 978-5-6043225-2-9.
19. Prikaz Minselkhoza Rossii ot 06.07.2017 № 330 “Ob utverzhdenii koefitsientov perevoda v zernovye edinitsey selskokhozyaystvennykh kultur”. [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated July 6, 2017, No. 330, On approval of conversion coefficients for agricultural crops into grain units]. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708010062?index=1>.
20. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy): uchebnik dlya stud. vyssh. s.-kh. ucheb. zavedeniy po agronom. spets.* [Field experiments methodology (with fundamentals of statistical processing of research results): textbook for students of Higher Agricultural Educational Institutions in Agronomy]. 2011; 392 p.

Conflict of interests

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

Authors:

Toygildin Aleksandr Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Agriculture, Crop Production and Breeding Department, e-mail: atoigildin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7713-5283>
 Toygildina Irina Aleksandrovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agriculture, Crop Production and Breeding Department, e-mail: irina1082@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8620-2671>
 Chekalin Artem Mikhaylovich – post-graduate student, e-mail: chekalin.artim@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6230-3465>
 Ayupov Denis Enisovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agriculture, Crop Production and Breeding Department, e-mail: ayupov1989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2329-0181>
 Kuzin Aleksandr Sergeevich – post-graduate student, e-mail: sashakyzin99@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6866-9410>.
 Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russia.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И СЕРОБЕНТОНИТОВЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ РОСС 140 СВ НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ И БОГАРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**И. Ф. Яхин, Ф. Н. Сафиоллин, М. М. Хисматуллин, С. Р. Сулейманов, Н. В. Трофимов**

Реферат. Настоящее исследование посвящено разработке и экспериментальному обоснованию ресурсосберегающей технологии возделывания высокопродуктивного гибрида кукурузы Росс 140 СВ с применением минеральных удобрений и серного бентонита в условиях серых лесных почв Республики Татарстан. Основной целью работы является оценка влияния различных доз серосодержащего бентонита на урожайность, качество зеленой массы кукурузы и экономическую эффективность ее возделывания в условиях орошения и богарного земледелия на серых лесных почвах. В ходе проведенных исследований был заложен двухфакторный полевой опыт, в котором изучалось влияние режима увлажнения (орошение и богара) и различных доз серного бентонита (50, 100, 150 кг/га) на фоне основного минерального удобрения NPK в дозе $N_{141}P_{65}K_{88}$ кг/га. Установлено, что экономически оптимальной дозой серного бентонита является 100 кг/га, которая обеспечивает максимальную прибавку урожайности: до 53,4 т/га зеленой массы в условиях орошения и 43,5 т/га без полива, что на 10% и 11% превышает контрольные показатели соответственно. Также было отмечено значительное улучшение качества зеленой массы – содержание белка увеличилось до 9,5%. Проведенный экономический анализ подтвердил высокую рентабельность предлагаемой технологии, которая составила 62,5% при орошении и 44,1% в богарных условиях. Технология характеризуется сниженным потреблением ресурсов, минимальным воздействием на окружающую среду и высокой рентабельностью, что подтверждено данными, полученными в хозяйствах Татарстана.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays*), серный бентонит, минеральные удобрения, урожайность, серые лесные почвы, орошение, Татарстан, продуктивность.

Для цитирования: Влияние минеральных и серобентонитовых удобрений на урожайность кукурузы Росс 140 СВ на серых лесных почвах в условиях орошения и богарного земледелия / Яхин И.Ф., Сафиоллин Ф.Н., Хисматуллин М.М. [и др.] // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. №3 (15). С. 47-53 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-47-53>

Введение. Кукуруза (*Zea mays* L.) является одной из важнейших сельскохозяйственных культур мирового значения, играющей ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и развитии кормовой базы животноводства [1, 2, 3]. Высокая питательная ценность зерна и универсальность его использования в пищевой, кормовой и технической отраслях обуславливают постоянный интерес к совершенствованию технологий её возделывания [4, 5, 6]. В условиях Республики Татарстан, характеризующихся континентальным климатом с неравномерным распределением осадков и риском засух, особую актуальность приобретает разработка адаптивных ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих стабильную урожайность даже в неблагоприятных погодных условиях [7, 8, 9].

Одним из перспективных направлений повышения продуктивности кукурузы является оптимизация минерального питания растений на основе комплексного применения традиционных удобрений и современных мелиорантов [10, 11, 12]. Серые лесные почвы, широко распространенные в регионе, несмотря на достаточный потенциал плодородия, часто характеризуются дефицитом доступных форм серы – элемента, играющего ключевую роль в синтезе белка и обменных процессах растений. В этой связи использование серного бентонита представляется особенно целесообразным, поскольку он сочетает функции

источника доступной серы и почвенного мелиоранта, улучшающего физико-химические свойства почвы [13, 14, 15].

Гибрид кукурузы Росс 140 СВ, обладающий высокой потенциальной урожайностью и адаптивностью к условиям Среднего Поволжья, представляет собой идеальный объект для апробации новых агроприемов. Однако до настоящего времени недостаточно изучено взаимодействие между минеральными удобрениями, серным бентонитом и водным режимом при возделывании данного гибрида на серых лесных почвах Татарстана [16, 17, 18]. Необходима комплексная оценка влияния этих факторов не только на урожайность, но и на качество продукции, агрофизические свойства почвы и экономическую эффективность производства [19, 20].

Условия, материалы и методы. Полевые исследования по изучению влияния серного бентонита на продуктивность гибрида кукурузы Росс 140 СВ проводились в течение трех вегетационных периодов (2023-2025 годы) на серых лесных почвах агробιοтехнопарка Казанского ГАУ. Опыт закладывался в соответствии с общепринятыми методиками полевых опытов, схема включала изучение двух факторов: условий увлажнения (орошение и богара) и различных доз серного бентонита в сочетании с основным минеральным удобрением $N_{141}P_{65}K_{88}$. Координаты опытного участка: широта – 55,5244865824 и долгота – 48,274901646.

Объектом исследований служил районированный в 7 регионе (Среднее Поволжье) гибрид Росс 140 СВ селекции Краснодарского НИИСХ им. П. П. Лукьяненко.

Исследования проводились в условиях двухфакторного полевого опыта, где изучалось влияние увлажнения (фактор А) и различных доз серного бентонита в сочетании с минеральными удобрениями (фактор В) на урожайность и качество сельскохозяйственной культуры.

Фактор А включал два уровня:

- орошение (оптимальный водный режим);
- без полива (естественное увлажнение).

Фактор В состоял из четырех вариантов применения удобрений:

- контроль (без внесения удобрений и мелиоранта);
- внесение минеральных удобрений в дозе $N_{141}P_{65}K_{88}$ кг/га в сочетании с 50 кг/га серного бентонита;
- норма НРК с увеличением дозы бентонита до 100 кг/га;
- норма НРК с максимальной дозой бентонита (150 кг/га).

Таким образом, схема опыта представляла собой 4×2 факторную модель, включающую 8 вариантов в четырехкратной повторности. Опыт закладывался методом

рэндомизированных блоков для исключения влияния неоднородности почвенного покрова.

Норма внесения удобрений рассчитывалась исходя из планируемой урожайности и содержания питательных элементов в почве. Серный бентонит применялся как мелиорант и источник серы, что особенно актуально для культур, чувствительных к дефициту этого элемента.

Для статистической обработки данных использовали дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим расчетом достоверности различий между вариантами по критерию наименьшей значимой разницы (НСР) при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Данная схема позволила оценить не только индивидуальное влияние каждого фактора, но и их взаимодействие на изучаемые показатели.

Изучаемый агрохимикат серный бентонит вносили после предпосевной культивации сеялкой на глубину 8-10 см

Площадь опытных деленок – 50 м², учетных площадь – 25 м². Повторность вариантов опыте – четырехкратная.

Погодные условия периода вегетации 2023-2025 годов существенно отличались от средних значений (табл.1).

Таблица 1 – Среднесуточная температура воздуха и количество выпавших осадков в годы исследований

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	За май-август
Среднесуточная температура воздуха, °C					
Среднегодовная температура воздуха	14,0	18,3	20,5	18,0	17,7
2023 г., °C	16,0	16,3	21,5	20,2	18,5
в % к среднегодовным	114,3	89,1	104,9	112,2	104,5
2024 г., °C	11,0	21,7	22,1	18,4	18,3
в % к среднегодовным	78,6	118,6	107,8	102,2	103,4
2025 г., °C	14,7	16,5	20,9	19,1	17,8
в % к среднегодовным	105	90,1	101,9	106,1	100,8
Осадки, мм					
Среднегодовная осадки	38	57	62	55	212
2023 г., мм	46,79	6,08	33,07	20,44	106,38
в % к среднегодовным	123,1	10,7	53,3	37,2	50,2
2024 г., мм	52,91	15,81	56,17	28,71	153,6
в % к среднегодовным	139,2	27,7	90,6	52,2	72,5
2025 г., мм	98	82	56	100	336
в % к среднегодовным	257,8	143,8	90,3	181,8	168,4

Анализ метеоданных за вегетационный период 2023-2025 годы показывает, что в эти годы наблюдались значительные колебания в осадках и температуре воздуха по сравнению с среднегодовными значениями.

В 2023 году количество осадков, выпавших в мае, составило 46,79 мм, что является хорошим показателем для этого месяца. В июне осадков было гораздо меньше, всего 6,08 мм, что существенно отличается от мая. В июле количество осадков увеличилось до 33,07 мм, а в августе их было 20,44 мм. Если сложить эти значения, то общее количество осадков за период с мая по

август составило 106,38 мм. Однако, если сравнивать это значение с среднегодовным показателем, то получается, что в 2023 году выпало лишь 50,2% от ожидаемого количества осадков.

Среднесуточная температура воздуха в мае составила 16,0°C, что является нормой для этого месяца. В июне температура воздуха была еще выше, достигая 16,3°C. В июле среднесуточная температура составила 21,5°C, что выше среднегодовных значений всего на 4,9 %. В августе температура воздуха была на уровне 20,2°C, что также выше средних показателей.

В 2024 году количество осадков было в значении 52,91 мм в мае, 15,81 мм в июне, 56,17 мм в июле и 28,71 мм в августе, что в сумме 153,6 мм за май-август. Это составляет 72,5% от среднееголетнего значения. Среднесуточная температура воздуха в этот период значилась 11,0°C в мае, 21,7°C в июне, 22,1°C в июле и 18,4°C в августе. Метеоданные за вегетационный период 2023-2024 годы показывают значительные колебания в осадках и температуре воздуха, что может оказать влияние на урожайность гибридной кукурузы Росс 140 СВ.

2025 год характеризовался количеством осадков, значительно превышающим норму, при температурах, близких к среднееголетним значениям. Все отклонения, кроме августа, были в пределах $\pm 10\%$ от нормы. Средняя температура за лето практически совпала с нормой (+0,1°C), а также он был аномально влажным. Особенно много осадков выпало в мае (257,8% от нормы) и августе (181,8% от нормы). Июнь также был очень влажным (143,8% от нормы). За весь период сумма осадков значительно превысила норму (168,4%). В этих условиях двухкратный полив из расчета 300-350 м³/га обеспечил оптимальные условия для развития растений этой культуры 2022-2024 годов и одним поливом в 2025 году с оросительной нормой 150 м³/га.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования выявили комплексное положительное влияние серного бентонита на формирование продуктивности кукурузы сорта Росс 140 СВ.

Проведенные исследования убедительно демонстрируют, что применение серного бентонита оказывает комплексное

стимулирующее действие на кукурузу, существенно усиливая ее ростовые процессы и продуктивность. Причем положительная динамика наблюдалась в различных условиях возделывания.

В первую очередь, удобрение проявило себя как мощный стимулятор вегетативного развития. Так, в орошаемых условиях высота растений достигла 250 см, что на 40 см (или 19%) превысило показатель контрольной группы (210 см). Еще более значительная относительная прибавка в 22% была зафиксирована в богарных условиях, где растения подросли со 180 см до 220 см. Однако дело не только в высоте. Растения сформировали большее количество листьев (прибавка составила 2-4 шт., или 14-29%), а также нарастили более мощный стебель, диаметр которого увеличился на 12-24%. Это критически важно, поскольку именно утолщенный стебель повышает устойчивость посевов к полеганию. Наибольший эффект от применения серы отмечался в ключевые фазы развития – этапы 6-8 листьев и цветения, когда потребность культуры в этом элементе особенно высока (табл. 2).

Влияние серного бентонита напрямую отразилось на репродуктивных органах, то есть на початках. Анализ показал, что удобрение способствовало формированию более длинных початков (прибавка 3-5 см, или 17-28%), а также увеличению их количества на одном растении на 0,2-0,4 шт. (11-22%). Наряду с этим, значительно возросла масса 1000 зерен – на 40-70 г (14-25%), а плотность зерна в початке увеличилась на 8-12%. В совокупности эти факторы свидетельствуют о мощном воздействии на конечную урожайность (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние серного бентонита и минеральных удобрений на вегетативную массу и структуру урожая кукурузы

Фактор А (увлажнение)	Фактор В (варианты удобрений)	Высота растений, см	Количество листьев, шт.	Длина початка, см	Диаметр стебля, мм	Масса 1000 зёрен, г
Орошение	Контроль (без удобрений)	210	14	18	25	280
	НРК на 50 т/га зеленой массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 50 кг/га	235	16	21	28	320
	НРК на 50 т/га зеленой массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 100 кг/га	245	17	22	30	340
	НРК на 50 т/га зеленой массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 150 кг/га	250	18	23	31	350
Без полива	Контроль (без удобрений)	180	12	15	22	240
	НРК на 50 т/га зеленой массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 50 кг/га	200	14	18	25	280
	НРК на 50 т/га зеленой массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 100 кг/га	215	15	19	27	300
	НРК на 50 т/га зеленой массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 150 кг/га	220	16	20	28	310

Полученные положительные эффекты имеют четкое физиолого-биохимическое обоснование. Серный бентонит активизирует синтез жизненно важных серосодержащих аминокислот, таких как метионин и цистин, что, в свою очередь, улучшает азотный обмен в растениях. Параллельно отмечается повышение активности ферментов углеводного обмена и усиление оттока ассимилятов из листьев в формирующиеся початки. Кроме того, удобрение способствует оптимизации водного режима растений.

Эффективность серного бентонита продемонстрировала четкую зависимость от применяемой дозы. Наблюдалась устойчивая тенденция к росту показателей: при дозе 50 кг/га прибавка по элементам продуктивности составила 12-15%, при увеличении дозы до

100 кг/га она возросла до 18-22%, а максимальный эффект в 20-25% был достигнут при внесении 150 кг/га, что указывает на оптимальность данной нормы.

Результаты эксперимента демонстрируют значительное влияние как режима орошения, так и системы удобрения на все изучаемые показатели. В условиях орошения урожайность зелёной массы кукурузы варьировала от 35,2 т/га в контроле до 53,4 т/га при внесении максимальной дозы серного бентонита (150 кг/га). В богарных условиях эти показатели составили соответственно 28,5 и 43,5 т/га. При этом относительные прибавки урожая под действием удобрений были сопоставимы в обоих режимах увлажнения и достигали 51,7% при орошении и 52,6% без полива (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность и качество зелёной массы кукурузы в зависимости от режима орошения и применения минеральных удобрений и серного бентонита

Фактор А (увлажнение)	Фактор В (варианты удобрений)	Урожайность зелёной массы, т/га	Прибавка к контролю, %	Содержание белка, %
Орошение	Контроль (без удобрений)	35,2	–	7,8
	На 50 т/га зелёной массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 50 кг/га	48,6	-	9,1
	На 50 т/га зелёной массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 100 кг/га	52,1	7,0	9,5
	На 50 т/га зелёной массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 150 кг/га	53,4	10,0	9,7
Без полива	Контроль (без удобрений)	28,5	–	7,0
	На 50 т/га зелёной массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 50 кг/га	39,2	-	8,5
	На 50 т/га зелёной массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 100 кг/га	42,8	9,0	8,9
	На 50 т/га зелёной массы (N ₁₄₁ P ₆₅ K ₈₈) + Серный бентонит, 150 кг/га	43,5	11,0	9,1
HCP ₀₅	А	0,35		
HCP ₀₅	В	0,81		
HCP ₀₅	АВ	2,17		

Качество продукции, оцениваемое по содержанию белка в зелёной массе, также существенно зависело от изучаемых факторов. В орошаемых условиях содержание белка увеличивалось с 7,8% в контроле до 9,7% при внесении NPK+Серного бентонита 150 кг/га. В богарных условиях соответствующие показатели составили 7,0% и 9,1%. Наибольший прирост содержания белка наблюдался при переходе от контроля к варианту с максимальной дозой серного бентонита (150 кг/га).

Особый интерес представляет анализ взаимодействия изучаемых факторов. Результаты показывают, что орошение не только увеличивает абсолютные показатели урожайности, но и усиливает эффективность

действия удобрений. Так, абсолютная прибавка урожая при внесении NPK + серного бентонита 150 кг/га составила 18,2 т/га в условиях орошения против 15,0 т/га в богарных условиях. При этом экономически оптимальной дозой серного бентонита, обеспечивающей наилучшее соотношение затрат и отдачи, во всех случаях оказалась доза 100 кг/га.

Полученные данные имеют важное практическое значение для сельскохозяйственного производства, позволяя оптимизировать систему удобрения кукурузы в зависимости от условий увлажнения. Результаты свидетельствуют о перспективности использования серного бентонита в качестве эффективного серосодержащего удобрения,

способствующего не только увеличению урожайности, но и улучшению качества кормовой продукции.

Особенно важно отметить, что улучшение качественных показателей имело дозозависимый характер. Наибольший эффект достигался при дозе 150 кг/га серного бентонита, однако существенное улучшение качества отмечалось уже при внесении 50 кг/га. В условиях орошения положительное влияние серного бентонита на качество корма проявлялось более значительно, что связано с лучшей доступностью питательных элементов при оптимальном водном режиме.

Выводы. Проведенные исследования доказали высокую эффективность комплексного применения серного бентонита и минеральных удобрений при выращивании гибрида кукурузы Росс 140 СВ на серых лесных почвах Республики Татарстан. Установлено, что экономически оптимальная доза серного бентонита 100 кг/га на фоне НРК (N₁₄₁P₆₅K₈₈ кг/га) обеспечивает максимальную прибавку урожайности до 53,4 т/га зелёной

массы при орошении и 43,5 т/га в богарных условиях, что на 51,7% и 52,6% превышает контрольные показатели. Одновременно отмечается существенное улучшение качества продукции - содержание белка увеличивается до 9,7%, а валовой сбор серы с урожаем возрастает на 122%.

Разработанная технология демонстрирует высокую экономическую эффективность, достигая рентабельности 62,5% при орошении и 44,1% в богарных условиях, что делает её целесообразной для широкого внедрения в сельскохозяйственных предприятиях региона. Применение серного бентонита также способствует улучшению агрофизических свойств почвы: повышается влагоёмкость, увеличивается содержание водопрочных агрегатов и снижаются потери азота от вымывания. Ресурсосберегающая технология является экологически безопасной и обеспечивает устойчивое ведение сельскохозяйственного производства в условиях умеренно-континентального климата Республики Татарстан.

Литература

1. Смирнов А. М., Тюрин В.Г., Семенов В.Г. Проблемы производства экологически безопасной продукции животноводства и пути их решения // Ветеринария и кормление. 2024. № 3. С. 12-18. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-3-1>.
2. Воронкова О. Ю., Петрова Л.И. Производство органической продукции в регионах: экономический, социальный и бюджетный эффект // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 1. С. 38-43. <https://doi.org/10.32651/241-38>.
3. Организационно-экономические основы развития органического сельского хозяйства в условиях современности / С. Л. Алексеев, Н. М. Якушкин, С. А. Шарипов, Ю. С. Сергеева // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 2. С. 73-82. <https://doi.org/10.32651/241-38>.
4. Зависимость урожайности гибридов кукурузы от приемов обработки почвы при возделывании в зоне неустойчивого увлажнения / О. И. Власова, В. М. Передериева, О. Г. Шабалдас [и др.] // Земледелие. 2023. № 6. С. 33-36. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-33-36>.
5. Урожай и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы в разных экологических условиях в зависимости от сроков посева / В. С. Сотченко, А. Г. Горбачева, А. Э. Панфилов [и др.] // Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 26-31.
6. Тюрин А. В., Тойгильдин А.Л., Подсёвалов М.И. Эффективность приемов возделывания кукурузы на зерно в условиях Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3(55). С. 55-65. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-55-62>.
7. Бжинаев Ф. Х. Влияние способов основной обработки почвы на урожай кукурузы при орошении // Аграрный вестник Урала. 2013. № 4(110). С. 4-5.
8. Монастырский В.А., Тищенко Я.С. Влияние оросительных мелиораций при выращивании кукурузы // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 281-294. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-281-294>.
9. Влияние способов основной обработки почвы и удобрений на динамику влажности почвы, водопотребление и урожайность кукурузы при выращивании на силос / В. Н. Фомин, М. М. Нафиков, В. В. Медведев, Д. В. Якимов // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 12. С. 12-16.
10. 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. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-199-223>.
11. Современные методы возделывания кукурузы / Л. Х. Азубеков, А. З. Кушхабиев, А. К. Урусов, А. М. Кагермазов // Земледелие. 2014. № 5. С. 31-32.
12. Ефремова Е.Н., Тютюма Н.В. Влияние агротехнических приемов на урожайность сахарной кукурузы в условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1(49). С. 95-101. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-02-95-101>.
13. 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. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-7-7-10>.
14. 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. <https://doi.org/10.12737/12516>.
15. Роль и место орошаемого земледелия в производстве сельскохозяйственной продукции и его экономическая эффективность (опыт Республики Татарстан) / М. М. Хисматуллин, М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 3(63).

С. 160-166. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-160-166>.

16. Основные тренды роста регионального сельского хозяйства: от объемов к устойчивости / Ф. Н. Мухаметгалиев, А. Р. Валиев, Л. Ф. Ситдикова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 1(73). С. 117-123. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-117-123>.

17. Светлов Н. М. Методика отбора регионов для исследования адаптации сельского хозяйства к изменению климата // Экономика региона. 2023. Т. 19, № 2. С. 480-493. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-2-14>.

18. Волкова Е.А. Оценка экономической эффективности сельскохозяйственного производства Дальнего Востока России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 5(389). С. 473-478. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_5_473.

19. Сафиоллин, Ф. Н. Серный бентонит в технологии производства рапсового масличного сырья в почвенно-климатических условиях Республики Татарстан / Ф. Н. Сафиоллин, С. Р. Сулейманов, С. В. Сочнева // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии, инновации : Материалы Международной конференции. В 3-х частях, Пермь, 11–15 ноября 2024 года. – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2024. – С. 70-77.

20. Влияние серного бентонита на рост и продуктивность подсолнечника / С. Р. Сулейманов, Ф. Н. Сафиоллин, Р. Р. Сулейманов, И. Д. Тахавиев // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2024. – № 1(9). С. 51-56. – DOI 10.12737/2782-490X-2024-51-56.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Яхин Ильдар Фаритович – старший преподаватель кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: ildarsuper97@bk.ru

Сафиоллин Фаик Набиевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: faik1948@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

Хисматуллин Марс Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, директор, email: rezi-almet@yandex.ru ФГБУ Управление «Приволжскмелиоводхоз», Казань, Россия.

Сулейманов Салават Разяпович – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой землеустройства и кадастров, e-mail: dusai@mail.ru

Трофимов Николай Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, e-mail: nik.trofimow@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

EFFECT OF MINERAL AND SULFUR-BENTONITE FERTILIZERS ON ROSS 140 SV CORN YIELD ON GRAY FOREST SOILS UNDER IRRIGATION AND DRYLAND FARMING

I. F. Yakhin, F. N. Safiollin, M. M. Khismatullin, S. R. Suleymanov, N. V. Trofimov

Abstract. This study is devoted to the development and experimental validation of a resource-saving cultivation technology of highly productive Ross 140 SV corn hybrid using mineral fertilizers and sulfur bentonite in gray forest soils of the Republic of Tatarstan. The main objective of the study was to evaluate the effect of different doses of sulfur-containing bentonite on the yield, green mass quality and economic efficiency of corn cultivation under irrigated and dryland farming conditions on gray forest soils. A two-factor field experiment was conducted to examine the effect of moisture regime (irrigation and dryland farming) and different doses of sulfur bentonite (50, 100, and 150 kg/ha) against the background of the main mineral fertilizer NPK at a dose of $N_{141}P_{65}K_{88}$ kg/ha. The economically optimal dose of sulfur bentonite was found to be 100 kg/ha, providing the maximum yield increase: up to 53.4 t/ha of green mass under irrigated conditions and 43.5 t/ha without irrigation, which is 10% and 11% higher than the control values, respectively. A significant improvement in green mass quality was also noted: protein content increased to 9.5%. An economic analysis confirmed the high profitability of the proposed technology, which amounted to 62.5% under irrigated conditions and 44.1% under rainfed conditions. The technology is characterized by reduced resource consumption, minimal environmental impact, and high profitability, as confirmed by data obtained on farms in Tatarstan.

Key words: corn (*Zea mays*), sulfur bentonite, mineral fertilizers, yield, gray forest soils, irrigation, Tatarstan, productivity.

For citation: Effect of mineral and sulfur-bentonite fertilizers on Ross 140 SV corn yield on gray forest soils under irrigation and dryland farming / Yakhin I.F., Safiollin F.N., Khismatullin M.M. [et al.] // Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 3 (15). 47-53 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-47-53>

References

1. Smirnov AM, Tyurin VG, Semenov VG. [Problems of production of ecologically safe livestock products and ways to solve them]. Veterinariya i kormlenie. 2024; 3. 12-18 p. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-3-1>.

2. Voronkova OYu, Petrova LI. [Production of organic products in the regions: economic, social and budgetary effect]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2024; 1. 38-43 p. <https://doi.org/10.32651/241-38>.

3. Alekseev SL, Yakushkin NM, Sharipov SA, Sergeeva YuS. [Organizational and economic foundations of organic agriculture development in modern conditions]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2024; 2. 73-82 p. <https://doi.org/10.32651/241-38>.

4. Vlasova OI, Perederieva VM, Shabaldas OG. [Dependence of corn hybrids productivity on soil cultivation methods during cultivation in the zone of unstable moisture]. Zemledelie. 2023; 6. 33-36 p. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-33-36>.

5. Sotchenko VS, Gorbacheva AG, Panfilov AE. [Yield and harvest moisture content of corn hybrids under different environmental conditions depending on sowing time]. Kornoproizvodstvo. 2019; 4. 26-31 p.

6. Tyurin AV, Toygildin AL, Podsevalov MI. [Efficiency of grain corn cultivation methods in middle Volga region]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2021; 3(55). 55-65 p. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-55-62>.

7. Bzhinaev FK. [The influence of primary tillage methods on the yield of irrigated corn]. Agrarnyy vestnik Urals. 2013; 4(110). 4-5 p.

8. Monastyrskiy VA, Tishchenko YaS. [The influence of irrigation reclamation on growing corn]. Melioratsiya i

gidrotekhnika. 2023; Vol.13. 4. 281-294 p. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-281-294>.

9. Fomin VN, Nafikov MM, Medvedev VV, Yakimov DV. [The impact of primary tillage methods and fertilizers on the dynamics of soil moisture, water consumption, and yield of silage-grown corn]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2017; Vol.31. 12. 12-16 p.

10. Safiollin FN, Khismatullin MM, Lukmanov AA. [Productivity of Ross 140 corn depending on the level of chemicalization of zonal soils of the Republic of Tatarstan]. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V.Dokuchaeva*. 2023; 115. 199-223 p. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-199-223>.

11. Azubekov LKh, Kushkhabiev AZ, Urusov AK, Kagermazov AM. [Modern methods of corn cultivation]. *Zemledele. 2014; 5. 31-32 p.*

12. Efremova EN, Tyutyuma NV. [Influence of agrotechnical practices on the yield of sweet corn in lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. 2018; 1(49). 95-101 p. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-02-95-101>.

13. Gabbasov II, Suleymanov SR, Safiollin FN. [Features of the primary tillage system with irrigation in the soil and climatic conditions of the Republic of Tatarstan]. *Zemledele. 2023; 7. 7-10 p.* <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-7-7-10>.

14. 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. <https://doi.org/10.12737/12516>.

15. Khismatullin MM, Khismatullin MM, Valiev AR. [The role and place of irrigated agriculture in agricultural production and its economic efficiency (experience of the Republic of Tatarstan)]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 3(63). 160-166 p. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-160-166>.

16. Mukhametgaliev FN, Valiev AR, Sitdikova LF. [Main trends in regional agricultural growth: from volume to sustainability]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; Vol.19. 1(73). 117-123 p. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-117-123>.

17. Svetlov NM. [Methodology for selecting regions for studying the adaptation of agriculture to climate change]. *Ekonomika regiona*. 2023; Vol.19. 2. 480-493 p. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-2-14>.

18. Volkova EA. [Assessing the economic efficiency of agricultural production in the Russian Far East]. *Mezhdunarodnyi selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2022; 5(389). 473-478 p. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_5_473.

19. Safiollin FN, Suleymanov SR, Sochneva SV. [Sulfur bentonite in the technology of producing rapeseed oilseed raw materials in the soil and climatic conditions of the Republic of Tatarstan. *Agrotechnologies of the 21st century: development strategy, technologies, innovations*]. *Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii. V 3-kh chastyakh*, Perm, 11-15 noyabrya 2024 goda. Perm: IPTs Prokrost. 2024; 70-77 p.

20. Suleymanov SR, Safiollin FN, Suleymanov RR, Takhaviev ID. [The influence of sulfur bentonite on the growth and productivity of sunflower]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledele. 2024; 1(9). 51-56 p.* – DOI 10.12737/2782-490X-2024-51-56.

Conflict of interest

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

Authors:

Yakhin Ildar Faritovich – senior lecturer of Land Management and Cadastre Department, e-mail: ildarsuper97@bk.ru

Safiollin Faik Nabievich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Land Management and Cadastre Department, e-mail: faik1948@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Khismatullin Mars Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, Director, e-mail: rezi-almet@yandex.ru

Federal State Budgetary Institution “Privolzhskmeliovodkhoz” Management, Kazan, Russia.

Suleymanov Salavat Razyapovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Land Management and Cadastre Department, e-mail: dusai@mail.ru

Trofimov Nikolay Valerevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Land Management and Cadastre Department, e-mail: nik.trofimow@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

ФЕРОМОННЫЙ ПРЕПАРАТ АПИМИЛ ПРИ ПОДСАДКЕ МАТОК И ПОСАДКЕ РОЕВ В УЛЕЙ

И. Р. Гумеров, К. А. Тамбовцев

Реферат. В статье представлены результаты исследования эффективности применения феромонного препарата «Апимил» при выполнении ключевых технологических операций в пчеловодстве — подсадке неплодных маток и посадке роев в улей при чистопородном разведении пчел. Опытным путем установлено, что использование препарата, содержащего синтетические аналоги феромонов железы Насонова и маточного вещества, способствует достоверному увеличению процента приёма маток при различных способах подсадки. В частности, при подсадке в клеточках Титова приём маток увеличился с 70% до 92%, при прямой подсадке — с 56% до 84%. Полученные данные свидетельствуют о выраженном положительном влиянии препарата на поведенческие реакции пчёл по отношению к подсаживаемым маткам в условиях пасечного хозяйства. Также выявлена высокая эффективность препарата при посадке роев: в опытной группе закрепляемость составила 100%, тогда как в контроле — 69,6%. Это говорит о высокой надёжности и практической значимости «Апимила» как средства, стабилизирующего поведение пчёл в стрессовых условиях, возникающих при формировании новых пчелиных семей и их адаптации к улью. Проведённый статистический анализ (точный критерий Фишера, $p < 0,05$) подтвердил достоверность различий между контрольными и опытными группами. Применение препарата «Апимил» обеспечивает стабилизацию феромонного фона в улье, снижает агрессивность пчёл к подсаживаемым особям и предотвращает слёт роев. Это особенно важно при работе с высокоценными племенными семьями, где каждая матка представляет не только генетическую, но и значительную селекционную ценность для пасеки. Полученные результаты позволяют рекомендовать препарат к практическому использованию в пчеловодстве как средство для замены маток и предотвращения слёта роев при работе с чистопородными пчелиными семьями.

Ключевые слова: подсадка маток, посадка роев, феромоны, апимил, среднерусская порода пчёл.

Для цитирования: Гумеров И.Р., Тамбовцев К.А. Феромонный препарат Апимил при подсадке маток и посадке роев в улей // Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2025. №3 (15). С. 54-58 <https://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-54-58>

Введение. Подсадка маток и посадка роев в улей — одни из наиболее ответственных технологических операций в пчеловодстве, от качества которых напрямую зависит жизнеспособность пчелиных семей, их продуктивность и племенные характеристики [1, 2]. Традиционные методы подсадки маток, включающие использование клеток, колпачков и нуклеусов, нередко сопровождаются потерями до 30–40% подсаживаемых особей из-за агрессии пчёл-хозяек [1, 3]. Аналогично, посадка роев в новые ульи сопряжена с риском их слёта, что ведёт к существенным экономическим потерям [1].

В практике пчеловодства применяются несколько базовых методик подсадки маток, основным критерием оценки которых является показатель успешного приёма.

Наиболее распространённым методом считается подсадка маток в специальных клеточках (например, клеточка Титова), которые помещаются в безматочную семью на 1–3 суток. За это время пчёлы постепенно адаптируются к феромонам новой матки, после чего последняя выпускается. Такой метод обеспечивает приём 70–85% маток [4].

Также эффективным является метод подсадки под сетчатый колпачок, закрепляемый на рамке с расплодом. Матка содержится под ним 1–3 дня, что позволяет пчёлам привыкнуть к её запаху. Процент приёма достигает 80–90%, при этом матка может начать

яйцекладку ещё до освобождения [3].

В последние годы увеличилось применение рамочных изоляторов, позволяющих матке откладывать яйца в естественных условиях. Уровень приёма при этом достигает 90% и более [5, 6].

Наиболее надёжным является способ предварительного приживания матки в отводке с последующим объединением с основной семьёй через разделительный материал. Этот метод особенно эффективен при работе с племенными матками и позволяет достичь почти 100% приёма [1]. Однако он требует значительных трудозатрат.

Прямой выпуск матки в семью без изоляции используется реже из-за высокого риска её гибели. При благоприятных условиях (наличие взятка, хорошая погода, точная безматочность и др.) приём может составлять от 60 до 80%, но в целом остаётся низким (до 50%) [3].

Факторами, влияющими на успешность подсадки, являются: состояние матки — плодные матки, находящиеся в стадии активной яйцекладки, принимаются лучше; наличие открытого расплода; отсутствие матки в семье в течение 6–12 часов до подсадки новой; сезон и погодные условия. Весенне-летний период с наличием медосбора считается наиболее благоприятным. Осенняя подсадка требует дополнительной подкормки [7]. Кроме того, поведенческие особенности породы

пчёл могут существенно влиять на результаты: известно, что среднерусская порода проявляет более выраженную защитную реакцию при вмешательстве.

Слёты роев — одна из наиболее частых проблем в пчеловодстве, приводящая к потере до 40–50% пойманных роев [1]. Поэтому, предупреждение слёта роев при их посадке в улей — важная технологическая задача. Для предотвращения слета используют следующие методы: посадка роя в улей в вечернее время, предварительно выдержав рои в темном прохладном месте 1-2 дня, так как ночью, как правило, пчёлы «успокаиваются» и закрепляются в новом месте; размещение матки в клеточке предотвращает стремление роя к переселению; уменьшение летка и затемнение улья; использование вошины и рамок с расплодом (пчёлы охотнее остаются в улье, если есть «работа» — строить вошину или ухаживать за расплодом); закармливание сиропом или мёдом; временное механическое удержание роя (как правило, на лето ставят решётку, т.е. происходит физическое ограничение выхода роя на 1–2 дня, что также способствует привыканию) [1]. Несмотря на обилие приёмов, стабильные результаты достигаются не всегда, что побуждает искать альтернативные или дополняющие средства.

Для улучшения результатов приёмы маток и посадки роев в улей могут применяться синтетические феромонные препараты, имитирующих химические сигналы маток и пчёл [8, 9, 10]. Феромоны пчёл — это биологически активные вещества, которые выделяются железами насекомых в окружающую среду и играют ключевую роль в поддержании сплочённости семьи, а также в регулировании физиологического состояния и поведения её членов [11, 12, 13]. Среди несомненных преимуществ этих средств можно выделить их экологическую безопасность и отсутствие токсичности для пчёл, поскольку в их состав входят исключительно природные вещества, уже используемые насекомыми в процессе жизнедеятельности [14]. Ранние опыты показали относительно высокую эффективность феромонного препарата апимил [15], содержащего синтетические аналоги феромонов железы Насонова (гераниол, цитраль и др.) и маточного вещества (9-оксо-2Е-деценвая кислота), при подсадке маток среднерусской породы пчёл к семьям-помесям, а также посадки роев помесных семей в улей [16, 17, 18]. Однако недостаточно данных о влиянии препарата на приём маток и посадку роев в улей при чистопородном разведении пчёл. Возможно, использование препарата утрачивает практическую значимость из-за унификации феромонного фона в семьях. Это может ставить под сомнение целесообразность его применения в данных условиях.

Целью данной работы явилось изучение влияния препарата апимил на результаты подсадки неплодных маток в пчелосемьи и

посадки роев в улей в условиях чистопородного разведения среднерусской породы пчёл.

Условия, материалы и методы. Опыты проводились в июне 2023–2024 годы на пасеке личного подсобного хозяйства в Балтачевском районе Республики Башкортостан. Пасека (137 пчелосемей) размещалась рядом с липовым лесом и лугами, обеспечивавшими стабильный медосбор. Для опытов использовалась среднерусская порода пчёл (*Apis mellifera mellifera*). Породная принадлежность пчёл определялась на основе морфометрических (длина хоботка, кубитальный индекс, окраска тела и др.) и поведенческих признаков. Все исследуемые семьи отбирались с учётом их однородности по силе и состоянию на момент начала эксперимента, что позволило минимизировать влияние внешних факторов на результат.

Формировали безматочные отводки за сутки до подсадки. Открытые маточники удалялись. Неплодных маток получали путём искусственного вывода. Для этого использовались стандартные методы вывода маток с использованием стартёров и изоляторов, что обеспечивало получение качественных и физиологически полноценных особей.

В опытных группах использовали препарат «Апимил»: 1 г геля наносили на верхние бруски рамок улья; при подсадке маток дополнительно наносили около 30 мг геля на брюшко матки (при прямой подсадке) или на клеточку Титова. Обработка проводилась с соблюдением санитарных норм, при стабильных погодных условиях и в одинаковое время суток, чтобы исключить влияние колебаний температуры и активности лётных пчёл.

В контрольных группах подсадку проводили традиционным способом без применения препарата (Бородачев А.В. и др. Методы проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве. Рыбное, 2002. – 154 с). Все процедуры сопровождался строгим визуальным контролем с фиксацией условий и поведения пчёл в первые часы после подсадки. Оценку приёма проводили по наличию матки в улье, а также по факту начала яйцекладки (через 10 дней).

Для оценки влияния апимила на посадку роев в улей, отлавливали рои в корпуса ульев, обработанные препаратом (1 г геля на внутреннюю поверхность). Корпус улья подносили к месту скопления роя, после чего он залетал внутрь. Улей затем комплектовался рамками с вошиной и закрывался, лето оставался открытым.

В контрольной группе посадку роев осуществляли по общепринятой методике, без использования феромонного препарата. Во время роения рои собирали в роевню и заносили в прохладное, затемнённое помещение — подземный зимовник, где он содержался до вечера следующего дня. На следующий день рой подсаживали в улей

с заранее подготовленными рамками с вощиной. Дополнительные средства стимуляции закрепления семьи не применялись.

В течение первых суток проводилось наблюдение за поведением роя: наличие облёта, ориентационных кругов, характер движения по рамкам и отсутствие признаков

беспокойства служили показателями успешной адаптации.

Результаты и обсуждение. Данные опытов по подсадке неплодных чистопородных пчелиных маток в сформированные отводки среднерусской породы пчел представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние феромонной обработки на приживаемость маток при подсадке в отводки

Группа	Принято маток, шт.	Всего маток, шт.	Процент приёма, %	Разница в приёме, %
В клеточках Титова				
Опытная	23	25	92	+22
Контрольная	17	25	70	-
Прямая подсадка				
Опытная	21	25	84	+28
Контрольная	14	25	56	-

Как видно из таблицы 1, при подсадке маток в клеточках Титова приём в опытной группе составил 92% (23 из 25), а в контрольной — 70% (17 из 25), что дало разницу в 22 процента. Точный критерий Фишера показал статистически значимое различие между группами ($p < 0,05$), что свидетельствует о достоверном положительном влиянии препарата на успешность подсадки маток данным методом.

При прямой подсадке маток приём в опытной группе составил 84% (21 из 25), а в контрольной — 56% (14 из 25), что дало разницу в 28 процентов. Здесь также было выявлено статистически значимое различие ($p < 0,05$), подтверждающее эффективность использования феромонного препарата «Апимил» и при прямом способе подсадки. Таким образом, препарат демонстрирует универсальность действия, обеспечивая положительный эффект независимо от метода введения матки в семью.

В контрольных группах чаще наблюдались случаи агрессии к подсаживаемым маткам, в опытных группах семьи принимали матку более спокойно, т.е. компоненты препарата уменьшали враждебность пчел к

подсаживаемым маткам за счет стабилизации феромонного фона в улье. Подобное поведение указывает на снижение уровня стресса в пчелиной семье, что особенно важно при работе с высокоценными генотипами.

Таким образом, по обоим способам подсадки маток — как в клеточках Титова, так и при прямом выпуске — применение феромонного препарата достоверно повышает уровень приёма неплодных маток в пчелиные семьи. Это позволяет рекомендовать «Апимил» в качестве эффективного средства для повышения продуктивности и жизнеспособности отводков. Результаты полученных данных могут быть полезны при разработке новых протоколов по подсадке маток, направленных на снижение потерь и повышение рентабельности пчеловодных хозяйств.

Для апробации технологии посадки роев в улей было поймана 23 роя по выше предложенной методике (обработка внутренней поверхности корпуса улья 1 г геля «Апимил»; корпус выставлялся на место скопления роя; рой залетал в корпус, который затем комплектовался рамками с вощиной и закрывался). Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Влияние феромонной обработки на посадку роев в улей

Группа	Рои, оставшиеся в улье, шт.	Слёт роев, шт.	Всего посаженных роев, шт.	Процент оставшихся роев, %	Разница, %
Опытная	23	0	23	100	+30,4
Контрольная	16	7	23	69,6	-

В опытной группе, где внутренняя часть корпуса улья обрабатывалась препаратом, закрепляемость роев составила 100% (23 из 23), в то время как в контрольной группе — лишь 69,6% (16 из 23), что дало разницу в 30,4%. Определённый точный критерий Фишера подтвердил статистическую значимость этого различия ($p < 0,05$), что позволяет сделать вывод о высокой эффективности препарата в предотвращении слёта роев при их посадке в улей.

Следовательно, использование «Апимила» при посадке роев достоверно снижает риск

их слёта и может быть рекомендовано для практического применения в пчеловодстве. Препарат может стать незаменимым инструментом для пасечников в период массового роевания, когда оперативность и надёжность фиксации роя особенно важны.

Применение предложенной технологии способствует быстрому восстановлению активности пчёл: уже в день формирования семьи наблюдается начало облёта и активное освоение рамок с вощиной. То есть семья пчел не теряет 1-2 дня как при традиционной методике, что может повысить продуктивность

пчелиных семей за счёт более эффективного использования раннего периода развития. Это особенно ценно при коротком сезоне медосбора, где даже незначительная потеря времени может сказаться на итоговом урожае.

Выводы. Результаты проведённых исследований подтверждают высокую эффективность феромонного препарата «Апимил» при выполнении ключевых технологических операций в пчеловодстве — посадке неплодных маток и посадке роёв в улей. Установлено, что применение препарата при посадке маток способствует достоверному повышению уровня их приёма на 22–28% по сравнению с традиционными методами. Кроме того, использование препарата при посадке роёв обеспечивает 100% закрепляемость семей в ульях.

Таким образом, феромонный препарат «Апимил» может быть рекомендован к практическому применению как эффективное средство повышения приживаемости подсаживаемых маток и предотвращения слёта роёв при чистопородном разведении пчёл.

Использование препарата позволяет не только увеличить технологическую надёжность операций, но и сохранить племенной потенциал пасеки за счёт уменьшения потерь высокоценных маток и семей.

Благодаря своей экологической безопасности и простоте применения, технология может быть внедрена в любых типах пасек без необходимости серьёзных дополнительных затрат.

Литература

1. Афиногенов Л. З. Смена и посадка маток. Бердск: 1994. 121 с.
2. Зыкина Е.А., Дыдыкина У.А. Влияние способа посадки неплодных маток в отводки на продуктивность пчелиных семей // Известия Дагестанского ГАУ. – 2023. № 1 (17). С. 115–119. doi: 10.52671/26867591_2023_1_115.
3. Лебедев В.И., Верещак О.А. Научно обоснованные приёмы посадки маток в семьи пчёл // Пчеловодство. 2009. № 5. С. 10–13.
4. Дыдыкина У.А., Зыкина Е.А. Способы посадки неплодных маток в пчелосемьи // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Пенза, 2022. С. 33–36.
5. Способы посадки неплодных маток в пчелиные семьи / Калимуллин А.М., Хабибуллин Р.М., Жилин В.В. и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 359–363. doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-359-363.
6. Степанов Д.О., Смирнов А.Г. Изолятор для посадки пчелиных маток // Студенческая наука – первый шаг к цифровизации сельского хозяйства: материалы Всерос. студенч. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ. В 3 ч. Чебоксары, 2021. С. 542–543.
7. Галкина Г.А., Кадора С.А., Бородачев А.В. Некоторые факторы, влияющие на успешную посадку пчелиных маток после инструментального осеменения // Пчеловодство. 2018. № 10. С. 14–15.
8. Ишмуратова Н.М., Яковлева М.П., Ишмуратов Г.Ю. От синтеза феромонов насекомых до препаратов // Пчеловодство. 2024. № 9. С. 6–9.
9. Ишимгузина А.С. Посадка плодных маток бурзянской бортовой пчелы в помесные пчелиные семьи // Школа молодых новаторов: сб. науч. ст. междунар. молодеж. науч. конф. В 2 т. 2020. С. 282–285.
10. Тамбовцев К.А., Шмелев Н.А., Ишмуратова Н.М. Применение феромонных препаратов Апимил и Апимил-М для посадки маток // Пчеловодство. 2014. № 7. С. 11–12.
11. McQuillan HJ, Nakagawa S, Mercer AR (2014) Juvenile Hormone Enhances Aversive Learning Performance in 2-Day Old Worker Honey Bees while Reducing Their Attraction to Queen Mandibular Pheromone // PLoS ONE 9(11): e112740. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112740>.
12. Bastin F, Savarit F, Lafon G, Sandoz J-C (2017) Age-specific olfactory attraction between Western honey bee drones (*Apis mellifera*) and its chemical basis // PLoS ONE 12(10): e0185949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185949>.
13. Риб Р. Д. Феромоны медоносной пчелы // Пчеловодство. 2005. №3. С. 21.
14. Тамбовцев К.А. Феромоны сохраняют среду обитания человека // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов V-й Международной научно-практической конференции: в 2 т. Челябинск: ЮУрГУ, 2012. Т. 2. С. 204–206.
15. Ишмуратов Г. Ю., Маннапов А. Г., Харисов Р. Я. и др. Препарат «Апимил» для привлечения и поимки пчелиных роёв // Патент РФ № 2146868, опубл. 27.03.2000 г. в БИ № 9.
16. Просвирин А.П., Просвирин Д.А., Ишмуратова Н.М. Упрощённый способ посадки роёв с помощью феромонного препарата Апимил // Пчеловодство. – 2019. № 5. С. 18–19.
17. Оптимизация технологии посадки пчелиных маток в семьи-помеси / Шарипов А.Я., Ишмуратова Н.М., Тамбовцев К.А. и др. // Пчеловодство. 2019. № 10. – С. 18–21.
18. Феромонный препарат апимил в защите бурзянских пчел от метизации / Н. М. Ишмуратова, А. Я. Шарипов, К. А. Тамбовцев и др. // Пчеловодство. 2023. №1. С. 20–22.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Гумеров Илдар Рафгатович - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: ildar.gu@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.
Тамбовцев Константин Александрович - доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии, экологии и химии, e-mail: tambka@mail.ru
Уфимский университет науки и технологий (Бирский Филиал), Бирск, Россия.

APIMIL PHEROMONE PRODUCT FOR TRANSPLANTING QUEENS AND PLANTING SWARMS INTO THE HIVE

I. R. Gumerov, K. A. Tambovtsev

Abstract. This article presents the results of a study examining the effectiveness of Apimil pheromone product in performing key technological operations in beekeeping – planting infertile queens and swarms into the hive during purebred bee breeding. Experiments have shown that the use of a product containing synthetic analogues of Nasonov's gland pheromones and queen bee substance significantly increases queen acceptance rates across various introduction methods. Specifically, queen acceptance increased from 70% to 92% with Titov cages, and from 56% to 84% with direct introduction. The findings demonstrate a significant positive effect of the product on bees' behavioral responses to introduced queens in apiary conditions. The product was also found to be highly effective in establishing swarms: 100% of the swarms were established in the experimental group, compared to 69.6% in the control group. This demonstrates the high reliability and practical value of Apimil as a means of stabilizing bee behavior under stressful conditions that arise during the formation of new bee colonies and their adaptation to the hive. Statistical analysis (Fisher's exact test, $p < 0.05$) confirmed the significant differences between the control and experimental groups. The use of Apimil stabilizes the pheromone levels in the hive, reduces bee aggression toward newly introduced individuals, and prevents swarms from dispersing. This is especially important when working with high-value breeding colonies, where each queen represents not only genetic but also significant breeding value for the apiary. The obtained results allow us to recommend the drug for practical use in beekeeping as a means of replacing queens and preventing swarms from escaping when working with purebred bee colonies.

Key words: transplanting queen, planting swarms, pheromones, Apimil, Central Russian bee breed.

For citation: Gumerov I.R., Tambovtsev K.A. Apimil pheromone product for transplanting queens and planting swarms into the hive. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 3 (15). 54-58 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-54-58>

References

1. Afinogenov LZ. Smena i podsadka matok. [Changing and transplanting queens of queens]. Berdsk. 1994; 121 p.
2. Zykina EA, Dydykina UA. [The influence of method of infertile queens introducing into colonies on bee colonies productivity]. *Izvestiya Dagestanskogo GAU*. 2023; 1 (17). 115-119 p. doi: 10.52671/26867591_2023_1_115.
3. Lebedev VI, Vereshchaka OA. [Scientifically based methods of introducing queens into bee colonies]. *Pchelovodstvo*. 2009; 5. 10-13 p.
4. Dydykina UA, Zykina EA. [Methods of introducing infertile queens into bee colonies. The contribution of young scientists to innovative development of the Russian agro-industrial complex]. *Sbornik materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. Penza*. 2022; 33-36 p.
5. Kalimullin AM, Khabibullin RM, Zhilin VV. [Methods of introducing infertile queens into bee colonies]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; 6 (92). 359-363 p. doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-359-363.
6. Stepanov DO, Smirnov AG. [Isolator for introducing queen bees. Student science is the first step towards the digitalization of agriculture]. *Materialy Vseros. studench. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu FGBOU VO Chuvashskiy GAU. v 3 ch. Cheboksary*. 2021; 542-543 p.
7. Galkina GA, Kadora SA, Borodachev AV. [Some factors influencing the successful introduction of queen bees after instrumental insemination]. *Pchelovodstvo*. 2018; 10. 14-15 p.
8. Ishmuratova NM, Yakovleva MP, Ishmuratov GYu. [From the synthesis of insect pheromones to preparations]. *Pchelovodstvo*. 2024; 9. 6-9 p.
9. Ishimguzhina AS. [Introducing fertile queens of Burzyan wild bee into crossbred bee colonies]. *Shkola molodykh novatorov: sb.nauch. st. mezhdunar. molodezh. nauch. konf. V 2 t*. 2020; 282-285 p.
10. Tambovtsev KA, Shmelev NA, Ishmuratova NM. [Use of pheromone preparations Apimil and Apimil-M for introducing queens]. *Pchelovodstvo*. 2014; 7. 11-12 p.
11. McQuillan HJ, Nakagawa S, Mercer AR. Juvenile hormone enhances aversive learning performance in 2-day old worker honey bees while reducing their attraction to queen mandibular pheromone. *PLoS ONE*. 9 (11). 2014; e112740. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112740>.
12. Bastin F, Savarit F, Lafon G, Sandoz JC. Age-specific olfactory attraction between Western honey bee drones (*Apis mellifera*) and its chemical basis. *PLoS ONE*. 12(10). 2017; e0185949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185949>.
13. Rib RD. [Honey bee pheromones]. *Pchelovodstvo*. 2005; 3. 21 p.
14. Tambovtsev KA. [Pheromones preserve the human habitat. Life safety in the third millennium]. *Sbornik materialov V-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 t. Chelyabinsk: YuUrGU*. 2012; Vol.2. 204-206 p.
15. Ishmuratov GYu, Mannapov AG, Kharisov RYA. [Apimil drug for attracting and capturing bee swarms]. *Patent RF No 2146868*, publ. 27.03.2000. v BI No 9.
16. Prosvirin AP, Prosvirina DA, Ishmuratova NM. [A simplified method for introduction of swarms using Apimil pheromone drug]. *Pchelovodstvo*. 2019; 5. 18-19 p.
17. Sharipov AYa, Ishmuratova NM, Tambovtsev KA. [Optimization of introducing queen bees into crossbred colonies technology]. *Pchelovodstvo*. 2019; 10. 18-21 p.
18. Ishmuratova NM, Sharipov AYa, Tambovtsev KA. [Apimil pheromone preparation in the protection of Burzyan bees from crossbreeding]. *Pchelovodstvo*. 2023; 1. 20-22 p.

Conflict of interests

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

Authors:

Gumerov Ildar Rafgatovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of Agrochemistry and Soil Science Department, e-mail: ildar.gu@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Tambovtsev Konstantin Aleksandrovich - Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of Department of Biology, Ecology, and Chemistry, e-mail: tambka@mail.ru

Ufa University of Science and Technology (Birsk Branch), Birsk, Russia.

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ СОМАТОТРОПИНОВОГО КАСКАДА У КОРОВ ДЖЕРСЕЙСКОЙ ПОРОДЫ

Д. В. Зарубежнова, Р. Р. Шайдуллин, Т. М. Ахметов, Ф. Ф. Зиннатов, С. В. Тюлькин

Реферат. В статье представлены результаты исследования полиморфизма генов соматотропного каскада (GH, PRL, PIT1) у коров-первотелок джерсейской породы. Аллельные варианты генов PRL, PIT1, GH определены методом полимеразной цепной реакции с последующим определением полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ), при этом использовались эндонуклеазы рестрикции Alu I, RsaI и HinfI. Идентификация результатов рестрикции проводилась электрофорезом на агарозном геле. Встречаемость аллелей и генотипов установлена согласно Е.К. Меркурьевой, расчёт наблюдаемого и ожидаемого распределения проведена методом Харди-Вайнберга, а также рассчитаны показатели генетического равновесия, коэффициенты инбридинга и информативности полиморфизма. Установлено, что по гену PRL преобладает аллель А (0,71) и генотипы АА (48,3%) и ВВ (44,8%), по гену PIT1 – аллель В (0,78) и генотип ВВ (63,2%), а по гену GH частоты аллелей L и V составляют 0,53 и 0,47 соответственно, при превосходстве генотипа LV (52,9%). Все исследованные локусы находятся в состоянии равновесия Харди-Вайнберга ($\chi^2 < 3,84$). Отрицательные значения коэффициентов инбридинга свидетельствуют об избытке гетерозигот, что может быть связано с проявлением гетерозисного эффекта и отбором в пользу гетерозиготных животных. Наиболее полиморфным среди исследованных локусов является локус GH (PIC=0,374), затем локусы PRL (PIC=0,329) и PIT1 (PIC=0,287). Все три локуса характеризуются умеренной информативностью для селекционной работы. Полученные результаты могут быть использованы для разработки программ маркер-ориентированной селекции джерсейской породы.

Ключевые слова: коровы, джерсейская порода, полиморфизм, соматотропин, пролактин, PIT1, генетические маркеры, селекция.

Для цитирования: Полиморфизм генов соматотропного каскада у коров джерсейской породы / Зарубежнова Д.В., Шайдуллин Р.Р., Ахметов Т.М. [и др.] // Агробiotехнологии и цифровое земледелие. 2025. №3 (15). С. 59-64 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-59-64>

Введение. Селекционная работа настоящего времени в отрасли молочное скотоводство в большей степени интегрирует достижения молекулярной генетики, и это повышает эффективность отбора животных с желательными хозяйственно-полезными признаками. Особый интерес для селекционеров представляют гены соматотропного каскада, которые участвуют в регуляции процессов роста, развития и лактации у крупного рогатого скота [1].

К главным генам соматотропного каскада принято относить ген гормона роста (GH), ген пролактина (PRL) и ген гипофизарного фактора транскрипции (PIT1). Гормон роста участвует в регуляции процессов онтогенеза организма, а также влияет на лактационную деятельность животного [2, 3]. Пролактин в большей степени участвует в регуляции молочной продуктивности, осуществляя процессы инициации и поддержания лактации [4]. Гипофизарный фактор транскрипции PIT1 контролирует экспрессию генов GH и PRL, тем самым опосредованно влияя на молочную продуктивность [5].

Соматотропный каскад представляет собой сложную систему нейрогуморальной регуляции, включающую гипоталамус, гипофиз и периферические ткани. Центральными компонентами этой системы являются гормон роста (соматотропин), пролактин и различные транскрипционные факторы, контролирующие их синтез и секрецию [6, 7].

Гормон роста синтезируется соматотрофами передней доли гипофиза под контролем

гипоталамических факторов – соматолиберина и соматостатина. У лактирующих коров гормон роста также стимулирует молочную продуктивность путем усиления притока питательных веществ к молочной железе и повышения эффективности их использования для синтеза компонентов молока [8, 9].

И.С. Кожевникова и соавторы [6] обнаружили частоту аллеля L, равную 0,82-0,85 в популяции холмогорского скота. Исследования Р.Р. Шайдуллина и соавторов [10], проведенные в Республике Татарстан, показали, что генотип GH LL у черно-пестрой и холмогорской пород составил 51,0-79,2%.

Пролактин, секретируемый лактотрофами передней доли гипофиза, имеет значение в регуляции лактации самки. Он оказывает стимулирующее действие на рост и развитие молочной железы в период беременности, запускает лактогенез в перипартальный период и поддерживает лактацию после родов. Пролактин оказывает свое действие через специфические рецепторы, экспрессируемые в эпителиальных клетках молочной железы, активируя сигнальные каскады, которые регулируют экспрессию генов, кодирующих белки молока [11, 12].

Частота встречаемости аллелей гена PRL варьирует у разных пород крупного рогатого скота. И.Ю. Долматова и соавторы [13] сообщили о преобладании аллеля А (0,86) у черно-пестрой породы. Исследования А.А. Оздемирова и соавторов [14] выявили более высокую частоту аллеля А (0,75-0,87) у кавказской

бурой породы содержащихся в разных природно-климатических зонах Дагестана.

Гипофизарный фактор транскрипции PIT1 (также известный как POU1F1) является важным регулятором экспрессии генов гормона роста и пролактина. Он взаимодействует с промоторными областями этих генов, активируя их транскрипцию. Кроме того, PIT1 необходим для дифференцировки и пролиферации соматотрофов и лактотрофов в гипофизе [15]. Таким образом, PIT1 опосредованно влияет на молочную продуктивность через регуляцию синтеза гормона роста и пролактина [16].

Частота аллелей гена PIT1 значительно варьирует у разных пород крупного рогатого скота. Э.Р. Гайнутдинова и соавторы [17] сообщили о преобладании аллеля В (0,68) у голштинской породы, а у Кыргызстанской популяции голштинского скота выше частота встречаемости аллеля В (0,79) [18]. Аналогично у красно-степной - 0,69, чуть меньше у симментальской породы - 0,55 [19]. Исследованиями некоторых авторов выявлено более высокая частота аллеля В у кавказской бурой (0,80) [14] и голштинской породы (0,88) [18].

При многообразии аллельного спектра генов PIT-1, PRL, GH генотипы, которые несут желательные аллели, имеют разную частоту встречаемости, и зависят как от гена, так и популяционной принадлежности особи [18]. Следовательно, изучение полиморфизма генов соматотропного каскада у молочного скота представляет научный и практический интерес, поскольку может способствовать выявлению генетических маркеров продуктивности и совершенствованию селекционной работы.

Целью настоящего исследования являлось изучение полиморфизма генов соматотропного каскада (GH, PRL, PIT1) у коров джерсейской породы и определение их генетической структуры по данным локусам.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились на поголовье коров-первотелок джерсейской породы (n=87), содержащихся в условиях ООО имени Тимирязева Балтасинского района Республики Татарстан. Животные находились в аналогичных условиях содержания и кормления, соответствующих зоотехническим нормам.

Для проведения молекулярно-генетического анализа у каждого животного из хвостовой вены отбирали пробы крови в вакуумные пробирки с ЭДТА в качестве антикоагулянта. Выделение ДНК осуществляли с

использованием коммерческого набора согласно инструкции производителя.

Генотипирование по локусам GH, PRL и PIT1 проводили методом полимеразной цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ). Для амплификации фрагментов исследуемых генов использовали специфические праймеры, описанные в литературе [20, 21, 22].

Амплификацию проводили с 2 мкл ДНК-образца, общий объем реакционной смеси в одной пробирке составлял 20 мкл. Для проведения рестрикционного гидролиза использовали следующие ферменты: 5 ед. эндонуклеазы RsaI в 1× буфере «В» (ген PRL), эндонуклеазы HinfI в 1× буфере «О» (ген PIT1), эндонуклеазы AluI в 1× буфере «Y» (ген GH).

Полученные ПЦР-продукты подвергали рестрикции с использованием соответствующих эндонуклеаз: AluI для гена GH, RsaI для гена PRL и HinfI для гена PIT1. Реакцию рестрикции проводили при 37°C в течение 16 часов согласно рекомендациям производителя ферментов.

Продукты рестрикции разделяли методом электрофореза в 2% агарозном геле. Визуализацию результатов осуществляли в УФ-трансиллюминаторе с документированием в системе гель-документации.

Идентификацию генотипов проводили на основании специфических паттернов рестрикции:

- для гена GH: LL – 159, 52 п.н.; LV – 211, 159, 52 п.н.; VV – 211 п.н.;
- для гена PRL: AA – 156 п.н.; AB – 156, 82, 74 п.н.; BB – 82, 74 п.н.;
- для гена PIT1: AA – 451 п.н.; AB – 451/244/207 п.н.; BB – 244/207 п.н.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием общепринятых методов популяционной генетики. Частоты генотипов и аллелей определяли методом прямого подсчета. Соответствие распределения генотипов равновесию Харди-Вайнберга оценивали с помощью критерия χ^2 с одной степенью свободы. Так же поголовье было оценено по коэффициенту инбридинга (Fis), и на информативность полиморфизма (PIC) по каждому отдельно взятому гену-маркеру.

Результаты и обсуждение. Анализируя данные по полиморфизму гена PRL у коров джерсейской породы установлено присутствие трех генотипов: AA, AB и BB. Результаты генотипирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Полиморфизм гена пролактина (PRL) у коров джерсейской породы

Показатель	n	Частота генотипа						Частота аллеля		χ^2	Fis	PIC
		AA		AB		BB						
		n	%	n	%	n	%	A	B			
О	87	42	48,3	39	44,8	6	6,9	0,71	0,29	0,48	-0,083	0,329
Е		44	50,6	36	41,4	7	8,0					

Примечание: здесь и далее: Н – наблюдаемое; О – ожидаемое; $\chi^2_{крит}(\alpha=0,05) = 3,84$; Fis – коэффициент инбридинга; PIC – мера информативности полиморфизма (0 – маркер мономорфен, 0,25-0,50 – умеренно информативный маркер, 0,50 и выше – высокоинформативный маркер)

Как видно из таблицы 1, наиболее распространенным генотипом в исследуемой популяции является генотип PRL AA (48,3%), за ним следует гетерозиготный генотип АВ (44,8%), а наименее распространенным является генотип ВВ (6,9%). Частота аллеля А (0,71) значительно превышает частоту аллеля В (0,29).

Распределение генотипов в исследуемой стаде скота соответствует теоретически ожидаемому согласно закону Харди-Вайнберга, о чем свидетельствует значение $\chi^2=0,48$, которое меньше критического (3,84) при уровне значимости 0,05. Это указывает на отсутствие направленного отбора по данному локусу в исследуемой популяции.

Отрицательное значение коэффициента инбридинга ($Fis=-0,083$) свидетельствует о незначительном избытке гетерозигот, что может быть связано с проявлением гетерозисного эффекта и отбором в пользу гетерозиготных животных. Показатель информативности полиморфизма ($PIC=0,329$) указывает на умеренную информативность локуса PRL для использования в селекционной работе.

Полученные нами результаты по частоте аллелей гена PRL согласуются с другими нашими данными [10], которые

также показывают преобладание аллеля А (0,84-0,87) у молочных пород Татарстана. Однако в нашем исследовании частота аллеля А несколько ниже (0,71), что может быть обусловлено особенностями генетической структуры популяции джерсейского скота.

Преобладание аллеля А в исследуемой популяции может быть результатом направленной селекции на молочную продуктивность, поскольку, согласно литературным данным [5, 7], данный аллель ассоциирован с более высоким удоем. Однако для джерсейской породы, которая селекционируется преимущественно на высокое содержание жира и белка в молоке, представляет интерес и аллель В, который ассоциирован с повышенной жирномолочностью.

Результаты генотипирования по локусу PIT1 представлены в таблице 2.

Полиморфизм по гену PIT1 показал, что в исследуемом стаде джерсейских коров преобладает генотип ВВ (63,2%), гетерозиготный генотип АВ встречается у 28,7% животных, а генотип АА имеет наименьшую частоту – 8,1% (табл. 2). Частота аллеля В (0,78) значительно превышает частоту аллеля А (0,22).

Таблица 2 – Полиморфизм гена гипофизарного фактора транскрипции (PIT1) у коров джерсейской породы

Показатель	n	Частота генотипа						Частота аллеля		χ^2	Fis	PIC
		AA		AB		BB						
		n	%	n	%	n	%	A	B			
О	87	7	8,1	25	28,7	55	63,2	0,22	0,78	3,16	-0,200	0,287
Е		4	4.6	30	34.5	53	60.9					

Значение критерия χ^2 для гена PIT1 составило 3,16, что ниже критического значения (3,84 при $p=0,05$), но приближается к нему, что может указывать на начальные стадии нарушения генетического равновесия по данному локусу. Отрицательное значение коэффициента инбридинга ($Fis=-0,200$) свидетельствует об избытке гетерозигот по сравнению с теоретически ожидаемым количеством. Показатель информативности полиморфизма ($PIC=0,287$) указывает на умеренную информативность локуса PIT1 для селекционной работы.

Полученные результаты согласуются с данными А.А. Оздемирова и соавторов [14],

которые также отмечали преобладание аллеля В (0,82-0,90) у молочного скота.

Результаты генотипирования по локусу GH представлены в таблице 3.

При анализе полиморфизма гену GH установлено наличие трех генотипов: LL, LV и VV. Наиболее встречаемым генотипом выявлен гетерозиготный генотип GH LV (52,9%), а гомозиготный генотип LL встречается у 26,4% животных, а генотип VV – у 20,7% особей. Частоты аллелей L и V составляют 0,53 и 0,47 соответственно, что указывает на относительно равномерное распределение данных аллелей в исследуемой популяции.

Таблица 3 – Полиморфизм гена соматотропина (GH) у коров джерсейской породы

Пока- затель	n	Частота генотипа						Частота аллеля		χ^2	Fis	PIC
		LL		LV		VV						
		n	%	n	%	n	%	L	V			
О	87	23	26,4	46	52,9	18	20,7	0,53	0,47	0,42	-0,070	0,374
Е		25	28,7	43	49,4	19	21,9					

Распределение генотипов соответствует равновесию Харди-Вайнберга ($\chi^2=0,42 < 3,84$). Отрицательное значение коэффициента инбридинга ($Fis=-0,070$) свидетельствует о незначительном избытке гетерозигот. Показатель информативности полиморфизма ($PIC=0,374$) указывает на умеренную информативность локуса 7GH для

селекционной работы.

Полученные нами результаты отличаются от данных многих ученых [10, 23, 24], которые сообщали о более высокой частоте генотипа L у черно-пестрой (0,87), ярославской (0,70) и холмогорской (0,87) породы, а также укавказской бурой породы (0,67-0,80) [15]. В нашем исследовании частоты аллелей L и V

более сбалансированы (0,53 и 0,47 соответственно), что может быть обусловлено особенностями популяции джерсейского скота.

Относительно высокая частота аллеля V в исследуемой популяции согласуется с направлением селекции джерсейской породы на жирномолочность, поскольку, по данным И.Ю. Долматовой и соавторов [13], данный аллель связан с высоким содержанием жира в молоке. Однако значительная доля аллеля L может указывать на смешанное направление селекции, учитывающее не только качественные, но и количественные показатели молочной продуктивности.

Выводы. Сравнительный анализ полиморфизма трех исследованных генов соматотропного каскада у коров джерсейской породы позволяет выявить некоторые закономерности:

1. По гену пролактина выявлено преобладание аллеля A (0,71) и генотипов: PRL AA (48,3%), PRL AB (44,8%). По гену гипофизарного фактора транскрипции PIT1 наблюдается выраженное доминирование аллеля B (0,78) и генотипа PIT1 BB (63,2%). По гену соматотропина отмечено относительно

равномерное распределение аллелей L (0,53) и V (0,47), с преобладанием гетерозиготного генотипа GH LV (52,9%)

2. Все три локуса находятся в состоянии генетического равновесия, что указывает на отсутствие интенсивного направленного отбора по данным генам в последних поколениях. Отрицательные значения коэффициентов инбридинга свидетельствуют об избытке гетерозигот, что может быть связано с проявлением гетерозисного эффекта и отбором в пользу гетерозиготных животных.

3. Наиболее полиморфным среди исследованных локусов является локус GH (PIC=0,374), за ним следуют локусы PRL (PIC=0,329) и PIT1 (PIC=0,287). Все три локуса характеризуются умеренной информативностью для селекционной работы.

4. Преобладание аллеля A гена PRL, аллеля B гена PIT1, а также аллеля V гена GH в исследуемом стаде соответствует направлению селекции джерсейской породы на высокое содержание жира и белка в молоке, поскольку, данные аллели ассоциированы с качественными показателями молочной продуктивности.

Литература

1. Характеристика молочной продуктивности коров-первотелок с разными генотипами соматотропина (GH) / Н. Ю. Сафина, И. Ю. Гилемханов, Ф. Ф. Зиннатова, Ш. К. Шакиров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3. С. 58-61. https://doi.org/10.12737/article_5db9535ed384a3.87060395
2. Герасимов Н. П. Генетическая структура казахского белоголового скота по комбинации полиморфизмов GH (G. 2141C>G) и GHR (G. 914T>A) // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 97. С. 155-160. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-97-155-160>
3. Герасимов Н. П. Оценка продуктивных качеств и эффективности выращивания молодняка казахской белоголовой породы в зависимости от генотипа по генам GH и GHR // Пермский аграрный вестник. 2023. № 4 (4). С. 95-100. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_44_95
4. Чевтаева Н. Д., Зиннатова Ф. Ф., Бикчантаев И. Т. Изучение ассоциации гена гормона пролактина (PRL) с молочной продуктивностью коров голштинской породы // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 94-98. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp94-98>
5. The frequency of somatotrophic cascade polymorphic genes appearance and the meatiness and health of auliekol and kazakh white-headed cattle / B. Miciński, A. Nametov, I. Beishova et al. // Veterinarski Arhiv. 2022. Т. 92. № 5. С. 549-558. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.1419>
6. Частота встречаемости гена соматотропина у коров холмогорской породы / И. С. Кожевникова, Н. А. Худякова, А. О. Ступина и др. // Пермский аграрный вестник. 2025. № 2 (50). С. 94-100. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2025_50_94
7. The Influence of Growth Hormone Gene Polymorphism on Growth Rate of Young Cattle / T. A. Sedykh, I. Y. Dolmatova, F. R. Valitov et al. // Iranian Journal of Applied Animal Science. 2020. Vol. 10(3). P. 445-451.
8. Ярышкин А. А., Шаталова О. С., Лешонок О. И. Ассоциации полиморфных вариантов гена соматотропина с хозяйственно-ценными показателями коров // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 60-70. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-60-70>
9. Effect of GH p.L127V Polymorphism and Feeding Systems on Milk Production Traits and Fatty Acid Composition in Modicana Cows / S. Bordonaro, S. Tumino, D. Marletta et al. // Animals. 2020. V. 10. P. 1-10. <https://doi.org/10.3390/ani10091651>
10. Полиморфизм генов пролактина и соматотропина у молочного скота Республики Татарстан / Р. Р. Шайдуллин, А. Б. Москвичева, Т. Х. Фаизов и др. // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 7. С. 22-25. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.72.10.005>
11. Шевцова А. А., Климов Е. А., Ковальчук С. Н. Обзор вариативности генов, связанных с молочной продуктивностью крупного рогатого скота // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11. С. 194-200.
12. Тарасова Е.И., Нотова С.В. Гены-маркеры продуктивных характеристик молочного скота (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т.103, № 3. С.58-80. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-58>
13. Взаимосвязь полиморфных генов пролактина и соматотропина крупного рогатого скота с молочной продуктивностью / И. Ю. Долматова, И. Н. Ганиева, Т. В. Кононенко и др. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2020. №1(53). С.70-78. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-53-1-70-78>
14. Полиморфизм генов PIT-1, PRL, GH молочного скота кавказской бурой породы, разводимого в различных природно-экологических зонах Республики Дагестан / А.А. Оздемиров, М.И. Селионова, Л.Н. Чижова и др. // Юг России: экология, развитие. 2020. 15(2). 165-171. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-165-171>

15. Межпородная дифференциация аллельного полиморфизма генов CSN3, PIT-1, PRL, GH, LEP молочного скота / Л. Н. Чижова, Е. С. Суржикова, А. И. Чудновец и др. // Вестник АПК Ставрополья. 2020. № 1 (37). С. 34-38. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2020-9-37-34-38>.
16. Grădinaru A. C., Ilie D. E. Molecular insights into PRL and PRLR genes' influence on milk obtaining - A review // Anim. Biol. Anim. Husb. 2022. No. 14. P. 12-17.
17. Связь полиморфизма гена PIT-1 (POU1F1) с признаками молочной продуктивности и воспроизводительной способности голштинского крупного рогатого скота / Э. Р. Гайнутдинова, Н. Ю. Сафина, Ф. Ф. Зиннатова, Ш. К. Шакиров // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 69-73. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11115>.
18. Оценка генетического разнообразия алатауской, черно-пестрой и голштинской пород крупного рогатого скота Кыргызстана по генам PRL, GH и PIT-1 / Ж. Т. Исакова, В. Н. Кипень, К. Б. Чекиров и др. // Молочное и мясное скотоводство. 2019. № 3. С. 10-14.
19. Полиморфные варианты гена PIT-1 крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Республики Казахстан / Г. Г. Джаксыбаева, Н. Н. Кочнев, Н. Н. Кайниденов // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (68). С. 167-175. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175>
20. Association of genetic variants of bovine prolactin with milk production traits of Black-and-White and Jersey cattle / A. Dybus, W. Grzesiak, H. Kamieniecki [et al. // Arch. Tierz. 2005. V. 48, N 2. P. 149-156. <https://doi.org/10.5194/aab-48-149-2005>.
21. Associations between polymorphisms of growth hormone releasing hormone (GHRH) and pituitary transcription factor 1 (PIT1) genes and production traits of limousine cattle / A. Dybus, M. Kmiec, Z. Sobek, W. Pietrzyk // Archives Animal Breeding. 2003. V 46 (6). P- 527-534. <https://doi.org/10.5194/aab-46-527-2003>.
22. Nucleotide sequence of the bovine growth hormone chromosomal gene / D. F. Gordon et al. // Mol. Cell. Endocrinol. 1983. V. 33. P. 81-95. [https://doi.org/10.1016/0303-7207\(83\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0303-7207(83)90058-8)
23. Ильина А. В., Абрамова М. В., Евдокимов Е. Г. Полиморфизм аллельных вариантов генов белков молока у ярославской породы крупного рогатого скота // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 108-114. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp108-114>.
24. Полиморфизм генов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP у холмогорских коров / В. Л. Ялуга, В. П. Прожерин, Я. А. Хабибрахманова и др. // Молочное и мясное скотоводство. 2018. № 4. С. 5-8.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Зарубежнова Диана Викторовна – аспирант, e-mail: diana.zarubezhnova.99@mail.ru
 Шайдуллин Радик Рафаилович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, e-mail: tppi-kgau@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-3327>
 Ахметов Тахир Мунавирович - доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, генетики, общей и биологической химии, e-mail: ahmetov-tahir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3495-2432>
 Зиннатов Фарит Фатихович – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, генетики, общей и биологической химии, e-mail: ffzinnatov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.
 Тюлькин Сергей Владимирович – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail.ru: tulstv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5379-237X>
 Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской Академии наук, Москва, Россия.

POLYMORPHISM OF SOMATROPIN CASCADE GENES IN JERSEY COWS

D. V. Zarubezhnova, R. R. Shaydullin, T. M. Akhmetov, F. F. Zinnatov, S. V. Tyulkin

Abstract. This article presents the results of a study of somatotropin cascade gene polymorphisms (GH - somatotropin, PRL - prolactin, PIT1 - pituitary transcription factor) in first-calf Jersey cows. Allelic variants of PRL, PIT1 and GH genes were identified by polymerase chain reaction followed by restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP), using the restriction endonucleases Alu I, RsaI and HinfI. Restriction results were identified by agarose gel electrophoresis. The frequency of alleles and genotypes was determined according to E.K.Merkurieva, the observed and expected distributions were calculated using the Hardy-Weinberg method, and the indices of genetic equilibrium, inbreeding coefficients and polymorphism informativeness were calculated. It was established that A (0.71) allele and AA (48.3%) and BB (44.8%) genotypes predominate for PRL gene, B (0.78) allele and BB (63.2%) genotype predominate for PIT1 gene, L and V allele frequencies are 0.53 and 0.47, respectively, for GH gene with LV genotype being dominant (52.9%). All the studied loci are in the Hardy-Weinberg equilibrium state ($\chi^2 < 3.84$). Negative values of inbreeding coefficients indicate an excess of heterozygotes, which may be associated with the manifestation of heterotic effect and selection in favor of heterozygous animals. The most polymorphic locus among the studied loci is the GH locus (PIC=0.374), followed by the PRL (PIC=0.329) and PIT1 (PIC=0.287) loci. All three loci are characterized by moderate informativeness for breeding. The obtained results can be used to develop marker-assisted selection programs for Jersey breed.

Key words: cows, Jersey breed, polymorphism, somatotropin, prolactin, PIT1, genetic markers, breeding.

For citation: Polymorphism of somatotropin cascade genes in Jersey cows. Zarubezhnova D.V., Shaydullin R.R., Akhmetov T.M. [et al.]. Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 3 (15). 59-64 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-59-64>

References

1. Safina NYu, Gilemkhanov IYu, Zinnatova FF, Shakirov ShK. [Characteristics of milk productivity of first-calf cows with different somatotropin genotypes (GH)]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 3. 58-61 p. https://doi.org/10.12737/article_5db9535ed384a3.87060395
2. Gerasimov NP. [Genetic structure of Kazakh white-headed cattle by combination of polymorphisms GH (G. 2141C>G) and GHR (G. 914T>A)]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; 97.

155-160 p. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-97-155-160>

3. Gerasimov NP. [Assessment of productive qualities and efficiency of growing young Kazakh white-headed breed depending on the genotype for GH and GHR genes]. *Permiskiy agrarnyy vestnik*. 2023; 4(44). 95-100 p. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2023_44_95

4. Chevtayeva ND, Zinnatov FF, Bikchantaev IT. [Study of the association of the prolactin hormone gene (PRL) with milk productivity of Holstein cows]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2024; 4. 94-98 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp94-98>

5. Micinski B, Nametov A, Beishova I. The frequency of somatotrophic cascade polymorphic genes appearance and the meatiness and health of auliekol and kazakh white-headed cattle]. *Veterinarski Arhiv*. 2022; Vol.92. 5. 549-558 p. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.1419>

6. Kozhevnikova IS, Khudiyakova NA, Stupina AO. [Frequency of somatotropin gene occurrence in Kholmogorsky breed cows]. *Permiskiy agrarnyy vestnik*. 2025; 2(50). 94-100 p. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2025_50_94

7. Sedykh TA, Dolmatova IY, Valitov FR. The influence of growth hormone gene polymorphism on growth rate of young cattle. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 2020; Vol.10(3). 445-451 p.

8. Yaryshkin AA, Shatalina OS, Leshonok OI. [Associations of polymorphic variants of the somatotropin gene with economically valuable indicators of cows]. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2021; 2. 60-70 p. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-60-70>

9. Bordonaro S, Tumino S, Marletta D. Effect of GH p.L127V polymorphism and feeding systems on milk production traits and fatty acid composition in Modicana Cows]. *Animals*. 2020; Vol.10. 1-10 p. <https://doi.org/10.3390/ani10091651>

10. Shaydullin RR, Moskvicheva AB, Faizov TKh. [Polymorphism of prolactin and somatotropin genes in dairy cattle of the Republic of Tatarstan]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021; 7. 22-25 p. <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.72.10.005>

11. Shevtsova AA, Klimov EA, Kovalchuk SN. [Review of variability of genes associated with dairy productivity of cattle]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*. 2018; 11. 194-200 p.

12. Tarasova EI, Notova SV. [Marker genes of productive characteristics of dairy cattle (review)]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2020; Vol.103. 3. 58-80 p. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-58>

13. Dolmatova IYu, Ganieva IN, Kononenko TV, Valitov FR. [Relationship of polymorphic genes of prolactin and somatotropin of cattle with milk productivity]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 1 (53). 70-78 p. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-53-1-70-78>

14. Ozdemirov AA, Selionova MI, Chizhova LN. [Polymorphism of PIT-1, PRL, GH genes of dairy cattle of the Caucasian brown breed bred in various natural and ecological zones of the Republic of Dagestan]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. 2020; 15(2). 165-171 p. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-165-171>

15. Chizhova LN, Surzhikova ES, Chudnovets AI. [Interbreed differentiation of allelic polymorphism of CSN3, PIT-1, PRL, GH, LEP genes of dairy cattle]. *Vestnik APK Stavropolya*. 2020; 1(37). 34-38 p. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2020-9-37-34-38>

16. Gradinaru AC, Ilie DE. Molecular insights into PRL and PRLR genes' influence on milk obtaining - A review. *Anim. Biol. Anim. Husb*. 2022; 14. 12-17 p.

17. Gaynutdinova ER, Safina NYu, Zinnatova FF, Shakirov ShK. [Relationship of PIT-1 (POU1F1) gene polymorphism with signs of milk productivity and reproductive ability of Holstein cattle]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019; Vol.33. 11. 69-73 p. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11115>

18. Isakova ZhT, Kipen VN, Chekirov KB. [Assessment of genetic diversity of Alatau, Black-and-white and Holstein cattle breeds of Kyrgyzstan by PRL, GH and PIT-1 genes]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2019; 3. 10-14 p.

19. Dzhakysbaeva GG, Kochnev NN, Kaynidenov NN. [Polymorphic variants of the PIT-1 gene of Simmental and Red Steppe cattle in the Republic of Kazakhstan]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*. 2023; 3(68). 167-175 p. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-68-3-167-175>

20. Dybus A, Grzesiak W, Kamieniecki H. Association of genetic variants of bovine prolactin with milk production traits of Black-and-White and Jersey cattle. *Arch. Tierz*. 2005; Vol.48. 2. 149-156 p. <https://doi.org/10.5194/aab-48-149-2005>

21. Dybus A, Kmiec M, Sobek Z, Pietrzyk W. Associations between polymorphisms of growth hormone releasing hormone (GHRH) and pituitary transcription factor 1 (PIT1) genes and production traits of limousine cattle. *Archives Animal Breeding*. 2003; Vol.46(6). 527-534 p. <https://doi.org/10.5194/aab-46-527-2003>

22. Gordon DF. Nucleotide sequence of the bovine growth hormone chromosomal gene. *Mol. Cell. Endocrinol*. 1983; Vol.33. 81-95 p. [https://doi.org/10.1016/0303-7207\(83\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0303-7207(83)90058-8)

23. Ilyina AV, Abramova MV, Evdokimov EG. [Polymorphism of allelic variants of milk protein genes in Yaroslavl cattle breed]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2023; 10. 108-114 p. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp108-114>

24. Yaluga VL, Prozherin VP, Khabibrakhmanova YaA. [Polymorphism of CSN3, LGB, PRL, GH, LEP genes in Kholmogorsky cows]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2018; 4. 5-8 p.

Conflict of interest

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

Authors:

Zarubezhnova Diana Viktorovna – post-graduate student, e-mail: diana.zarubezhnova.99@mail.ru

Shaydullin Radik Rafailovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Department of Technology of Production and Processing of Agricultural Products, e-mail: tppi-kgau@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-3327>

Akhmetov Takhir Munavirovich – Doctor of Biological Sciences, Professor of Biology, Genetics, General and Biological Chemistry Department, e-mail: ahmetov-tahir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3495-2432>

Zinnatov Farit Fatikhovich – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Biology, Genetics, General and Biological Chemistry Department, e-mail: ffzinnatov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0081-2810>

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Tyulkin Sergey Vladimirovich – Doctor of Biological Sciences, senior researcher, e-mail: tulsv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5379-237X>

Federal Research Center for Food Systems named after V.M. Gorbato of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТОВ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**М. В. Ванеева, Е. А. Высоцкая**

Реферат. Микрорельеф поверхности полей сельскохозяйственных угодий оказывает существенное влияние на распределение влаги и перенос почвенного вещества. Изучение и описание процессов горизонтального переноса и аккумуляции имеет важное значение для мониторинга динамики процессов современного педогенеза в условиях аграрного производства в системе точного земледелия. Целью исследования является сравнить эффективность и достаточность геодезических съемок с различной плотностью пикетных точек (разреженной и детальной) для идентификации элементов микрорельефа и их связи с пространственной вариабельностью свойств почв сельскохозяйственных угодий, с применением спутникового геодезического оборудования для изучения физико-химических и агрохимических свойств почв на территории Воронежской области. В ходе исследования были изучены приемы сплошной и разреженной топографической съемки микрорельефа участка поверхности поля Верхнехавского района Воронежской области с применением спутниковых геодезических измерений. Сделан вывод, что применение детальной геодезической съемки микрорельефа через 20 - 50 м только на отдельных проблемных участках исследуемой территории значительно экономит время полевых работ. Также анализ результатов исследования показал, что высота сечения горизонталей 0,50 м при выявлении границ значимых элементов микрорельефа поля при незначительно меньшей информативности оказывается достаточной в сравнении с высотой сечения 0,25 м, требующей большего объема полевых работ. Топографическая карта, получаемая при использовании сечения 0,50 м, позволяет определять границы отрицательных и положительных форм микрорельефа, при этом подробность прорисовки границ при сечении 0,25 м не вносила существенных отличий в форму и расположение элементов съемки. Обоснована возможность использования спутниковой геодезической съемки для изучения пространственной неоднородности почвенного покрова, связанной с влиянием микрорельефа местности при проведении почвенного картирования и изучении горизонтальной изменчивости физико-химических свойств почв, для целей планирования мероприятий в системе точного земледелия.

Ключевые слова: спутниковые измерения, геодезическая съемка, микрорельеф агроландшафта, топографический план, почвенное картирование, физико-химические свойства почв, точное земледелие.

Для цитирования: Ванеева М.В., Высоцкая Е.А. Анализ применения методов спутниковых геодезических измерений при изучении пространственной изменчивости физико-химических свойств почв агроландшафтов в системе точного земледелия // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. № 3(15). С. 65-72 <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-65-72>

Введение. Почва, ее плодородие, физико-химические и агрохимические свойства существенно влияют на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. Состояние почвенных ресурсов является важным фактором при экономическом планировании сельхозпроизводства. Согласно положениям, сформулированным В. В. Докучаевым, А. А. Роде и Н. М. Сибирцевым, особую роль в почвообразовании и формировании свойств почв играет физико-географическое положение и рельеф местности [1, 2, 3]. На преобразование почвенного покрова полей, в частности на образование плодородного гумусового слоя, так же оказывают влияние растительный покров, климат, водный баланс, механическая обработка почв, внесение удобрений и другие факторы [4, 5, 6]. Их взаимосвязь и взаимовлияние формируют агроландшафт. Территория Верхнехавского района Воронежской области характеризуется долинно-балочным рельефом с участками овражно-балочной сети. Для полей, используемых в сельскохозяйственном производстве, характерны небольшие уклоны - менее 2°, наблюдаются западины, блюдца, промоины, бугры, небольшие воронки, кочки и др. формы

микрорельефа. Неровности поверхности Земли, вплоть до микрорельефа, влияют на перераспределение тепла, влаги, определяют состав растительности, а так же распределение элементов минерального питания в почвенном профиле, что меняет физико-химические свойства почв [7, 8]. В отрицательных формах рельефа, таких как западины, впадины и ложбины, скапливается больше влаги, чем в положительных. С осадками вниз по склонам перемещается почвенный материал, а значит, на полях может наблюдаться неравномерность физико-химических свойств и состава почв [9, 10]. Современным методом регулированием необходимого уровня питательных веществ, для повышения и поддержания почвенного плодородия полей влияющего на продуктивность растений является система точного земледелия, применяющая инновационные технологии дифференциального внесения удобрений [11, 10]. Данная технология базируется на использовании информационных технологий, автоматических устройств и научных исследованиях пахотных территорий. Так как планирование севооборотов и распределение удобрений топоориентированно, основой для

реализации точного земледелия служат геоинформационные системы (ГИС) и картографические материалы полей землепользования [12, 13, 14]. Поэтому для представительной оценки состояния пашни, изучения физико-химических характеристик почвенного покрова и содержания гумуса, для планирования посевов сельскохозяйственных культур и внесения удобрений необходимы картографические материалы крупных масштабов, описывающие мезо- и микрорельеф рельефа территории.

Современное картографирование выполняется в цифровом формате, цифровые модели местности (ЦММ) строят по материалам геодезических наземных съемок, тахеометрической и спутниковой, и результатам Дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе аэрофотосъемок [15, 16]. Применение аэрофотосъемок беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и спутниковых методов ДЗЗ является эффективным, рентабельным и актуальным особенно на больших территориях [17, 18, 19]. Тем не менее, следует отметить, что для изучения пространственных вариаций микрорельефа пашни с перепадами отметок точек менее 1 метра, высотной точности спутниковых растровых изображений не достаточно. Ортофотопланы составленные, по снимкам с БПЛА отличаются высокой планово-высотной точностью, и позволяют отобразить все неровности рельефа поля [20]. Однако, в настоящее время аэрофотосъемка с беспилотников не всегда возможна. Альтернативой, методам ДЗЗ служат наземные геодезические съемки электронными тахеометрами и спутниковыми ГНСС-приемниками. Для достижения точности крупномасштабных планов и обеспечения их достаточной достоверности при выполнении этих съемок необходимо определить координаты большого количества точек, для больших площадей землепользования это затратно. На равнинных пахотных полях с уклоном менее 1° , при изучении микрорельефа, для снижения временных и финансовых расходов, целесообразно выполнять наземную топографическую съемку различной детализации.

Целью исследования является сравнить эффективность и достаточность геодезических съемок с различной плотностью пикетных точек (разреженной и детальной) для идентификации элементов микрорельефа и их связи с пространственной вариативностью свойств почв сельхозугодий, с применением спутникового геодезического оборудования на территории Верхнехавского района Воронежской области.

Условия, материалы и методы. В рамках исследования на поле площадью 1 97 га, расположенном в Верхнехавском районе Воронежской области, выполнена геодезическая топографическая съемка с применением спутникового оборудования EFT M2 GNSS. Территория района исследований находится на южной покатости Окско-Донской равнины. Общий наклон поля составляет менее 1° , но присутствует множество западин присутствующих

микрорельефу, характерному для местности. В границах изучаемого поля отмечается визуально определяемая неравномерность развития сельскохозяйственных культур, приуроченная к элементам микрорельефа.

Для осуществления съемки выполнена геодезическая привязка к пунктам Государственной геодезической сети (ГГС), посредством калибровки спутникового приемника EFT M2 GNSS с использованием базовых станций EFT-CORS данного региона. В качестве опорных использованы три пункта триангуляции 2 класса «Беловка», «Верхняя Хава», «Андреевка» и два пункта 3 класса - «Малая Приваловка» и «Мичурин», расположенные вокруг объекта исследований выделенного жирным контуром близ пункта «Беловка» на рисунке 1.

На изучаемой территории произведена изначально менее детальная геодезическая съемка с помощью GNSS приемника на вехе, по линиям расположенным через 100-150 м. Пикетные точки по линиям расположены через 50-70 м, в зависимости от видимых неровностей микрорельефа поля, набрано 445 пикетов. Полевые работы заняли 12 часов. После построения цифровой модели местности и визуального анализа рельефа по изолиниям и отметкам точек, выявлены несколько проблемных участков вариаций микрорельефа, где произведена дополнительная детальная съемка. На каждой отмеченной территории измерены порядка 15-25 точек, за три часа работы. После дополнительных измерений расстояние между пикетами составило 20-70 м.

Координаты пикетов определены в режиме реального времени по технологии RTK в течение 5 секунд относительно ближайших базовых станций EFT-CORS «Усмань». Средняя квадратическая погрешность (СКП) плановых координат пикетных точек относительно пунктов ГГС составила 5-7 см, высотная 5-8 см [21].

Результаты съемки обработаны в графическом редакторе AutoCAD Civil 3D. Для оценки данных полевых работ составлены топографические планы с высотой сечения рельефа 0,5 м и 0,25 м. В программу AutoCAD Civil 3D загружается txt файл спутниковых измерений, далее в разделе «Группы точек» отображаются высоты пикетных точек и используя команду «создать поверхность» по полученным точкам строится цифровая модель рельефа, в заданных с помощью «полилинии» границах. При построении поверхности применяли метод интерполяции TIN, основанный на триангуляции Делоне, где вершинами треугольников являются наши пикетные точки. Данный метод позволяет избежать ошибок, вызванных неверной интерполяцией. При необходимости для количественной оценки вариаций микрорельефа, с помощью функции «Пульт управления объемами» можно определять объемы западин или возвышенностей относительно заданной поверхности [20].

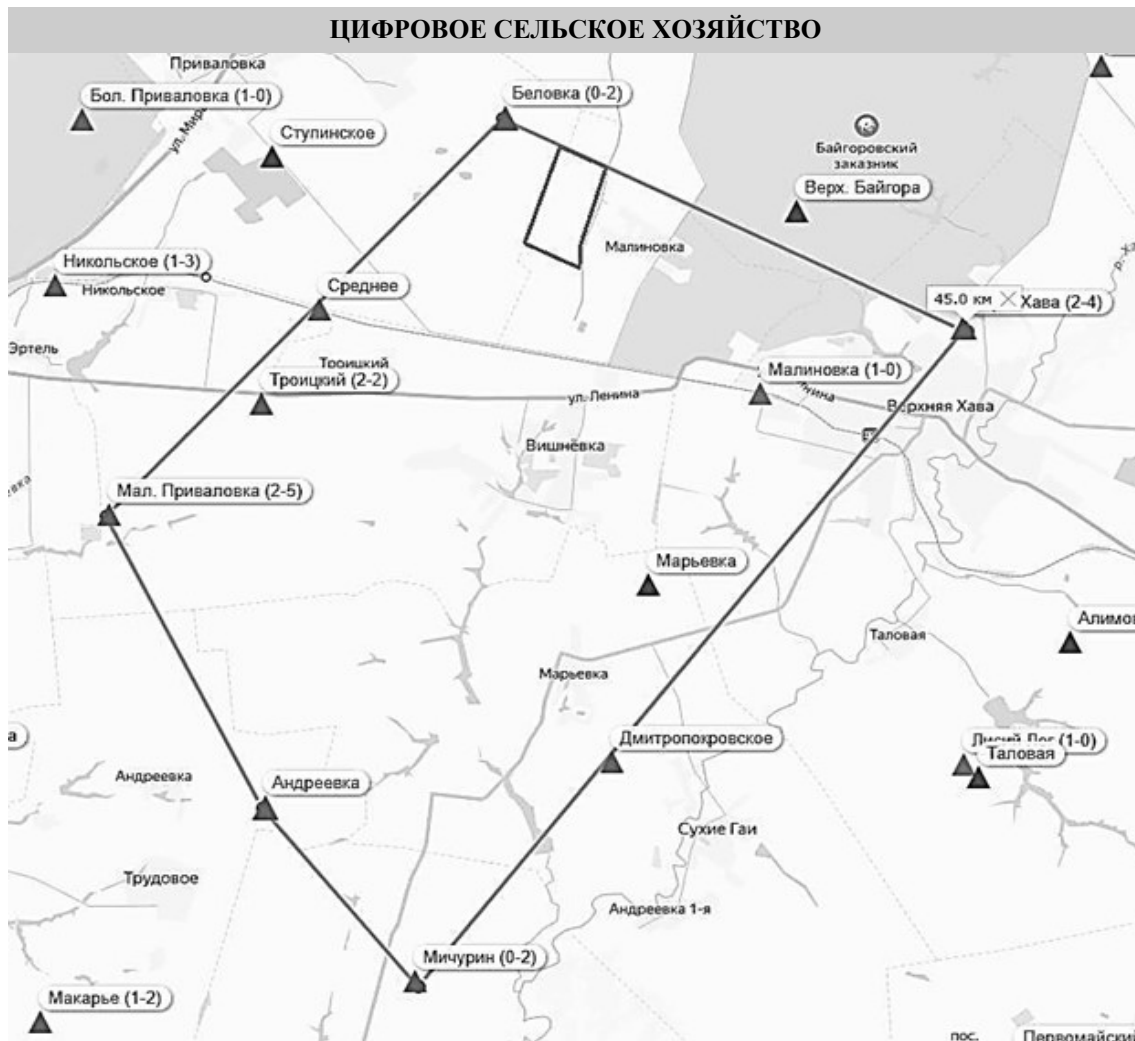


Рис. 1 – Расположение пунктов опорной геодезической сети

Результаты и обсуждение. Для изучения физико-химических и агрохимических свойств почв, как правило, составляют почвенные карты и профили, информативность которых будет зависеть от масштаба и количества проб почвы. На отдельных полях хозяйств, при изучении генезиса почв и взаимосвязи структуры почвенного покрова с агроландшафтом как правило, составляют карты крупного масштаба 1:200 – 1:2000 [20].

Точность полученных спутниковым методом плановых координат пикетов соответствует точности масштаба 1:500, которому отвечает графическая точность 0,10 м. Точность высот точек достаточна для построения изолиний с высотой сечения рельефа 0,5 м и 0,25 м. Фактическая погрешность измерений высот (5-8 см) не превышает допустимую погрешность для сечения 0,25 м (0,08 м), что позволяет строить планы с данным сечением рельефа [22].

Исходя из приведенных требований, результаты полевых измерений позволяют построить крупные топографические планы 1:500 и мельче, с высотой сечения рельефа 0,25 м и выше.

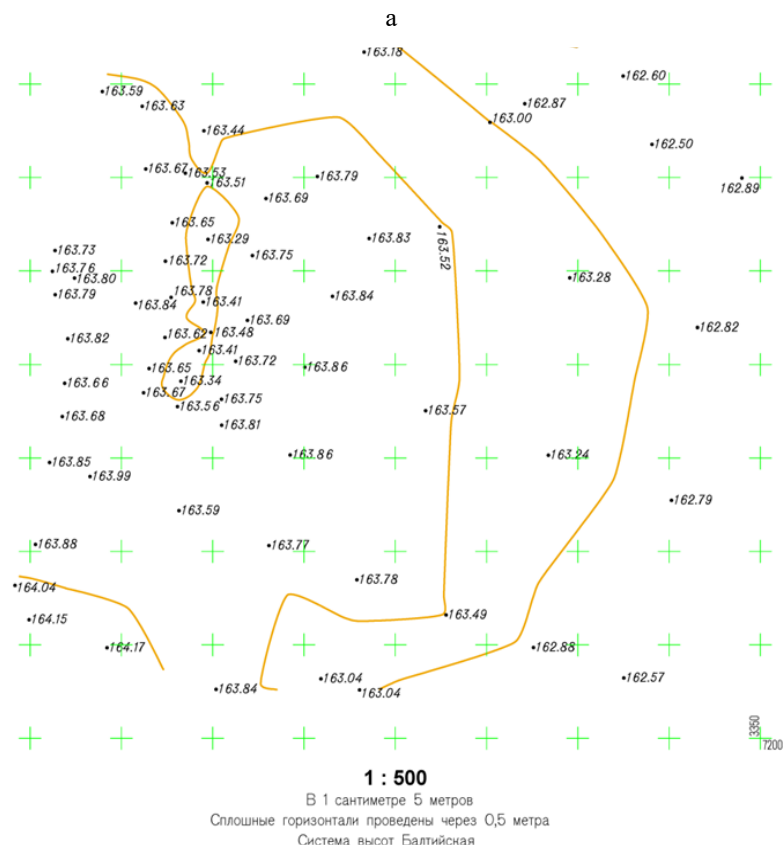
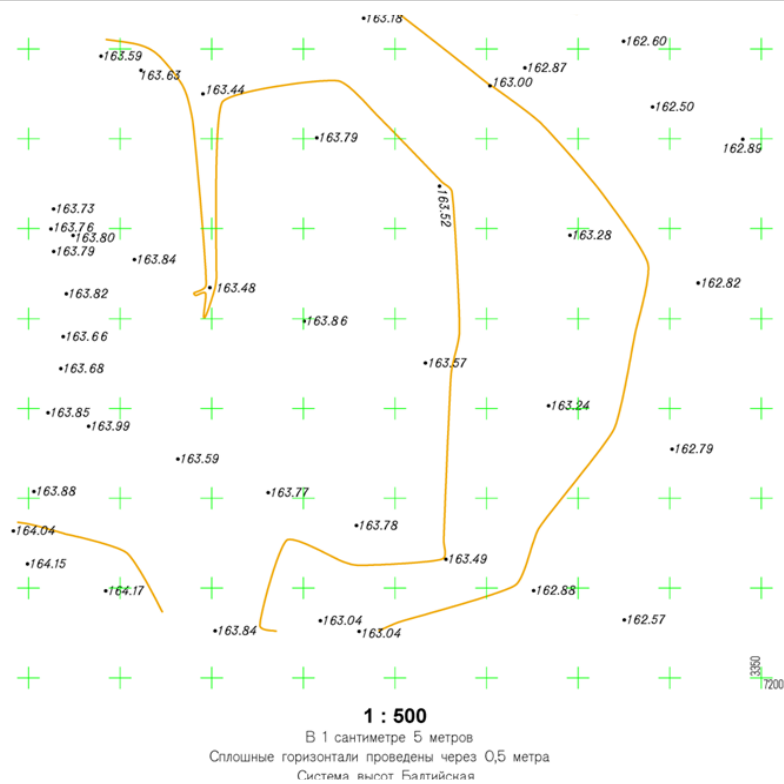
В ходе проведения исследования составлены цифровые топографические планы отдельно по результатам разреженной съемки и по

дополнительным измерениям.

Рассмотрим участок поля 12,5 га с неявно выраженными западинами и перепадами высот менее 0,50 м. При полевых измерениях на такой местности сложно визуально отследить повышения или понижения.

Изучая изолинии с высотой сечения 0,5 м полученного топоплана разреженной съемки, наблюдаются большие заложения между горизонталями, что говорит о спокойном рельефе. Однако присутствует участок, где есть значительное отклонение (петля) одной из горизонталей к точке с более низкой отметкой, относительно остальных, а это говорит о некоторых неровностях поверхности, по форме изолинии форму рельефа можно определить как ложбину, но в нашем случае это говорит о наличии западины (рис. 2, а).

Для более детального отображения поверхности, используя на контроллере спутникового приемника настраивается карта показывающая положение пикетных точек измеренных ранее. В режиме RTK в поле определяют расположение искомого пикета. Таким образом, в районе точки с более низкой отметкой дополнительно было снято 20 пикетов, а по результатам так же построен топоплан с сечением 0,5 м (рис. 2, б).



б

Рис. 2 – Фрагменты топографического плана пашни с высотой сечения рельефа 0,5 м разреженной съемки (а) и подробной съемки (б)

Рассматривая результаты более детальной съемки можно отметить, что благодаря дополнительным точкам, на плане наглядно видно впадину, а не ложбину, так как вместо

вытянутой горизонтали получили замкнутую.

Рассмотрим ситуацию с визуально видимыми неровностями рельефа в полевых условиях (рис. 3).

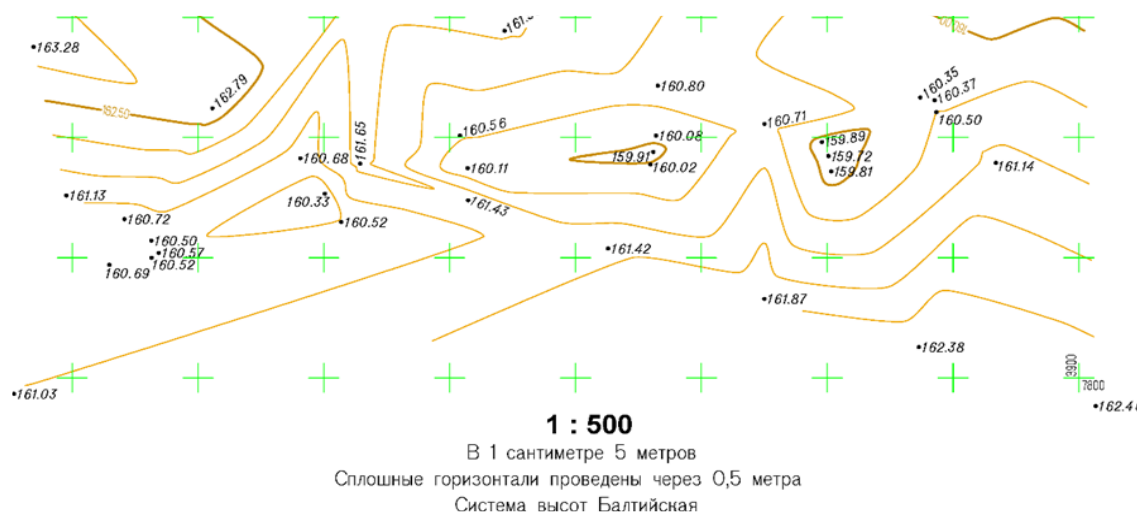


Рис. 3 – Участок поля

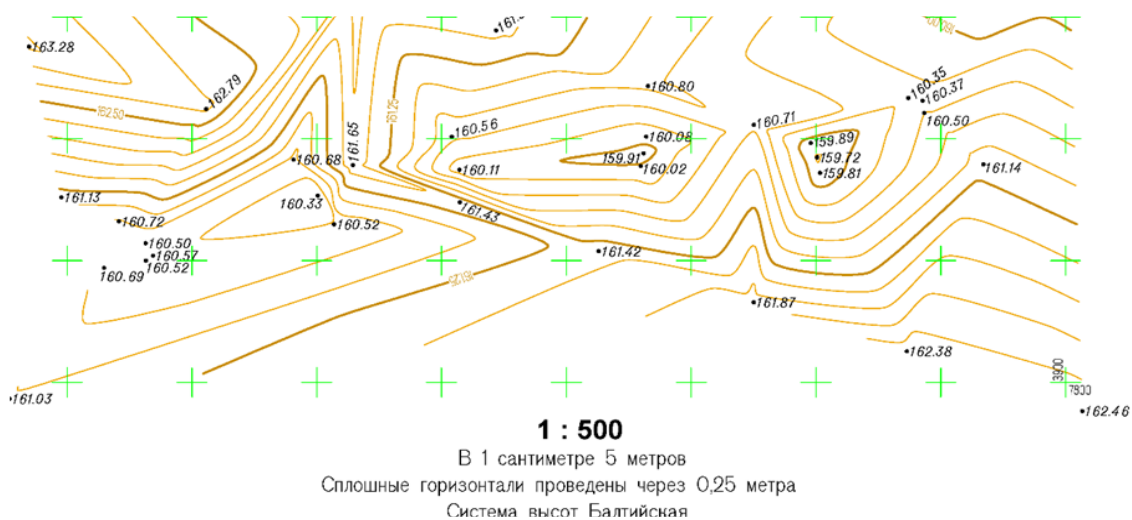
На участке 6,4 га, цепочкой расположены несколько вытянутых западин, с перепадом высот 1,00 - 2,46 м. В первом случае разреженная съемка, выполнялась вдоль линии расположения западин через 100 - 150 м, поперек протяженности через 20 - 40 м по высоким и низким точкам рельефа. По результатам

съемки построены цифровые топопланы с высотой сечения рельефа 0,5 м (рис. 4, а) и 0,25 м (рис. 4, б).

Рассматривая полученный рельеф, следует отметить, что прослеживаются три отдельные небольшие западины, общий рисунок изолиний с разным сечением рельефа не меняется.



а

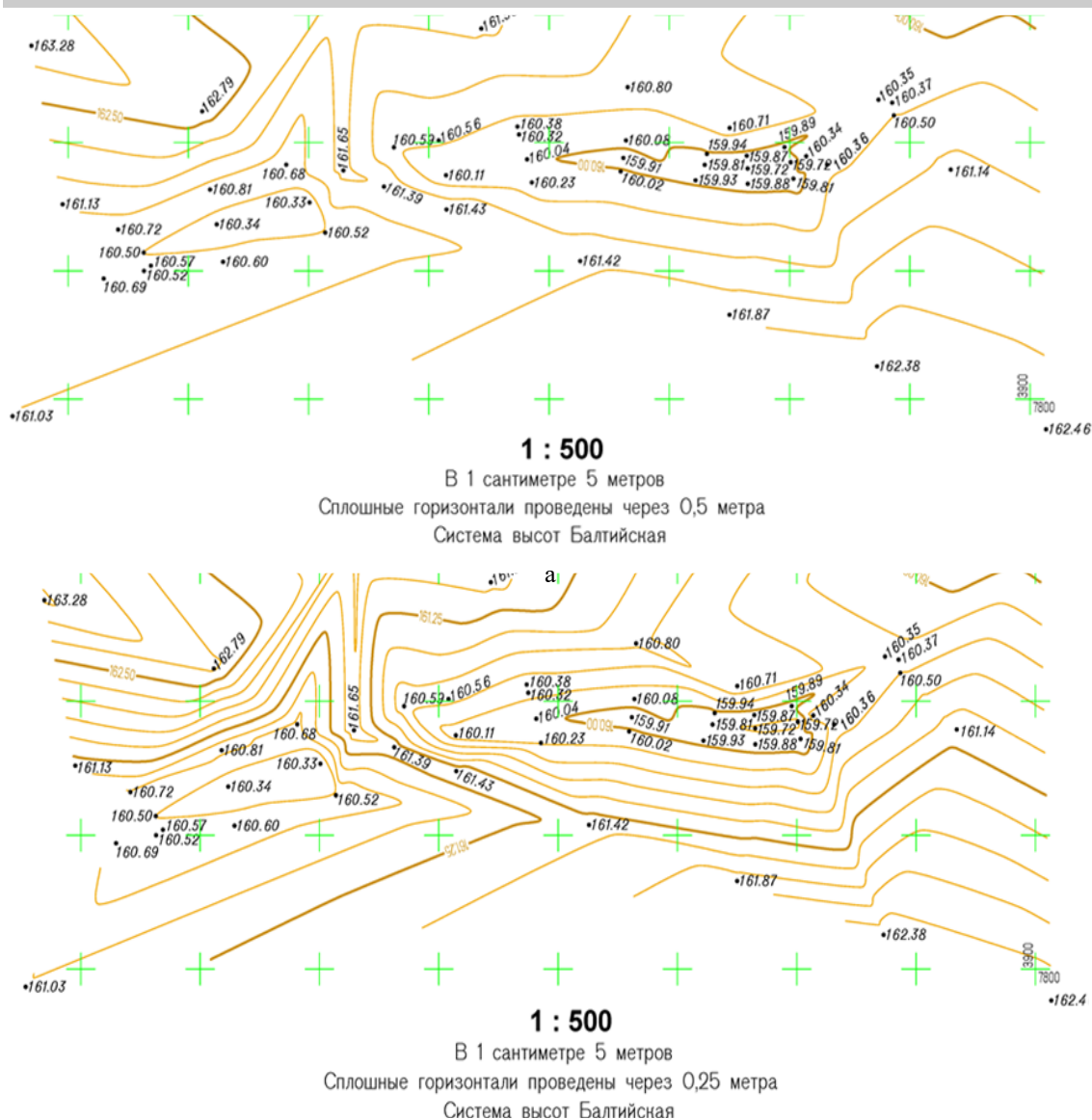


б

Рис. 4 – Фрагменты топографического плана пашни разреженной съемки с высотой сечения рельефа 0,5 м (а) и 0,25 м (б)

В качестве эксперимента дополнительно определены координаты еще 17 пикетов, через 40-70 м. добавив дополнительные точки,

получили цифровые топографические планы с высотой сечения рельефа 0,5 м (рис. 5, а) и 0,25 м (рис. 5, б).



6

Рис. 5 – Фрагменты топографического плана пашни подробной съемки с высотой сечения рельефа 0,5 м (а) и 0,25 м (б)

Выводы. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что разреженная геодезическая съемка рельефа через 50 - 150 м равнинной местности обеспечивает общее представление о формах микрорельефа исследуемой территории. Вместе с тем, для детализации поверхности в некоторых случаях необходимо знать координаты пикетов через 20 - 50 м. Однако, при увеличении количества пикетных точек увеличивается и объем полевых работ как минимум вдвое, поэтому предложенный метод подробной съемки только отдельных участков экономит время и ресурсы.

Меньшая высота сечения топографического плана на общую картину рельефа, при перепадах высот больше 1 м, не повлияла, но увеличила загруженность плана, соответственно, можно утверждать, что высота сечения 0,5 м является оптимальной для решения, задач определения границ элементов микрорельефа в условиях севера Воронежской области.

Так же следует отметить, что после изучения топоплана можно запланировать точки для взятия почвенных проб, а с помощью спутникового GNSS оборудования по запланированным координатам найти в полевых условиях необходимые места отбора с минимальной погрешностью в плане. Подобный подход дает возможность значительно повысить точность процесса почвенного картирования при изучении пространственной неоднородности строения и свойств почв сельскохозяйственных угодий. Результаты исследований, выполненных предложенным методом, могут быть использованы для оптимизации производственного использования земельных ресурсов с разработкой мероприятий по пространственной дифференциации технологических приемов обработки почв, применения минеральных и органических удобрений, мелиорантов и средств защиты растений в системе точного земледелия.

Литература

1. Роде А.А. Почвоведение. Москва; Ленинград: Гослесбумиздат, 1955. 524 с.
2. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. / Отв. ред. д-р с.-х. наук, проф. Р. В. Ковалев; [АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т почвоведения и агрохимии]. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. 92 с.
3. Сибирцев Н.М. Избранные сочинения. Т. 1. Почвоведение. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1951. 472 с.
4. Географические закономерности действия удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Л.М. Онищенко, С.В. Есипенко. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2017. 94 с. ISBN 978-5-9909934-6-4.
5. Никитина Л.В., Романенков В.А. Влияние систем удобрения в склоновом агроландшафте на калийный режим суглинистой почвы // Плодородие. 2020. №4 С. 30-38. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.10
6. Оценка питательности различных видов кормов, заготовленных из кукурузы, в зависимости от уровня химизации и почвенного покрова Республики Татарстан / Л.Т. Вафина, Р.В. Миникаев, Н.Ф. Вафин, С.В. Сочнева, Н.В. Трофимов // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2024. №1 (9). С. 13-19
7. Шпедт А.А., Никитина В.И. Влияние микрорельефа на агрохимические свойства чернозема и урожайность яровой пшеницы и ячменя // Почвоведение. 2009. № 8 С. 977-983.
8. Исмагилов Р.Р., Абдулвалеев Р.Р. Изменение уровня минерального питания растений на поле со сложным рельефом // Пермский аграрный вестник. 2016. №4 (16). С. 27-30.
9. Ванеева М.В., Куликов Ю.А. Формы рельефа поверхности сельхозугодий как фактор локального изменения состава и физико-химических свойств почв // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2024. № 2 (19). С. 99-104.
10. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2014. № 3. С. 36-44.
11. Научно-обоснованный прогноз развития точного земледелия в России / Е.В. Рудой, М.С. Петухова, С.В. Рюмкин, Е.В. Труфляк, Н.Ю. Курченко; Новосиб. гос. аграр. ун-т, Кубан. гос. аграр. ун-т им. И.Т. Трубилина. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. 138 с. ISBN 978-5-94477-295-4
12. Шемняков Д.В., Налиухин А.Н. Изучение внутрипольной вариативности агрохимических показателей пахотных почв и определение потребности в удобрениях и мелиорантах в технологиях точного земледелия // Молокохозяйственный вестник, 2015. №2 (18), С. 55-64.
13. Maher A. El-Hallaq, Spatiotemporal analysis in land use and land cover using GIS case study: Gaza city (Period 1999 – 2007). Journal of Engineering Research and Technology. 2015. Vol 2. No 1. P. 48–55.
14. 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.
15. Ванеева М.В., Высоцкая Е.А. Мониторинг пространственной вариации агроландшафтов в системе точного земледелия // Высокоэффективные технологии в агропромышленном комплексе: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Елец: ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина». 2025. С. 46–50.
16. Савин И. Ю., Жоголев А. В., Прудникова Е. Ю. Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. 2019. № 5. С. 517-528.
17. Трофимов Н. В., Яхин И. Ф. Проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. 2(14). С. 69-76.
18. Савин И. Ю., Прудникова Е. Ю. Об оптимальном сроке спутниковой съемки для картографирования пахотных почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 74. С. 66-77
19. Картографирование почвенно-земельного покрова как эффективный механизм формирования границ земельных участков сельскохозяйственного назначения / Д. А. Шаповалов, Д. И. Рухович, А. Л. Куляница, П. В. Королева // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 5 (365). С. 5-15.
20. Гладнев В.В., Ванеева М.В., Куликова Е.В. К вопросу о применении современных геодезических технологий в проектах защиты земель от эрозии // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65. № 4. С. 1770-1784. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_4_25.
21. Ванеева М.В., Сорока Ю.С., Жаренков М.Н. Сравнительный анализ точности спутниковых определений в различных режимах измерений // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2022. № 1 (14). С. 81-87.
22. ГОСТ Р 59562-2021. Съемка аэрофототопографическая. Технические требования. Москва: Стандартинформ, 2021. 66 с.

Конфликт интересов

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

Сведения об авторах:

Ванеева Марина Викторовна - старший преподаватель кафедры геодезии, e-mail: marina_vaneeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5053-2166>

Высоцкая Елена Анатольевна - доктор биологических наук, профессор, декан факультета технологии и товароведения, e-mail: murka1979@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5992-7139>

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия.

ANALYSIS OF SATELLITE GEODETIC MEASUREMENT METHODS APPLICATION IN STUDYING SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF AGROLANDSCAPES SOIL IN PRECISION FARMING SYSTEM

M. V. Vaneeva, E. A. Vysotskaya

Abstract. The surface microrelief of agricultural fields significantly influences moisture distribution and soil nutrient transport. Studying and describing the horizontal transport and accumulation processes is essential for monitoring the dynamics of modern pedogenesis processes in precision farming. The objective of this study is to compare the effectiveness and sufficiency of geodetic surveys with varying picket point densities (sparse and detailed) for identifying microrelief elements and their relationship to spatial variability of agricultural soil properties, using satellite geodetic equipment to study physicochemical and agrochemical properties of soils in Voronezh region. The study examined methods for continuous and sparse topographic surveys of the microrelief of a field surface in the Verkhnekhavskiy district of Voronezh region

using satellite geodetic measurements. It is concluded that the use of detailed microrelief surveys at 20-50 m intervals only in certain problematic areas of the study area significantly reduces fieldwork time. Analysis of the study results also revealed that a contour cross-section height of 0.50 m is sufficient for identifying the boundaries of significant field microrelief elements, while providing slightly less information, compared to a cross-section height of 0.25 m, which requires more fieldwork. A topographic map obtained using 0.50 meter cross-section allows for determination of boundaries of negative and positive microrelief forms, while the finer detail of boundaries at 0.25 meter cross-section does not significantly alter the shape and arrangement of survey elements. The feasibility of using satellite geodetic surveying to study the spatial heterogeneity of soil cover associated with the influence of terrain microrelief during soil mapping and the study of horizontal variability in soil physicochemical properties is substantiated for planning precision farming interventions.

Key words: satellite measurements, geodetic survey, agricultural landscape microrelief, topographic plan, soil mapping, physicochemical properties of soil, precision farming.

For citation: Vaneeva M.V., Vysotskaya E.A. Analysis of satellite geodetic measurement methods application in studying spatial variability of physicochemical properties of agrolandscapes soil in precision farming system. *Agrobiotechnologies and digital farming*. 2025; 3(15). 65-72 p. <http://dx.doi.org/10.12737/2782-490X-2025-4-3-65-72>

References

1. Rode AA. *Pochvovedenie*. [Soil]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat. 1955; 524 p.
2. Rode AA. *Sistema metodov issledovaniya v pochvovedenii*. [System of soil science research methods. Edited by Doctor of Agricultural Sciences, Professor R.V. Kovalev]. AN SSSR. Sib. otd-nie. In-t pochvovedeniya i agrokhimii. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie. 1971; 92 p.
3. Sibirtsev NM. *Izbrannye sochineniya*. T.1. *Pochvovedenie*. [Selected works. Vol.1. Soil science]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo selskokhozyaystvennoy literatury. 1951; 472 p.
4. Sheudzhen AKh, Bondareva TN, Onishchenko LM, Esipenko SV. *Geograficheskie zakonomernosti deystviya udobreniy*. [Geographical patterns of fertilizer action]. Maykop: Poligraf-YuG. 2017; 94 p. ISBN 978-5-9909934-6-4.
5. Nikitina LV, Romanenkov VA. [Influence of fertilization systems in a slope agricultural landscape on the potassium regime of loamy soil]. *Plodorodie*. 2020; 4 30-38 p. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.10
6. Vafina LT, Minikayev RV, Vafin NF, Sochneva SV, Trofimov NV. [Assessment of nutritional value of various types of feed, prepared from corn, depending on the level of chemicalization and soil cover of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2024; 1 (9). 13-19 p.
7. Shpedt AA, Nikitina VI. [Influence of microrelief on the agrochemical properties of chernozem and productivity of spring wheat and barley]. *Pochvovedenie*. 2009; 8. 977-983 p.
8. Ismagilov RR, Abdullayev RR. [Change in the level of mineral nutrition of plants in a field with complex relief]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2016; 4 (16). 27-30 p.
9. Vaneeva MV, Kulikov YuA. [Landforms of agricultural lands surface as a factor in local changes in the composition and physicochemical properties of soils]. *Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva (regionalnyy aspekt)*. 2024; 2 (19). 99-104 p.
10. Samsonova VP, Meshalkina YuL. [Assessing the role of relief in spatial variability of agrochemically important soil properties for intensively cultivated agricultural land]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 2014; 3. 36-44 p.
11. Rudoy EV, Petukhova MS, Ryumkin SV, Truflyak EV, Kurchenko NYu. *Nauchno-obosnovanny prognoz razvitiya tochnogo zemledeliya v Rossii*. [Scientifically based forecast of precision farming development in Russia]. Novosib. gos. agrar. un-t, Kuban. gos. agrar. un-t im. I.T. Trubilina. Novosibirsk: ITs NGAU "Zolotoy kolos". 2021; 138 p. ISBN 978-5-94477-295-4
12. Shemnyakov DV, Naliukhin AN. [Study of intra-field variability of agrochemical parameters of arable soils and determination necessity for fertilizers and ameliorants in precision farming technologies]. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2015; 2 (18). 55-64 p.
13. Maher A. El-Hallaq. *Spatiotemporal analysis in land use and land cover using GIS case study: Gaza city (Period 1999 – 2007)*. *Journal of Engineering Research and Technology*. 2015; Vol.2. No.1. 48-55 p.
14. Kalichkin VK, Donchenko AS, Golokhvast KS. [Formation of a digital agricultural management system based on monitoring and long-term field experiments]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2025; 2(14). 58-68 p.
15. Vaneeva MV, Vysotskaya EA. [Monitoring spatial variation of agricultural landscapes in the precision farming system. Highly effective technologies in the agro-industrial complex]. *Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Elets: FGBOU VO "Eletskiy gosudarstvennyy universitet im. I.A. Bunina"*. 2025; 46-50 p.
16. Savin IYu, Zhogolev AV, Prudnikova EYu. [Modern trends and problems of soil cartography]. *Pochvovedenie*. 2019; 5. 517-528 p.
17. Trofimov NV, Yakhin IF. [Problems and prospects of using unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*. 2025; 2(14). 69-76 p.
18. Savin IYu, Prudnikova EYu. [On the optimal timing of satellite imagery for mapping arable soils]. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2014; Issue 74. 66-77 p.
19. Shapovalov DA, Rukhovich DI, Kulyanitsa AL, Koroleva PV. [Mapping of soil and land cover as an effective mechanism for forming boundaries of agricultural land plots]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2018; 5 (365). 5-15 p.
20. Gladnev VV, Vaneeva MV, Kulikova EV. [On application of modern geodetic technologies in land erosion protection projects]. *International Agricultural Journal*. 2022; Vol.65. 4. 1770-1784 p. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_4_25.
21. Vaneeva MV, Soroka YuS, Zharenkov MN. [Comparative analysis of accuracy of satellite determinations in various measurement modes]. *Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva (regionalnyy aspekt)*. 2022; 1 (14). 81-87 p.
22. Semka aerofototopograficheskaya. *Tekhnicheskie trebovaniya*. [GOST R 59562-2021. Aerial phototopographic surveying. Technical requirements]. Moscow: Standartinform. 2021; 66 p.

Conflict of interest

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

Authors:

Vaneeva Marina Viktorovna - senior lecturer, Department of Geodesy, e-mail: marina_vaneeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5053-2166>

Vysotskaya Elena Anatolevna - Doctor of Biological Sciences, Professor, Dean of Technology and Commodity science Faculty, e-mail: murka1979@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5992-7139>
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, 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 %. Рекомендуется ссылаться не более чем на 2 публикации каждого из авторов. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна превышать 30 % списка литературы. Доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должна составлять не менее 30 % списка литературы. Ссылки на материалы конференций старше 3 лет не должны превышать 20 % списка литературы. Ссылки на учебники, учебные пособия, авторефераты диссертаций не принимаются. Число источников в «серийных» 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 с выравниванием по центру. Тематический заголовок в той же строке, сразу после нумерационного (например: Рис. 1 – Ссылка на рисунок в основном тексте оформляется в скобках: (рис. 1), если в тексте только один рисунок, то не нумеруется.

Таблицы представляются в редакторе WORD. Нумерация таблиц производится в порядке ссылок по тексту. В тексте статьи обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные таблицы. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру (например: Таблица 1. ...). Ссылка на таблицу в основном тексте оформляется в скобках, например: (табл. 1), если в тексте только одна таблица, то не нумеруется.

Простые формулы, не содержащие специальных символов (отсутствующих на клавиатуре), должны быть набраны символами с клавиатуры без использования специальных редакторов. Формулы, содержащие специальные символы (отсутствующие на клавиатуре), а также сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул Microsoft Equation 2.0, 3.0 или Math Type equation. Не допускается набор части формулы символами, а части – в редакторе формул. Не рекомендуется вставлять в текст формулы в виде рисунков. Ссылка на формулы в основном тексте оформляется в скобках, например: (1). В тексте обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные формулы. Если в тексте статьи формулы нумеруются, то эту нумерацию следует выполнить ручным набором чисел. Автоматическая нумерация не допускается.

Авторы предоставляют в редакцию (одновременно):

– электронная версия статьи (по электронной почте: agrobiotech@kazgau.com) **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

**Агробиотехнологии
и цифровое земледелие**
№ 3 (15), 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: 26.11.2025 год
Печать офсетная. Усл. п. л. 9,5 Заказ 30. 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