

Индекс 70390

Известия ТСХА. 2025. № 1

→

2025

ИЗВЕСТИЯ ТСХА

2025



ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ

1

Москва 2025

ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ

Научно–теоретический журнал
Российского государственного аграрного университета —
МСХА имени К.А. Тимирязева

Сообщаются результаты экспериментальных, теоретических и методических исследований в различных областях сельскохозяйственной науки и практики, выполненных в разных природно–экономических зонах страны

Основан в 1878 году
6 номеров в год

Выпуск

1

январь–февраль

Москва
Издательство РГАУ-МСХА
2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, проф. **В.И. Трухачев**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., профессор **С.Л. Белопухов**; доктор наук, PhD, профессор **Р. Валентини** (Италия);
д.б.н., профессор **И.И. Васенев**; д.э.н., профессор **Р.С. Гайсин**;
д.э.н., профессор **А.В. Голубев**; д.с.-х.н., профессор **С.А. Грикшас**;
д.с.-х.н., профессор **Ж. Данаилов** (Болгария); д.б.н., профессор **Ф.С. Джалилов**;
профессор **Д.А. Джукич** (Сербия); д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Н.Н. Дубенок**;
д.в.н., профессор **Г.П. Дюльгер**; д.б.н., профессор **А.А. Иванов**;
д.б.н., профессор, академик РАН **В.И. Кирюшин**; д.б.н., профессор **В.Н. Корзун** (Германия);
д.в.н., профессор **Р.Г. Кузьмич** (Беларусь); д.б.н., профессор **Я.В. Кузяков** (Германия);
д.с.-х.н., профессор **Н.Н. Лазарев**; д.с.-х.н., профессор **В.И. Леунов**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **В.М. Лукомец**; д.б.н., профессор **А.Г. Маннапов**;
д.б.н., профессор, академик НАНУ и НААНУ **Д.А. Мельничук** (Украина);
к.э.н., PhD MSU, **Р.А. Мигунов**; к.с.-х.н. **Г.Ф. Монахос**; д.с.-х.н., профессор **С.Г. Монахос**;
д.б.н., профессор **В.Д. Наумов**; д.т.н., профессор, академик РАН **В.А. Панфилов**;
д.б.н., профессор **С.Я. Попов**; д.х.н., профессор **Н.М. Пржевальский**;
д.с.-х.н., профессор **А.К. Раджабов**; д.с.-х.н., профессор **Г.В. Родионов**;
д.б.н., профессор **В.С. Рубец**; д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН **Н.М. Светлов**;
д.б.н., профессор **М.И. Селионова**; к.б.н., доцент **О.В. Селицкая**;
д.б.н., профессор **А.А. Соловьев**; д.б.н., профессор **И.Г. Тараканов**;
д.б.н., профессор **С.П. Торшин**; д.в.н., профессор **С.В. Федотов**;
д.б.н., профессор **Л.И. Хрусталева**; д.с.-х.н., профессор **В.А. Черников**;
д.э.н., профессор **С.А. Шелковников**; д.т.н., профессор **И.Н. Шило** (Беларусь);
д.с.-х.н., профессор **А.В. Шитикова**; д.с.-х.н., профессор **А.С. Шуварилов**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Ю.А. Юлдашбаев**

Редакция

Научный редактор – **С.С. Макаров**

Редактор – **В.И. Марковская**

Перевод на английский язык – **Н.А. Сергеева**

Компьютерная верстка – **А.С. Лаврова**

Журнал входит в перечень

ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК

Журнал включен в базы данных BIOSIS (WoS), RSCI (WoS),

CA(pt), CrossRef, AGRIS, РИНЦ, ядро РИНЦ

Правила оформления научных статей для опубликования в журнале «Известия ТСХА» размещены в Интернете (https://izvestia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf)

Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2025

© Издательство РГАУ-МСХА, 2025

IZVESTIYA

of

Timiryazev Agricultural Academy

Academic Journal
of Russian Timiryazev State Agrarian University

The journal publishes the results of experimental,
theoretical and procedural research in different areas
of agricultural science and practice carried out
in various natural and economic zones of the country

Founded in 1878
Six issues per year

Issue

1

January–February

Moscow
Publishing house of Russian Timiryazev State Agrarian University
2025

EDITOR-IN-CHIEF: Prof. **Vladimir I. Trukhachev**,
DSc (Ag), DSc (Econ), Full Member of RAS

EDITORIAL BOARD

Prof. **Sergey L. Belopukhov**, DSc (Ag); Prof. **Riccardo Valentini**, DSc, PhD (Italy);
Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio); Prof. **Rafkat S. Gaysin**, DSc (Econ);
Prof. **Aleksei V. Golubev**, DSc (Econ); Prof. **Styapas A. Grikshas**, DSc (Ag);
Prof. **Zhivko Danailov**, DSc (Ag) (Bulgaria); Prof. **Fevzi S. Dzhililov**, DSc (Bio);
Prof. **Dragutin A. Djukic** (Serbia); Prof. **Nikolai N. Dubenok**, DSc (Ag), Full Member of RAS;
Prof. **Georgy P. Dulger**, DSc (Vet); Prof. **Aleksei A. Ivanov**, DSc (Bio);
Prof. **Valerii I. Kiryushin**, DSc (Bio), Full Member of RAS; Prof. **Victor N. Korzun**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Rostislav G. Kuzmich**, DSc (Vet) (Belarus); Prof. **Yakov V. Kuzyakov**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Nikolay N. Lazarev**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir I. Leunov**, DSc (Ag);
Prof. **Vyacheslav M. Lukomets**, DSc (Ag), Full Member of RAS; Prof. **Alfir G. Mannapov**, DSc (Bio);
Prof. **Dmitrii A. Melnichuk**, DSc (Bio), Member of NASU and NAASU (Ukraine);
Rishat A. Migunov, CSc (Econ), PhD MSU; **Grigory F. Monakhos**, CSc (Ag);
Prof. **Sokrat G. Monakhos**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir D. Naumov**, DSc (Bio);
Prof. **Victor A. Panfilov**, DSc (Eng), Full Member of of RAS; Prof. **Sergei Ya. Popov**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Przhevalskiy**, DSc (Chem); Prof. **Agamagomed K. Radzhabov**, DSc (Ag);
Prof. **Gennady V. Rodionov**, DSc (Ag); Prof. **Valentina S. Rubets**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Svetlov**, DSc (Econ), Corresponding Member of RAS;
Prof. **Marina I. Selionova**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Olga V. Selitskaya**, CSc (Bio);
Prof. **Alexander A. Soloviev**, DSc (Bio); Prof. **Ivan G. Tarakanov**, DSc (Bio);
Prof. **Sergei P. Torshin**, DSc (Bio); Prof. **Sergei V. Fedotov**, DSc (Vet);
Prof. **Ludmila I. Khrustaleva**, DSc (Bio); Prof. **Vladimir A. Chernikov**, DSc (Ag);
Prof. **Sergey A. Shelkovnikov**, DSc (Econ); Prof. **Ivan N. Shilo**, DSc (Eng) (Belarus);
Prof. **Aleksandra V. Shitikova**, DSc (Ag); Prof. **Anatolii S. Shuvarikov**, DSc (Ag);
Prof. **Yusupzhan A. Yuldashbayev**, DSc (Ag), Full Member of RAS

EDITORIAL STAFF

Scientific editor – **Sergey S. Makarov**

Editor – **Vera I. Markovskaya**

Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**

Computer design and making-up – **Anneta S. Lavrova**

The journal is listed in the VAK (Higher Attestation Commission) register
of the top peer reviewed journals and editions

The journal is also included in BIOSIS (WoS), RSCI (WoS), CA(pt), CrossRef, AGRIS,
Russian Index of Science Citation, Core Collection of Russian Index of Science Citation

Article submission guidelines of the journal “Izvestiya of TAA” are available
at https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf

Articles submitted by postgraduates are exempt from the processing charge

© Federal State Budget Establishment of Higher Education –
Russian Timiryazev State Agrarian University, 2025
© Publishing House of Russian Timiryazev Agrarian University, 2025

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

Эффективность минеральных удобрений, модифицированных ингибиторами нитрификации и уреазы, при внесении под яровую пшеницу

Всеволод Михайлович Лапушкин^{1,2✉}, Анастасия Андреевна Лапушкина¹

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** Lapushkin@rgau-msha.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследования эффективности аммофоски, сульфоаммофоса и карбамида, модифицированных ингибиторами нитрификации (DMPP) и уреазы (NBPT), в посевах яровой пшеницы. Полевые опыты проводились в 2022–2023 гг. на окультуренной дерново-неглубокоподзолистой профильно-глееватой глубокопахотной почве легкосуглинистого гранулометрического состава на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Показано, что применение ингибиторов совместно с аммофоской и карбамидом способствует получению дополнительной прибавки урожайности на уровне 12–14% и увеличению сбора белка на 10–15%. Применение ингибиторов нитрификации и уреазы обеспечивало более высокое содержание минеральных форм азота в почве в течение вегетации и способствовало более эффективному использованию азота удобрений растениями. Коэффициенты использования азота сульфоаммофоса, аммофоски и карбамида под действием ингибитора нитрификации возрастали на 2, 10 и 18% соответственно. Применение ингибитора уреазы совместно с карбамидом увеличивало коэффициент использования азота на 12%. Окупаемость удобрений урожаем зерна под действием ингибиторов возрастала на 1,9–7,1 кг/кг.

Ключевые слова

Аммофоска, сульфоаммофос, карбамид, мочевины, азотные удобрения, ингибитор нитрификации, ингибитор уреазы, яровая пшеница, урожайность, эффективность, вынос, коэффициент использования

Для цитирования

Лапушкин В.М., Лапушкина А.А. Эффективность минеральных удобрений, модифицированных ингибиторами нитрификации и уреазы, при внесении под яровую пшеницу // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 5–21.

Effectiveness of mineral fertilizers modified by nitrification and urease inhibitors when applied to spring wheat

Vsevolod M. Lapushkin^{1,2✉}, Anastasiya A. Lapushkina¹

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

²All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

✉Corresponding author: lapushkin@rgau-msha.ru

Abstract

The article presents the results of research on the effectiveness of ammophos, sulfoammophos and urea modified with nitrification (DMPP) and urease (NBPT) inhibitors when applied to spring wheat. Field experiments were carried out in 2022–23 on cultivated light loamy soddy-podzolic soil on the territory of the Field Experimental Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. It has been shown, that the application of inhibitors with ammophoska and urea increases grain yield by 12–14% and increases protein yield by 10–15%. The application of nitrification and urease inhibitors ensured a higher content of mineral forms of nitrogen in the soil during the growing season and more efficient use of fertilizer nitrogen by plants. The nitrogen utilization coefficients of sulfoammophos, ammophoska and urea increased by 2%, 10% and 18%, respectively, under the influence of the nitrification inhibitor. The application of urease inhibitor together with urea increased the nitrogen utilization coefficient by 12%. The payback of fertilizers in grain yield increased by 1.9–7.1 kg/kg under the effect of inhibitors.

Keywords

Ammophoska, sulfoammophos, urea, nitrogen fertilizers, nitrification inhibitor, urease inhibitor, spring wheat, yield, effectiveness, removal, utilization coefficient

For citation

Lapushkin V.M., Lapushkina A.A. Effectiveness of mineral fertilizers modified by nitrification and urease inhibitors when applied to spring wheat. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 5–21.

Введение Introduction

По данным международной ассоциации производителей минеральных удобрений International Fertilizer Association (IFA), наблюдается неуклонный рост применения минеральных удобрений. В 2023 г. спрос превысил 200 млн т в пересчете на действующее вещество. При этом более половины валового объема потребляемых минеральных удобрений занимают азотные, на долю которых приходится ~56% [9, 21, 23].

Несмотря на высокий процент потребления азотных удобрений, проблема баланса азота в земледелии остается актуальной. Причинами их недостаточно высокой эффективности являются существенные потери азота, во многом обусловленные деятельностью почвенной микрофлоры, приводящей: к выделению газообразного аммиака (NH_3) при действии фермента уреазы на мочевину; к окислению аммонийного азота до нитратного ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) и увеличению его подвижности

вследствие нитрификации; к восстановлению нитрата до газообразных соединений азота ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_x\uparrow, \text{N}_2\text{O}\uparrow, \text{N}_2\uparrow$) при денитрификации. Таким образом, суммарные непроизводительные потери могут составлять более половины внесенного азота. В свою очередь, коэффициент использования азота минеральных удобрений, как правило, не превышает 50% [8, 10]. В связи с этим проблема повышения эффективности минеральных удобрений, и в первую очередь азотных, остается актуальной в настоящее время [14, 23, 27].

Поставленная задача может быть решена различными путями, направленными на сокращение возможных непроизводительных потерь питательных веществ и негативного воздействия на окружающую среду [28, 36].

Повышения эффективности минеральных удобрений можно добиться только в комплексе агротехнологий, применяемых в севообороте в конкретных почвенно-климатических условиях. В первую очередь, это определение оптимальных сроков и способов внесения удобрений, а также совместное применение удобрений и средств химической защиты растений, что позволяет получить дополнительный прирост урожайности на уровне 12–32% [1, 5, 7, 9, 12, 13, 15, 16].

Снизить потери азота минеральных удобрений также можно путем разработки, производства и внедрения новых форм удобрений замедленного и регулируемого действия, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными удобрениями [20, 29, 32]. Существуют различные способы получения азотсодержащих удобрений замедленного действия, обладающих повышенной эффективностью. Одним из самых популярных методов является применение ингибиторов уреазы (NBPT, PPD/PPDA, гидрохинон и др.) и нитрификации (дициандиамид, нитрапирин, DMPP и др.), которые позволяют существенно повысить эффективность удобрений за счет снижения газообразных потерь азота и вымывания нитратов [10, 21, 25, 30, 39].

По данным ряда авторов, снижение эмиссии закиси азота при применении разных форм азотных удобрений модифицированных ингибиторами нитрификации может составлять 11–96% [18, 35, 37, 38]. В исследованиях [17, 26, 31, 33, 34] применение ингибиторов нитрификации (DMPP, нитрапирин) увеличивало вынос азота растениями на 11–44% и обеспечивало прибавку урожайности овощных культур от 6% до 48%, а зерна кукурузы – на 33–62% относительно обычной формы азотного удобрения. Использование карбамида, стабилизированного ингибитором уреазы, позволяет снизить газообразные потери аммиака с 19–22% от внесенного азота до 5–6%, а также увеличить потребление азота сельскохозяйственными культурами на 6–13% [17, 19, 31, 33]. Проведение подобных исследований достаточно актуально для культуры яровой пшеницы [2–4].

Цель исследований: изучить влияние минеральных удобрений, модифицированных ингибиторами нитрификации и уреазы, на структуру, количество урожая и химический состав зерна яровой пшеницы.

Методика исследований

Research method

Исследования проводили в течение 2022–2023 гг. Изучение эффективности азотсодержащих удобрений, модифицированных ингибиторами уреазы и нитрификации, проводили в условиях мелкоделяночных полевых опытов на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Почва опытного участка – окультуренная дерново-неглубокоподзолистая профильно-глееватая глубоко пахотная легкосуглинистая на моренных валунных суглинках с линзами песка. Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почвы на опытном участке

Table 1

Soil agrochemical characteristics at the experimental plot

Показатель	Ед. изм.	Год			Метод определения
		2022	2023	среднее	
Гумус	%	2,23	2,52	2,38	ГОСТ 26213–2021
pH _{KCl}	ед.	5,4	5,9	5,7	ГОСТ 26483–85
Hг	мг-экв/100 г	2,00	1,59	1,80	ГОСТ 26212–2021
S	мг-экв/100 г	12,5	11,8	12,2	ГОСТ 27821–2020
T	мг-экв/100 г	14,5	13,4	14,0	–
V	%	86	87	87	–
N _{щ.г.}	мг/кг	74	103	89	МУ ЦИНАО, 1985
P ₂ O ₅	мг/кг	324	202	263	ГОСТ Р 54650–2011
K ₂ O	мг/кг	166	97	132	ГОСТ Р 54650–2011

Погодные условия в период проведения опытов в годы исследований несколько отличались от среднемноголетних значений (рис. 1). Наиболее сильные отличия наблюдались в 2022 г. Так, в мае 2022 г. среднемесячная температура была ниже среднемноголетнего значения на 3,2 °С, что ниже на 23%. Также в июне 2022 г., во время интенсивного роста растений, наблюдался существенный дефицит влаги, отклонение от среднемноголетних значений составило –37%, что, по-видимому, оказало существенное влияние на формирование урожая.

Схема опыта включала в себя 8 вариантов: 1) РК-фон (контроль); 2) NPK (аммофоска 15:15:15); 3) NPK (аммофоска 15:15:15, модифицированная ингибитором нитрификации); 4) К + NPS (сульфоаммофос 20:20:0); 5) К + NPS (сульфоаммофос 20:20:0, модифицированный ингибитором нитрификации); 6) РК + карбамид; 7) РК + карбамид, модифицированный ингибитором уреазы; 8) РК + карбамид, модифицированный ингибитором нитрификации. Все варианты опыта, кроме контроля, были выровнены по количеству внесенных элементов питания. Доза азота в 2022 г. составляла 6 г/м², в 2023 г. количество внесенного азота было увеличено до 9 г/м².

В варианте № 7 применялся ингибитор уреазы N-(n-бутил) тиофосфорный триамид (NBPT), в варианте № 8 – ингибитор нитрификации 3,4-диметилпиразол-фосфат (DMPP). Дозировка ингибиторов определялась рекомендациями (Регламент № 2003/2003 Европейского парламента и Совета Европейского Союза «Об удобрениях») и составляла 3 и 16 мг/г внесенного амидного азота соответственно. Обработка удобрений ингибиторами производилась непосредственно перед внесением в почву.

В качестве опытной культуры был выбран сорт мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – Любава. Сорт включен в реестр в 2012 г., регион допуска – 3, оригинатор – ФГБНУ «ФИЦ Немчиновка» [6]. Урожай убирали в фазу восковой спелости и приводили к стандартной влажности и 100%-ной чистоте. Химический анализ растительных образцов проводили по общепринятым методикам: ГОСТ 13496.4–2019; ГОСТ 26657–97; ГОСТ 32250–2013; ГОСТ ISO 12099–2017.

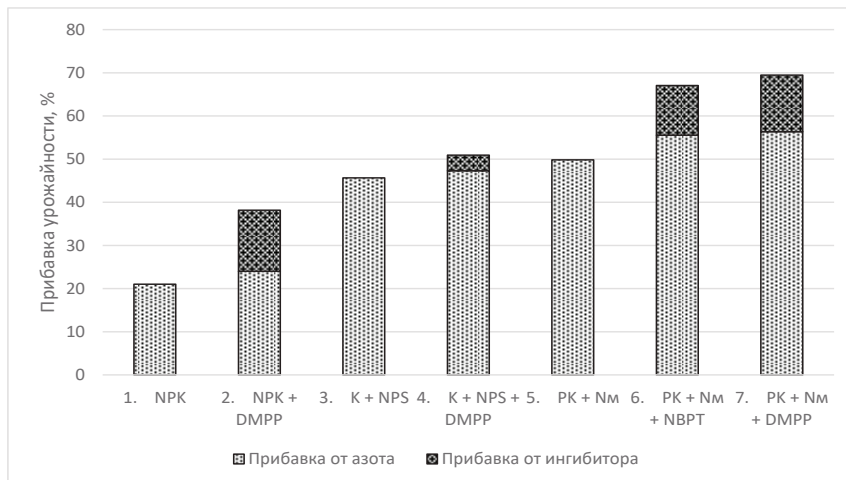


Рис. 1. Погодные условия в период проведения исследований

Figure 1. Weather conditions during the research period

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В фазу кущения, выхода в трубку и колошения-цветения были отобраны растительные образцы в целях учета темпов накопления биомассы и интенсивности поглощения элементов питания (табл. 2). При рассмотрении динамики накопления сухой массы вегетирующих растений следует отметить неоднозначность действия изучаемых удобрений. Так, в период кущения данный показатель у растений, выращиваемых на варианте с применением обычных аммоний-содержащих удобрений (NPK и NPS), был на 7–19% выше по сравнению с аналогичными удобрениями, модифицированными ингибитором нитрификации. Однако совместное применение карбамида и ингибиторов способствовало более интенсивному формированию сухой массы растений, по-видимому, за счет снижения газообразных потерь аммиака.

Начиная с фазы выхода в трубку, и далее в колошение-цветение, более выраженное положительное действие на формирование биомассы растений оказали аммофоска и карбамид, модифицированные ингибиторами. Масса растений в этих вариантах превышала варианты сравнения (без ингибиторов) в среднем на 20%. Применение ингибитора нитрификации совместно с сульфаммофосом не оказало существенного влияния на накопление сухой массы растениями.

Содержание и потребление азота растениями согласуются с результатами учета биомассы растений. Наиболее тесная связь прослеживалась между массой растений и потреблением азота ($r = 0,80$). В фазе кущения обеспеченность растений азотом при использовании ингибиторов была ниже по сравнению с вариантами без ингибиторов, что можно объяснить более высокой доступностью азота обычных удобрений.

Более выраженная разница в динамике потребления азота наблюдалась на более поздних фазах развития растений. Использование азотсодержащих удобрений, модифицированных NBPT и DMPP, способствовало повышению обеспеченности растений азотом, и как следствие – усилению его потребления на VI–IX этапах органогенеза. Так, применение NPK-удобрения совместно с ингибитором нитрификации увеличивало содержание азота в растениях в фазе выхода в трубку на 0,18%. В фазе колошения-цветения обеспеченность азотом была также на 0,06–0,32% выше в вариантах с внесением модифицированных удобрений, что, очевидно, связано с пролонгированным действием изучаемых удобрений.

Таблица 2

Результаты растительной диагностики минерального питания

Table 2

Results of plant diagnostics of mineral nutrition

Вариант	Масса растения, г		Содержание азота	Вынос азота	N-tester
	сырая	сухая	%	мг/раст.	
Фаза кущения					
РК-фон	2,11	0,39	1,74	6	376
NPK	4,10	0,72	3,62	26	464
NPK + DMPP	4,37	0,67	3,19	22	479
K + NPS	3,36	0,63	3,59	23	441
K + NPS + DMPP	3,13	0,51	2,78	14	416
PK + Nм	2,59	0,44	2,02	9	478
PK + Nм + NBPT	5,64	0,70	1,58	11	413
PK + Nм + DMPP	3,33	0,58	1,67	10	406
r*	0,52	0,35	−0,29	−0,15	0,04
Фаза выхода в трубку					
РК-фон	4,58	1,16	1,10	13	387
NPK	6,04	1,56	1,22	19	529
NPK + DMPP	7,41	2,07	1,40	29	530
K + NPS	6,87	1,68	1,48	25	434
K + NPS + DMPP	6,38	1,66	1,50	25	479
PK + Nм	5,90	1,52	1,42	22	448
PK + Nм + NBPT	7,42	1,83	1,40	26	509
PK + Nм + DMPP	6,02	1,58	1,45	23	508
r	0,65	0,56	0,81	0,71	0,45
Фаза колошения-цветения					
РК-фон	4,37	1,51	0,87	13	286
NPK	5,96	2,08	1,77	37	479
NPK + DMPP	7,17	2,49	1,83	46	428
K + NPS	6,36	2,05	1,44	29	406
K + NPS + DMPP	6,04	2,01	1,55	31	411
PK + Nм	5,15	1,77	1,14	20	396
PK + Nм + NBPT	6,57	2,11	1,27	27	426
PK + Nм + DMPP	6,56	2,15	1,46	31	454
r	0,64	0,49	0,17	0,24	0,53

Примечание. r – коэффициент линейной корреляции между показателем и урожайностью яровой пшеницы.

Наиболее тесная корреляционная связь прослеживалась в фазе выхода в трубку между содержанием азота и урожайностью ($r = 0,81$) и между потреблением азота и урожайностью ($r = 0,71$). Применение метода фотометрической диагностики азотного питания показало наилучший результат в фазу колошения-цветения ($r = 0,53$). При этом коэффициент линейной корреляции между результатами химической и фотометрической диагностики составил $r = 0,81$.

В целях оценки обеспеченности растений азотом и особенностей превращения изучаемых удобрений в фазу колошения были отобраны почвенные образцы из слоев почвы 0–20, 20–40 и 40–60 см, в которых определяли содержание минеральных форм азота (табл. 3).

Как показали результаты почвенной диагностики, наиболее тесная корреляционная связь прослеживалась между урожайностью и содержанием минеральных форм азота в слое 0–20 см ($r = 0,75–0,88$). При этом можно говорить, что применение ингибиторов нитрификации и уреазы снижало потери азота удобрений, о чем свидетельствует более высокое содержание минерального азота в почве соответствующих вариантов опыта. Следует отметить, что применение ингибитора нитрификации совместно с сульфаммофосом в наименьшей степени оказало влияние на содержание минеральных форм азота в почве, и напротив, наиболее высокое содержание минерального, преимущественно аммонийного, азота отмечалось в вариантах с применением модифицированного карбамида.

Урожайность яровой пшеницы по годам исследований значительно различалась, что обуславливалось более высоким плодородием почвы опытного участка и более благоприятными погодными условиями в сезоне 2023 г. (табл. 4). Учет биометрических показателей показал, что величина урожая в большей степени зависела от количества зерен в колосе ($r = 0,91$) и в меньшей степени определялась массой 1000 зерен ($r = 0,52–0,86$).

Таблица 3

Результаты почвенной диагностики минерального питания, мг/кг

Table 3

Results of soil diagnostics of mineral nutrition, mg/kg

Вариант	N-NH ₄			N-NO ₃			N _{мин}		
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
РК-фон	10	11	11	9	10	8	19	22	19
НРК	11	7	7	10	12	10	21	19	17
НРК + DMPP	17	7	6	12	8	7	29	15	14
К + NPS	26	18	17	10	8	7	36	27	23
К + NPS + DMPP	29	16	21	9	8	8	38	25	30
РК + Nм	13	13	20	10	9	10	22	23	30
РК + Nм + NBPT	33	13	17	14	9	9	47	23	26
РК + Nм + DMPP	36	25	20	13	9	9	49	34	29
r*	0,86	0,60	0,63	0,75	–0,54	0,11	0,88	0,51	0,62

***Примечание.** r – коэффициент линейной корреляции между показателем и урожайностью яровой пшеницы.

Структура урожая яровой пшеницы

Table 4

Yield structure of spring wheat

Вариант	Масса зерна, г/м ²	Масса соломы, г/м ²	Масса 1000 зерен, г	Длина растения, см	Длина колоса, мм	Масса колоса, г	Число зерен в колосе, шт.	Натура, г/л
РК-фон	212*	253	41,6	74	94	1,75	26,9	741
	327	458	37,6	82	65	0,95	20,2	768
NPK	252	364	42,7	82	103	2,05	29,4	732
	400	613	36,0	83	71	0,92	21,4	757
NPK + + DMPP	265	376	42,7	74	103	1,89	28,6	737
	480	620	40,1	88	75	1,05	24,8	767
K + NPS	273	373	42,3	79	104	1,94	31,0	747
	512	642	41,2	91	73	1,23	25,4	775
K + + NPS + + DMPP	299	344	42,2	81	103	2,12	34,6	743
	515	663	41,1	89	75	1,23	23,4	787
PK + Nm	298	312	42,2	73	103	1,92	32,6	749
	510	620	40,8	89	76	1,24	23,7	813
PK + + Nm + + NBPT	283	305	41,7	73	101	1,88	33,8	754
	618	721	41,7	96	79	1,55	30,5	812
PK + + Nm + + DMPP	313	335	44,0	75	105	1,97	34,0	755
	601	691	41,6	92	80	1,56	31,7	815
HCP ₀₅	27	46	Fф<Fт	5	4	Fф<Fт	3,3	11
	55	72	3,4	7	6	0,16	4,6	21

*В числителе – 2022 г., в знаменателе – 2023 г.

Используемые ингибиторы нитрификации и уреазы с различными формами азотсодержащих удобрений обладали разной эффективностью. Так, их совместное применение с карбамидом способствовало увеличению биомассы растений на 11%, с аммофоской – на 7%, с сульфаммофосом – на 1%. При этом соотношение основной и побочной продукции изменялось в пользу формирования товарной части урожая. Количество зерен в колосе возрастало под действием применения ингибиторов с карбамидом на 14–17%, совместно с аммофоской – на 5%, с сульфаммофосом – на 3%.

Таким образом, в среднем за два года применение ингибитора нитрификации совместно с сульфаммофосом (20:20:0) обеспечивало получение дополнительной

прибавки урожая зерна лишь на уровне 4%. Обработка NPK (15:15:15) ингибитором нитрификации повышала урожайность на 14%. Применение ингибиторов уреазы и нитрификации совместно с карбамидом обеспечило прибавку урожая 12 и 13% соответственно (рис. 2).

Применение азотсодержащих удобрений способствовало увеличению содержания белка в зерне на 1,29–2,12% относительно фона (табл. 5). Использование ингибиторов нитрификации и уреазы за счет повышения урожайности, и как следствия – «биологического разбавления», как правило, снижало содержание азотистых веществ в зерне преимущественно за счет увеличения содержания клетчатки на 0,21–0,34%. Однако сбор белка увеличивался на 10–15% при внесении модифицированных аммофоски и карбамида. Применение ингибиторов способствовало увеличению содержания жира на 0,13–0,29%, золы – на 0,07–0,19%.

Расчет показателей агрономической и агрохимической эффективности удобрений показал, что доля зерна в общей надземной массе растений была максимальной при применении карбамида – 46,4–47,1%. Также коэффициент хозяйственной эффективности ($K_{хоз}$) был выше при применении удобрений, модифицированных ингибиторами (табл. 6).

Применение ингибиторов уреазы и нитрификации способствовало снижению удельного выноса азота на 0,18–1,49 кг/т. При этом средний вынос элементов питания ($N - 26,4$; $P_2O_5 - 11,8$; $K_2O - 18,0$ кг/т) несколько отличался от данных литературы, приводимых для яровой пшеницы, при выращивании в Нечерноземной зоне ($N - 31,5$; $P_2O_5 - 10,6$; $K_2O - 21,0$ кг/т), что можно объяснить высокой обеспеченностью почвы подвижным фосфором [1, 8, 10].

Доля выноса азота с товарной частью урожая составляла 74, 79 и 80% соответственно от общего выноса при применении аммофоски, сульфаммофоса и карбамида. Также прослеживается прямая связь между этим показателем и коэффициентом хозяйственной эффективности, и можно говорить о положительном влиянии ингибиторов на эффективность азотсодержащих удобрений. При совместном применении удобрений и ингибиторов доля выноса азота зерном возрастала на 1–3%.

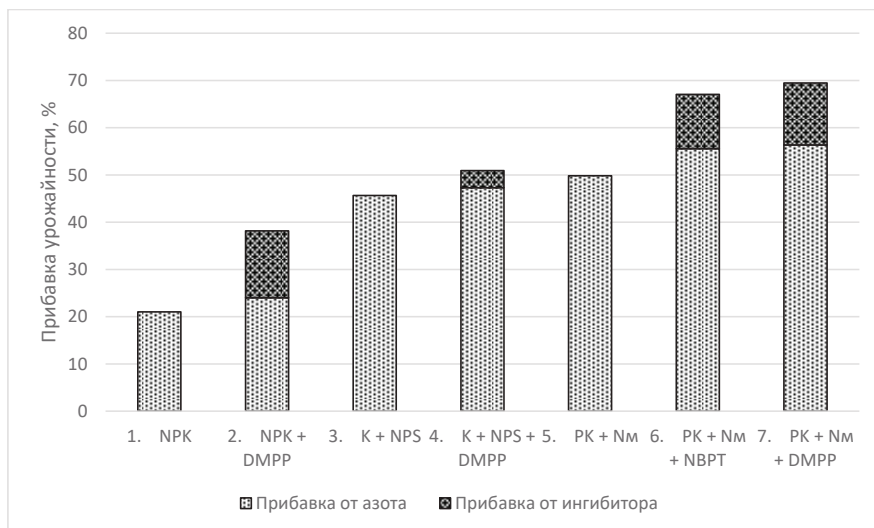


Рис. 2. Прибавка урожайности яровой пшеницы относительно РК-фона в зависимости от применяемых удобрений и ингибиторов нитрификации и уреазы (среднее за 2 года)

Figure 2. Yield increase of spring wheat relative to PK background depending on the fertilizers and nitrification and urease inhibitors used (mean over 2 years)

Таблица 5

Химический состав зерна яровой пшеницы

Table 5

Chemical composition of spring wheat grain

Вариант	Содержание, % сухой массы						Сбор белка, г/м ²
	Белок	Крахмал	Клетчатка	Сахар	Жир	Зола	
РК-фон	12,12	65,40	1,84	3,13	2,07	1,77	32,68
НПК	14,24	63,30	1,94	3,46	1,91	1,90	46,47
НПК + DMPP	13,99	63,51	2,15	3,42	2,04	1,96	52,10
К + NPS	13,74	63,72	1,92	2,92	2,04	1,85	53,95
К + NPS + DMPP	13,41	63,71	2,26	2,77	2,18	1,98	54,58
РК + Nм	14,00	65,28	1,65	3,01	1,82	1,75	56,56
РК + Nм + NBPT	13,83	63,82	1,93	2,10	2,08	1,86	62,31
РК + Nм + DMPP	14,19	63,09	1,93	2,25	2,12	1,94	64,83

Таблица 6

**Вынос элементов питания яровой пшеницей
и агрономическая эффективность минеральных удобрений**

Table 6

Nutrients removal by spring wheat and agronomic efficiency of mineral fertilizers

Вариант	Хозяйственный вынос, г/м ²			Удельный вынос, кг/т			КИУ _N %	K _{хоз} %	Доля выноса азота зерном от общего, %	Окупаемость 1 кг азота удобрения, кг зерна
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
РК-фон	6,32	3,02	4,69	23,46	11,19	17,38	—	43,1	78	—
НПК	9,53	4,06	7,30	29,21	12,45	22,37	43	40,1	74	7,6
НПК + DMPP	10,33	4,30	7,46	27,72	11,54	20,04	53	42,8	77	13,7
К + NPS	10,31	4,53	6,88	26,27	11,55	17,52	53	43,6	79	16,4
К + NPS + DMPP	10,47	5,27	7,21	25,73	12,96	17,72	55	44,7	80	18,3
РК + Nм	10,68	4,66	6,32	26,45	11,53	15,65	58	46,4	80	17,9
РК + Nм + NBPT	11,56	5,27	7,60	25,66	11,70	16,88	70	46,8	82	24,1
РК + Nм + DMPP	12,00	5,15	7,52	26,27	11,27	16,47	76	47,1	83	25,0

Важным показателем эффективности удобрений является коэффициент использования питательных веществ (КИУ). Можно с уверенностью утверждать, что применение ингибитора нитрификации способствовало повышению эффективности использования растениями азота на 10, 2 и 18% соответственно при внесении аммофоски, сульфоаммофоса и карбамида. Применение карбамида с ингибитором урезы увеличивало коэффициент использования азота на 12%.

Окупаемость удобрений урожаем зерна под действием ингибиторов возрастала на 1,9–7,1 кг/кг, что свидетельствует также о существенном повышении эффективности применяемых удобрений.

Выводы

Conclusions

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение ингибиторов нитрификации и уреазы способствует повышению обеспеченности почвы минеральными формами азота, и как следствие – увеличению содержания азота в надземных органах растений в течение вегетации. Наибольшей эффективностью обладали модифицированные формы аммофоски и карбамида. Применение ингибиторов совместно с этими удобрениями способствует получению дополнительной прибавки урожайности на уровне 12–14%. Применение ингибиторов уреазы и нитрификации способствовало снижению удельного выноса азота на 0,18–1,49 кг/т, а доля выноса азота зерном в общем его потреблении возрастала на 1–3%. Коэффициент использования азота минеральных удобрений под действием ингибитора нитрификации возрастал на 2%, 10% и 18% соответственно при внесении сульфоаммофоса, аммофоски и карбамида. Применение ингибитора уреазы совместно с карбамидом увеличивало коэффициент использования азота на 12%. Окупаемость удобрений урожаем зерна под действием ингибиторов возрастала на 1,9–7,1 кг/кг.

Список источников

1. Белобусов А.С., Лапушкин В.М., Верниченко И.В. Влияние некорневой подкормки яровой пшеницы сульфатом цинка на усвоение отдельных форм азота при разной обеспеченности почвы подвижным фосфором // *Агрохимический вестник*. 2021. № 6. С. 29-33. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-6-006>
2. Бородий С.А., Виноградова В.С., Макаров С.С. Имитационно-динамическая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы сорта Любава с корректировкой на эффективность гуминового комплекса «Экобиосфера Б» // *Аграрный вестник Черноземья*. 2024. № 2 (14). С. 6-20. https://doi.org/10.52025/2712-8679_2024_02_6
3. Виноградова В.С., Бородий С.А., Голоктионов И.И., Каратаева О.Г. Ростовая модель прогноза продуктивности *Triticum aestivum* сорта Любава на фоне предпосевной обработки семян и некорневой подкормки гуминовым комплексом «Экобиосфера Б» // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 6. С. 90-107. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-6-90-107>
4. Виноградова В.С., Бородий С.А., Макаров С.С. Ростовая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы Любава на фоне предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» // *АгроЭкоИнфо*. 2024. № 2. URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/2/st_207.pdf
5. Власенко Н.Г., Тепляков Б.И., Теплякова О.И. Эффективность агрохимикатов при возделывании яровой пшеницы // *Защита и карантин растений*. 2004. № 9. С. 47-48. EDN: PBLERB.

6. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорты растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 631 с.
7. Захаренко В.А., Груздев Г.С., Воеводин А.В. и др. Экономические пороги вредоносности сорных растений в посевах основных сельскохозяйственных культур: Рекомендации. М.: Агропромиздат, 1989. 25 с.
8. *Изотопы*: свойства, получение, применение. Т. 2 / под ред. В.Ю. Баранова. М.: Физматлит, 2005. 728 с.
9. Лапушкин В.М., Муравьева О.А., Лапушкина А.А., Волкова М.А. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений и формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы // *Плодородие*. 2022. № 3 (126). С. 6-12. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.02>
10. Лапушкин В.М., Волкова М.А., Лапушкина А.А. Использование яровой пшеницей азота капсулированной мочевины // *Плодородие*. 2023. № 6 (135). С. 15-19. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.135.04>
11. Лапушкин В.М., Нестеренко В.А. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // *Плодородие*. 2019. № 3 (108). С. 19-21. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.06>
12. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под. ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. М.: Типография Россельхозакадемии, 2008. 392 с.
13. Немченко В.В., Рыбина Л.Д. Эффективность систематического применения гербицидов и азотных удобрений при выращивании яровой пшеницы // *Агрохимия*. 2007. № 3. С. 41-46. EDN: IAAPPV.
14. Малявин А.С., Миносьянц С.В., Аксенчик К.В., Лапушкин В.М. Производство минеральных удобрений // *Энциклопедия технологий 2.0: Химический комплекс: Монография*. М., СПб.: Центр экологической промышленной политики, 2022. С. 11-88. EDN: GOVKBI.
15. Рухович О.В. Географическая сеть опытов с удобрениями – основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем // *Плодородие почв России: состояние и возможности: Сборник статей (к 100-летию со дня рождения Т.Н. Кулаковской)*. М.: Всероссийский НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019. С. 99-103. EDN: EHYRXU.
16. Шарков И.Н., Иодко Л.Н. Эффективность минеральных удобрений при применении средств защиты растений // *Агрохимический вестник*. 2009. № 6. С. 12-13. EDN: LLZYXP.
17. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., et al. Meta-analysis of the Effect of Urease and Nitrification Inhibitors on Crop Productivity and Nitrogen Use Efficiency. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014;189:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
18. Akiyama H., Yan X.Y., Yagi K. Evaluation of Effectiveness of Enhanced-Efficiency Fertilizers as Mitigation Options for N₂O and NO Emissions from Agricultural Soils: Meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 2010;16:1837-1846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02031.x>
19. Basten M., Brynildsen P., Belzen R. Stabilized urea for enhanced nitrogen use efficiency // *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers. International Fertilizer Industry Association*. Frankfurt, Germany, 2005:73-78.
20. Burzaco J.P., Vyn T.J., Smith D.R. Nitrous Oxide Emissions in Midwest US Maize Production Vary Widely with Band-injected N Fertilizer Rates, Timing and Nitrpyrin Presence. *Environmental Research Letters*. 2013;3:035031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035031>

21. Chaopu T., Xiaoyuan Ya., Longlong X., Jingwen H. Improving Nitrogen Safety in China: Nitrogen Flows, Pollution and Control. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2022;9(3):465-474. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2022454>
22. Cross L., Gruère A. Public Summary – World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2022 to 2023 // *IFA Strategic Forum*. Washington DC, USA: International Fertilizer Industry Association, 2022:1-13.
23. Dobermann A. *Nitrogen Use Efficiency – State of the Art*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2005:16.
24. IFA Market Intelligence Service. *World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2021 to 2022*: Public Summary. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2021:1-6.
25. Fan C., Li B., Xiong Z. Nitrification Inhibitors Mitigated Reactive Gaseous Nitrogen Intensity in Intensive Vegetable Soils from China. *Science of the Total Environment*. 2018;612:480-489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.159>
26. Frye W.W. Nitrification Inhibition for Nitrogen Efficiency and Environment Protection. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:139-145.
27. Grant C. Policy Aspects Related to the Use of Enhanced-efficiency Fertilizers: Viewpoint of the Scientific Community. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:148-155.
28. Joly C. Mineral fertilizers: plant nutrient content, formulation and efficiency. In: Dudal R. Roy R.N. (eds.). *Integrated Plant Nutrition Systems*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 12. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy: 1993:426.
29. Lewu F.B., Volova T., Sabu T., Rakhimol K.R. *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. London, UK: Academic Press is an Imprint of Elsevier, 2021:22.
30. Li Q., Cui X., Liu X., et al. A New Urease-inhibiting Formulation Decreases Ammonia Volatilization and Improves Maize Nitrogen Utilization in North China Plain. *Scientific Reports*. 2017;7(1):43853. <https://doi.org/10.1038/srep43853>
31. Linquist B.A., Liu L.J., van Kessel C., van Groenigen K. Enhanced Efficiency Nitrogen Fertilizers for Rice Systems: Meta-analysis of Yield and Nitrogen Uptake. *Field Crop Res*. 2013;154:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014>
32. Maximov P.N., Rudmin M.A., Dauletova A.B. Glauconite-urea Nanocomposites as Polyfunctional and Environment-friendly Fertilizers. In: *Proceedings of X International Siberian Early Career Geoscientists Conference*. Novosibirsk, Russia: Novosibirsk State University. 2022:175-176. EDN: XUGTSS.
33. Pan B., Lam S.K., Mosier A., et al. Ammonia Volatilization from Synthetic Fertilizers and Its Mitigation Strategies: a Global Synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ*. 2016;232:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>
34. Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. Effect of Fertilizers with the New Nitrification Inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole Phosphate) on Yield and Quality of Agricultural and Horticultural Crops. *Biology and Fertility of Soils*. 2001;34:85-97. <https://doi.org/10.1007/s003740100381>
35. Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T.L., Fixen P.E. Review of Greenhouse Gas Emissions from Crop Production Systems and Fertilizer Management Effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009;133(3-4):247-266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
36. Shaviv A. Controlled Supply of Fertilizers for Increasing Use Efficiency and Reducing Environmental Damage. In: *Optimization of Plant Nutrition*. Frago M.A.C.

and Van Beusichem M.L. (eds). Dordrecht, Netherlands Kluwer Academic Publ., 1993:651-656.

37. Wang W., Park G., Reeves S., et al. Nitrous Oxide Emission and Fertilizer Nitrogen Efficiency in a Tropical Sugarcane Cropping System applied with Different Formulations of Urea. *Soil Res.* 2016;54:572-584. <https://doi.org/10.1071/SR15314>

38. Wang W.J., Reeves S.H., Salter B., et al. Effects of Urea Formulations, Application Rates and Crop Residue Retention on N₂O Emissions from Sugarcane Fields in Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016;216:137-146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.035>

39. Yang M., Fang Y., Sun D., Shi Y. Efficiency of Two Nitrification Inhibitors (Dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazolephosphate) on Soil Nitrogen Transformations and Plant Productivity: a Meta-analysis. *Scientific Reports.* 2016;6:22075. <https://doi.org/10.1038/srep22075>

References

1. Belobusov A.S., Lapushkin V.M., Vernichenko I.V. Influence of foliar top-dressing of spring wheat by zinc sulphate on absorption of different forms of nitrogen at different supply of soil by available phosphorous. *Agrochemical Herald.* 2021;6:29-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-6-006>

2. Borodiy S.A., Vinogradova V.S., Makarov S.S. Simulation and dynamic model for forecasting the productivity of spring wheat of Lyubava variety with adjustment for the efficiency of the humic complex “Ecobiosphere B”. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Zone.* 2024;2:6-20. (In Russ.) https://doi.org/10.52025/2712-8679_2024_02_6

3. Vinogradova V.S., Borodiy S.A., Goloktionov I.I., Karataeva O.G. Growth model for predicting the productivity of Triticum aestivum of Lyubava variety against the background of pre-sowing seed treatment and foliar feeding with the humic complex “Ecobiosphere B”. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2024;6:90-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-6-90-107>

4. Vinogradova V.S., Borodiy S.A., Makarov S.S. Growth model for forecasting the productivity of spring wheat of Lyubava variety against the background of pre-sowing seed treatment with the preparation “Ecobiosphere B”. *AgroEcoInfo.* 2024;2:17. (In Russ.) http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/2/st_207.pdf

5. Vlasenko N.G., Teplyakov B.I., Teplyakova O.I. Efficiency of agrochemicals in spring wheat cultivation. *Plant Protection and Quarantine.* 2004;9:47-48. (In Russ.)

6. *State register of selection achievements approved for use. Volume 1. Plant varieties.* Moscow, Russia: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2023:631. (In Russ.)

7. Zakharenko V.A., Gruzdev G.S., Voevodin A.V. et al. *Economic thresholds of harmfulness of weeds in crops of main agricultural crops: recommendations.* Moscow, USSR: Agropromizdat, 1989:25. (In Russ.)

8. *Isotopes: properties, production, application. Part 2.* Ed. by V.Yu. Baranov. Moscow, Russia: FIZMATLIT, 2005:728. (In Russ.)

9. Lapushkin V.M., Muravyeva O.A., Lapushkina A.A., Volkova M.A. Influence of the supply of soil with mobile phosphorus on the efficiency of nitrogen fertilizers in growing spring wheat. *Plodorodie.* 2022;3(126):6-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.02>

10. Lapushkin V.M., Volkova M.A., Lapushkina A.A. Use of nitrogen encapsulated urea by spring wheat. *Plodorodie.* 2023;6(135):15-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.135.04>

11. Lapushkin V.M., Nesterenko V.A. The formation of yield and grain quality of spring wheat depending on doses of nitrogen fertilizers and supply of soil phosphorus. *Plodorodie*. 2019;3(108):19-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.06>
12. *Methodological guidelines for the design of fertilizer application in adaptive landscape farming technologies*. Ed. by A.L. Ivanov, L.M. Derzhavin. Moscow, Russia: Tipografiya Rosselkhozakademii, 2008:392. (In Russ.)
13. Nemchenko V.V., Rybina L.D. Efficiency of systematic application of herbicides and nitrogen fertilizers in growing spring wheat. *Agrohimia*. 2007;3:41-46. (In Russ.)
14. Malyavin A.S., Minosyants S.V., Aksenich K.V., Lapushkin V.M. Production of mineral fertilizers. In: *Encyclopedia of technologies 2.0: Chemical complex*. Moscow St. Petersburg, Russia: NII "Tsentral'noy ekologii i biologii", 2022:11-88. (In Russ.)
15. Ruxovich O.V. Geographic network of experiments with fertilizers – the basis for effective management of the natural resource potential of agroecosystems. In: *Soil fertility in Russia: state and possibilities: collection of articles (to the 100th anniversary of the birth of T.N. Kulakovskaya)*. Moscow, Russia: All-Russian Scientific and Research Institute of Agrochemistry named by D.N. Pryanishnikov, 2019:99-103. (In Russ.)
16. Sharkov I.N., Iodko L.N. Efficiency of mineral fertilizers when using plant protection products. *Agrochemical Herald*. 2009;6:12-13. (In Russ.)
17. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., Guardia G. et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014;189:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
18. Akiyama H., Yan X.Y., Yagi K. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 2010;16:1837-1846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02031.x>
19. Basten M., Brynildsen P., Belzen R. Stabilized urea for enhanced nitrogen use efficiency. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. International Fertilizer Industry Association. Frankfurt, Germany: 2005:73-78.
20. Burzaco J.P., Vyn T.J., Smith D.R. Nitrous oxide emissions in midwest us maize production vary widely with band-injected n fertilizer rates, timing and nitrpyrin presence. *Environmental research letters*. 2013;3:035031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035031>
21. Chaopu T, Xiaoyuan Ya, Longlong X, Jingwen H. Improving nitrogen safety in china: nitrogen flows, pollution and control. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2022;9(3):465-474. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2022454>
22. Cross L., Gruère A. Public Summary – World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2022 to 2023. *IFA Strategic Forum*. Washington DC, USA: International Fertilizer Industry Association, 2022:1-13.
23. Dobermann A. *Nitrogen use efficiency – state of the art*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2005:16.
24. *IFA Market Intelligence Service. World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2021 to 2022*: Public Summary. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2021:1-6.
25. Fan C., Li B., Xiong Z. Nitrification inhibitors mitigated reactive gaseous nitrogen intensity in intensive vegetable soils from China. *Science of the Total Environment*. 2018;612:480-489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.159>
26. Frye W.W. Nitrification inhibition for nitrogen efficiency and environment protection. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:139-145.

27. Grant C. Policy aspects related to the use of enhanced-efficiency fertilizers: Viewpoint of the scientific community. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:148-155.
28. Joly C. Mineral fertilizers: plant nutrient content, formulation and efficiency. In: *Integrated Plant Nutrition Systems*. Dudal R. and Roy R.N. (eds). *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 12*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy: 1993:426.
29. Lewu F.B., Volova T., Sabu T., Rakhimol K.R. *Controlled release fertilizers for sustainable agriculture*. London, UK: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2021:22.
30. Li Q., Cui X., Liu X., Roelcke M. et al. A new urease-inhibiting formulation decreases ammonia volatilization and improves maize nitrogen utilization in North China Plain. *Scientific Reports*. 2017;7(1):43853. <https://doi.org/10.1038/srep43853>
31. Linquist B.A., Liu L.J., van Kessel C., van Groenigen K. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crop Res.* 2013;154:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014>
32. Maximov P.N., Rudmin M.A., Dauletova A.B. Glauconite-urea nanocomposites as polyfunctional and environment-friendly fertilizers. In: *Proceedings of X International Siberian early career geoscientists conference*. Novosibirsk, Russia: Novosibirsk State University, 2022:175-176.
33. Pan B., Lam S.K., Mosier A., Luo Y. et al. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016;232:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>
34. Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils*. 2001;34:85-97. <https://doi.org/10.1007/s003740100381>
35. Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T.L., Fixen P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2009;133(3-4):247-266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
36. Shaviv A. Controlled supply of fertilizers for increasing use efficiency and reducing environmental damage. In: *Optimization of Plant Nutrition*. Frangou M.A.C. and Van Beusichem M.L. (eds). Dordrecht, Netherlands: Kluwer academic publisher, 1993:651-656.
37. Wang W., Park G., Reeves S., Zahmel M. et al. Nitrous Oxide emission and fertilizer nitrogen efficiency in a tropical sugarcane cropping system applied with different formulations of urea. *Soil Res.* 2016;54:572-584. <https://doi.org/10.1071/SR15314>
38. Wang W.J., Reeves S.H., Salter B., Moody P.W. et al. Effects of urea formulations, application rates and crop residue retention on N₂O emissions from sugarcane fields in Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016;216:137-146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.035>
39. Yang M., Fang Y., Sun D., Shi Y. Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis. *Scientific Reports*. 2016;6:22075. <https://doi.org/10.1038/srep22075>

Сведения об авторах

Всеволод Михайлович Лапушкин, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А.Тимирязева»; старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н.Прянишникова»; 127550, Российская Федерация, г.Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9773-2077>

Анастасия Андреевна Лапушкина, кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А.Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г.Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: alapushkina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3541-7300>

Information about the authors

Vsevolod M. Lapushkin, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov; e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9773-2077>

Anastasiya A. Lapushkina, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: alapushkina@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3541-7300>

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

**Влияние погодных условий, продуктивной влаги,
макроэлементов питания почвы и сорных растений на урожайность гороха**

Дмитрий Владимирович Митрофанов✉

Федеральный научный центр биологических систем
и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия;

✉ **Автор, ответственный за переписку:** dvm.80@mail.ru

Аннотация

Решение проблемы повышения урожайности гороха – одна из основных задач растениеводства в засушливых условиях Оренбургского Предуралья. Самый оптимальный путь решения – применение посевов гороха после внесения аммофоски под осеннюю вспашку в зернопаровых севооборотах и выявление влияния факторов на урожайность зерна. Внесение измельченной соломы и сидератов в почву предшественников гороха без применения минеральных удобрений не решает проблему. Проведение полевых опытов и статистического (регрессионного) анализа полученных результатов является своевременным и актуальным. Цель исследований заключается в установлении влияния погодных условий, продуктивной влаги и питательных веществ почвы, сорных растений и предшественников севооборотов на урожайность гороха по фонам питания в засушливых условиях Оренбургской области. На территории ОПХ им. Куйбышева Оренбургского района изучаются посевы гороха (2002–2022 гг.) в 6-польном и 2-польном севооборотах на многолетнем стационарном опытном участке, заложенном в 1990 г. Повторность двухфакторного опыта – 4-кратная на территории и 20-однократная во времени. Фактор А – фоны: удобрённый (аммофоска – $N_{40}P_{40}K_{40}$ кг/га) и неудо́ренный (контроль). Фактор В – варианты: 5 предшественников гороха (2 – твердой пшеницы, 3 – мягкой пшеницы) севооборотов. Получены усредненные данные: температура воздуха по май-август – $+16,2...+22,8^{\circ}C$; атмосферные осадки – 21,7–42,7 мм; число суховейных дней – 14–18; гидротермический коэффициент (ГТК) – 0,09–0,19; содержание продуктивной влаги после посева – 126,9–137,9 мм, перед уборкой – 32,2–51,2 мм, расход – 170,7–179,6 мм; $N-NO_3$ на удо́ренном фоне питания – 84–101, 55–86, 9–30 мг и на неудо́ренном – 66–76, 45–74, 1–25 мг; P_2O_5 –58–63, 52–60, 0–7 мг и 43–46, 37–45, 0–7 мг; K_2O – 423–500, 367–454, 42–56 мг и 382–425, 329–404, 13–53 мг/кг; количество сорных растений в фазе всходов – 91–139 и 84–109 шт., в фазе созревания – 40–58 и 37–49 шт./м², масса сорняков – 35,8–47,1 и 33,8–42,2 г/м²; урожайность – 0,65–0,87 и 0,60–0,83 т/га; прибавка зерна гороха – 0,01–0,06 т. В результате наблюдений выявлено повышение урожайности гороха по фонам питания в 6-польном севообороте с посевом суданской травы в зависимости от влияния осадков июня, аммофоски и предшественника мягкой пшеницы. Недобор выпавших осадков в июне, израсходованная влага, нитратный азот и сорные растения значительно влияли на понижение выхода зерна гороха по твердой пшенице в 2-польном севообороте. В вариантах опыта установлено существенное воздействие засушливых погодных условий, расхода продуктивной влаги, дисбаланса питательных веществ в почве и засоренности посевов на снижение урожайности гороха в зернопаровых и сидеральных севооборотах. Влияние совокупности других факторов было незначительным.

Ключевые слова

Атмосферные осадки, температура воздуха, число суховейных дней, продуктивная влага, питательные вещества, сорные растения, урожайность, горох, предшественник, севооборот

Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания в соответствии с планом научно-исследовательской работы на 2024–2030 гг. Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (№ FNWZ-2022–0014).

Для цитирования

Митрофанов Д.В. Влияние погодных условий, продуктивной влаги, макроэлементов питания почвы и сорных растений на урожайность гороха // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 22–42.

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, ECOLOGY

Effect of weather conditions, productive moisture, soil macronutrients and weeds on pea yield

Dmitry V. Mitrofanov✉

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉Corresponding author: dvm.80@mail.ru

Abstract

Solving the problem of increasing pea yield is one of the main tasks of crop production in the arid conditions of the Orenburg-Cis-Ural region. The most optimal solution is to use pea crops after applying ammophoska for fall plowing in grain-fallow crop rotations and to identify the effect of factors on grain yield. Adding chopped straw and green manure to the soil of pea predecessors without mineral fertilizers does not solve the problem. Conducting field experiments and statistical analysis (regression) of the results obtained is timely and relevant. The aim of the study is to determine the effect of weather conditions, soil productive moisture and nutrients, weeds and precursors of crop rotation on pea yield by nutritional backgrounds in the arid conditions of the Orenburg Region. On the territory of the experimental production farm named after Kuybyshev, Orenburg Region, pea crops (2002–2022) are being studied in 6-field and 2-field crop rotations on a long-term stationary experimental plot established in 1990. The repetition of the two-factor experiment is fourfold in the area and twentyfold in time. Factor A is backgrounds: fertilized (ammophoska – $N_{40}P_{40}K_{40}$ kg/ha) and unfertilized (control). Factor B is options: five pea predecessors (two durum and three soft wheat) of crop rotations. Average data were obtained: air temperature for May–August is $+16.2...+22.8^{\circ}C$; precipitation – 21.7–42.7 mm; number of dry days – 14–18; hydrothermal coefficient (HTC) – 0.09–0.19; productive moisture content after sowing – 126.9–137.9 mm, before harvesting – 32.2–51.2 mm, consumption – 170.7–179.6 mm; $N-NO_3$ on a fertilized nutritional background – 84–101, 55–86, 9–30 mg and on an unfertilized background – 66–76, 45–74, 1–25 mg; P_2O_5 – 58–63, 52–60, 0–7 mg and 43–46, 37–45, 0–7 mg; K_2O – 423–500, 367–454, 42–56 mg and 382–425, 329–404, 13–53 mg/kg; the number of weeds in the germination phase – 91–139 and 84–109 pcs., in the ripening phase – 40–58 and 37–49 pcs./m²; the mass of weeds – 35.8–47.1 and 33.8–42, 2 g/m²; yield – 0.65–0.87 and 0.60–0.83 t/ha; increase in pea grain – 0.01–0.06 t. The observations revealed an increase in pea yield by nutritional backgrounds in a six-field crop rotation with summer sowing of Sudan grass, depending on the effect of June precipitation, ammophoska and the precursor of soft wheat. Lack of precipitation in June, spent moisture, nitrate nitrogen and weeds significantly reduced pea yield after durum wheat in a two-field crop rotation. The experimental variants revealed a significant effect of dry weather conditions, use of productive moisture, soil nutrient imbalance and weed infestation on pea yield reduction in grain-fallow and green manure rotations. The effect of other factors combined was insignificant.

Keywords

Precipitation, air temperature, number of dry days, productive moisture, nutrients, weeds, yield, peas, predecessor, crop rotation

Acknowledgments

The research was carried out within the framework of the state assignment of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences in accordance with the research plan for 2024–2030 (No. FNWZ-2022–0014).

For citation

Mitrofanov D.V. Effect of weather conditions, productive moisture, soil macronutrients and weeds on pea yield. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 22–42.

Введение Introduction

Повышение плодородия почвы происходит в связи с увеличением доли бобовых культур в структуре посевных площадей севооборотов. Невозможно применение агротехнических приемов без соблюдения правильного чередования культур в севооборотах, которые направлены на повышение урожайности [1, 2]. Урожайность гороха зависит от сроков посева и погодных условий. В сроки посева гороха (6–14 мая) и в засушливом вегетационном периоде более эффективно используется продуктивная влага в почве. При посеве в эти сроки отмечается наибольший выход зерна гороха. В более ранние сроки посева гороха наблюдается снижение выхода продукции на 1 мм использованной влаги [3]. В других почвенно-климатических условиях проводятся научные работы по разнообразному влиянию агротехнологии на формирование запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы и урожайности гороха [4]. После интенсивных приемов обработки почвы содержание влаги уменьшается на 5–12% в 0–30 см и на 11–39% в 0–10 см слоях горизонта перед посевом гороха. После вспашки весенние запасы влаги в почве перед посевом снижаются на 21–33%, в фазу бутонизации гороха – на 27–34%. Содержание продуктивной влаги уменьшается в пахотном слое почвы до минимальных значений (0–10 мм/га), что приводит к понижению урожайности зерна. В условиях достаточного увлажнения на вариантах со вспашкой получена максимальная урожайность гороха – 5,54 т/га [5]. В сложившихся погодных и почвенных условиях получена урожайность гороха 3,79 т/га при технологии прямого посева по вспашке в зависимости от содержания продуктивной влаги в метровом слое почвы 167,2 мм [6]. В раннем сроке посева формируется наибольшая урожайность гороха (2,18–3,72 т/га) на фоне по вспашке с применением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{80}K_{80}$ кг/га действующего вещества [7, 8]. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{40}K_{40}$ повышает урожайность гороха. Низкие и высокие нормы внесения минеральных удобрений под посевы гороха существенно снижают урожайность зерна [9].

В засушливых условиях Оренбургского Предуралья внесение минеральных удобрений под основную обработку почвы (вспашка) накапливает запасы нитратного азота и подвижного фосфора в почве до 19,0 мг/кг, что приводит к увеличению зерна гороха на 0,05 т/га при урожайности 1,03 т/га [10]. В засушливой степи Южного Урала влияние предшественника (мягкая пшеница) и использованной продуктивной влаги с учетом атмосферных осадков в почве 106,5 мм способствует повышению урожайности гороха в севообороте с занятым паром до 0,86 т/га [11]. Во влажных

условиях Среднего Урала гидротермический коэффициент июня положительно влияет на урожайность гороха, что обеспечивает прибавку зерна от минеральных удобрений на 0,68 т/га [12].

Влияние минеральных удобрений на засоренность посевов гороха является многообразным в зависимости от почвенно-климатических условий. Удобрения улучшают рост и развитие не только гороха, но и сорных растений. Наибольшее количество сорняков снижает урожайность гороха. Обработка почвы уменьшает засоренность посевов гороха. Вспашка с применением минеральных удобрений снижает в течение вегетационного периода гороха количество сорных растений в 1,9–2,0 раз, воздушно-сухую массу – в 1,2–1,8 раз, перед уборкой – в общем 1,3–2,5 раз [13]. В период появления всходов горох за счет своих биологических особенностей слабо противостоит сорнякам. Поэтому главной задачей в агротехнологии возделывания является определение в начале вегетации количества сорняков в посевах гороха. При повышении порога вредоносности сорняков в посевах гороха применяли гербициды. Применение различных гербицидов снижало массу сорняков в среднем на 39,3–54,6%. В результате обработки гербицидом (Фюзилад Форте – 1,0 л/га) получена прибавка зерна гороха на 0,37 т/га. Применение боронования по всходам и гербицида «Для сои» с нормой 0,6 л/га обеспечивает снижение засоренности посевов и повышение урожайности гороха [14, 15].

Другие агрометеорологические и почвенные условия оказывают существенное воздействие на урожайность гороха. Повышение урожайности гороха зависит от наилучшего распределения продуктивной влаги в почве за период вегетации, что значительно влияет на рост и развитие культуры [16]. В сложившихся погодных условиях юго-центральной части Польши при традиционной системе обработки почвы формируется повышенная урожайность гороха (5,19 т/га) в сравнении со вспашкой – 2,89 т/га [17]. В засушливых условиях Индии результаты эксперимента показывают положительное влияние новых сортов гороха (Arka Aroorva и Kashi Shakti) на увеличение урожайности – 13,4–15,7 т/га [18].

Наибольшее содержание влаги в почве способствует повышению урожайности зернобобовой культуры. Ограниченный режим увлажнения или условия с дефицитом воды (засуха), как правило, приводят к снижению урожайности зерна гороха и неэффективности удобрений. Во влажных условиях внесение минеральных удобрений в почву оказывает существенное влияние на формирование урожайности гороха. В результате в 2 раза возрастает прибавка зерна гороха на территории опытного участка [19, 20]. Недостаточно изучались вопросы по повышению продуктивности гороха в почвенно-климатических условиях России. В связи с этим для решения проблемы наибольший интерес представляло изучение агрометеорологических условий, влажности и макроэлементов питания почвы, засоренности посевов и предшественников в зернопаровых и зерновых севооборотах.

Таким образом, впервые для условий Оренбургского Предуралья были проведены исследования по выявлению воздействия атмосферных осадков, температуры воздуха, суховея, гидротермического коэффициента, продуктивной влаги, подвижных форм азота, фосфора и обменного калия, сорняков и предшествующих культур на урожайность гороха в севооборотах на фоне с минеральными удобрениями и без их применения.

Цель исследований: установить влияние погодных условий, продуктивной влаги и питательных веществ почвы, сорных растений и предшественников севооборотов на урожайность гороха по фонам питания в засушливых условиях Оренбургской области.

Методика исследований Research method

Для достижения поставленной цели были обозначены следующие задачи: определение температуры воздуха, атмосферных осадков, числа суховейных дней, гидротермического коэффициента в течение вегетационного периода; установление содержания продуктивной влаги и питательных веществ в почве, наблюдение за засоренностью посевов в фазе всходов и созревания; нахождение наилучшего фона питания и предшественника севооборота по отношению к урожайности; получение прибавки зерна в зависимости от минеральных удобрений и предшественников севооборотов; выявление взаимосвязи изучаемых факторов с урожайностью гороха.

Исследования проводились в 2002–2022 гг. на длительном полевом стационаре по севооборотам, заложенном в 1990 г. на территории ОПХ им. Куйбышева Оренбургской области. Многолетний экспериментальный участок находился возле с. Нежинка Оренбургского района центральной зоны области по координатам (51°46'30.45»N, 55°18'23.57»E). Полевой опыт размещался на пологом склоне (0,5–1,1°) с направлением на юго-восток к р. Урал.

Почва опытного поля – чернозем южный карбонатный малогумусный средне-мощный тяжелосуглинистый. В верхнем слое почвы (0–30 см) гумуса содержалось 3,2–4,0%, азота – 0,20–0,31%, фосфора – 0,14–0,22%, нитратов – 87–181 мг, подвижного фосфора – 15–25 мг, обменного калия – 300–380 мг/кг почвы, рН почвенного раствора – 7,0–8,1. Гидролитическая кислотность почвы составила 15–23 мг/экв., сумма поглощенных оснований – 391 мг/экв. на 1 кг сухой почвы. Плотность увеличивается в верхнем слое почвы (0–30 см) до 1140 кг, в метровом слое (0–100 см) – до 1390 кг/м³. Влажность устойчивого завядания, максимальная гигроскопичность и влагоемкость снижаются при углублении в почву. Наименьшая полевая влагоемкость составила в метровом слое почвы 297,0 мм (или 27,1%), в 1,5-метровом слое – 389,0 м (или 25,4%) соответственно.

В исследованиях применялся полевой метод Б.А. Доспехова. Горох выращивался в зернопаровых и зерновых севооборотах с длинной (6 лет) и короткой (2 года) ротациями: пар (черный) – рожь (озимая) – пшеница (твердая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой); пар (черный) – пшеница (твердая) – пшеница (мягкая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой); пар (занятый летним посевом суданской травы) – пшеница (твердая) – пшеница (мягкая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой); пар (сидеральный – овес и горох) – пшеница (твердая) – пшеница (мягкая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой) и горох (посевной) – пшеница (твердая).

Полевой опыт размещался по четырем повторениям на участке и являлся 20-однократным во времени. Схема опыта двухфакторная: 2А х 5В, где А –удобренный, неудобренный фоны; В – варианты: 5 предшественников гороха (2 – твердой пшеницы, 3 – мягкой пшеницы). Горох высевался по систематическому размещению вариантов опыта: I. Горох в последствии твердой пшеницы и черного пара. II. Горох в последствии мягкой пшеницы и черного пара. III. Горох в последствии мягкой пшеницы и занятого пара. IV. Горох в последствии мягкой пшеницы и сидерального пара. V. Горох в последствии твердой пшеницы.

Эксперимент проводился на уровнях по удобренному (интенсивный) и неудобренному (контроль) фонам питания почвы. Длина интенсивного фона питания составила 30 м, неудобренного фона – 60 м. Размер делянки составил 3,6 ´ 90 м. Площадь удобренного фона питания составила 108, неудобренного – 216, делянки – 324 м². Общая площадь посева гороха составила 6480 м², или 0,64 га. На одной части

делянки под осеннюю вспашку (BELARUS-1523.3 и FINIST ПЛН-4–35) разбрасывалась аммофоска (РУМ-1000) в соответствии с нормой (N – 40; P – 40; K – 40 кг/га), рекомендуемой агрохимиками для данной зоны. На другой части делянки не вносились минеральные удобрения. На посевах гороха против сорняков применяли гербицид Пульсар с нормой расхода 0,70–0,80 л/га.

Ранней весной проводилось боронование (БЗСС-1) пашни в 2 следа, затем выполнялась предпосевная культивация (КПС-4У) почвы. Посев (8–15 мая) гороха (сорта Красноуфимский 93, Чишминский 95, 229) проводился сеялкой (VITA СЗП-3,6А) с нормативным показателем 230 кг/га, или 1,2 млн шт. семян на 1 га. Посевы гороха на делянках опыта прикатывались кольчато-шпоровыми катками (ЗККШ-6). Во второй и третьей декадах августа проводилась уборка гороха на зерно селекционным комбайном (Samro Terrion SR2010) с измельчением ботвы. Учет урожайности гороха в севооборотах производился на питательных (удобренный – 60 м², неудобренный – 120 м²) фонах почвы. При определении урожайности учитывались влажность (15–18%) и чистота (100%) зерна гороха.

В работе проводилась оценка агрометеорологических условий (атмосферные осадки, температура воздуха, число суховейных дней) по сведениям Оренбургского центрапогидрометеорологииимониторингуокружающейсреды(ЦГМС)(<https://www.meteorf.gov.ru>). В расчете гидротермического коэффициента увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК) применялись данные выпавших осадков и температуры воздуха в период вегетации, и в результате он характеризовал уровень влагообеспеченности территории.

Изучаемая климатическая зона – резко континентальная. За годы проведения исследований в вегетационном периоде (май–август) выпавшие осадки составили 128,3 мм, температура воздуха – 20,4°C, число суховейных дней – 63,0. Атмосферные осадки составили 82,8% от нормативного показателя (155,0 мм), что снижалось на 26,7 мм. Атмосферная температура составила +19,1°C, число суховейных дней – 56, что оказалось выше нормы соответственно на 1,3°C и 7 дней. Гидротермический коэффициент увлажнения составил 0,56, или 84,8%, от среднееголетнего показателя (0,66), что ниже на 0,10, охарактеризовав вегетационный период как очень засушливый.

В период после посева и перед уборкой отбирались почвенные образцы для установления содержания подвижных форм азота, фосфора, обменного калия и влажности в слое 0–30 и 0–100 см. В лабораторных условиях определялось содержание продуктивной влаги в почве термостатно-весовым методом С.А. Воробьева, содержание нитратного азота – ионометрическим методом, подвижного фосфора и обменного калия – методом Мачигина в центре коллективного пользования (<http://цкп-бст.рф>).

Сорняки на опытном поле учитывались в фазе всходов и созревания гороха. В посевах культуры встречались сорные растения: просо куриное, щирица запрокинутая и жминдовидная (однолетники) и молокан татарский, осот розовый и желтый (многолетники). На двух повторениях (I и III) опыта по питательным (удобренный и неудобренный) фонам почвы с помощью прямоугольных рамок в четырех точках с каждой делянки просчитывались на площади 0,25 м² однолетние и многолетние сорняки. Масса сорных растений определялась на лабораторных электронных весах HIGH-LAND («ADAM», Великобритания). Учет засоренности посевов в фазе всходов и созревания гороха производился количественным и количественно-весовым методами.

Статистический анализ выполнялся с помощью метода множественной регрессии в программе StatSoft Statistica 12.0. Наименьшая существенная разность (HCp_{05}) рассчитывалась путем применения дисперсионного анализа. В статистическую обработку входили вычисление коэффициента регрессии (b), критерий Стьюдента (t), корреляции (r), детерминации (r²), стандартной ошибки оценки (so) и уровня значимости (p).

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Наблюдения за погодными условиями на экспериментальном опытном участке показывали значительные изменения в вегетационном периоде гороха. На основании полученных сведений от Оренбургского центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды установлено, что в результате обильных выпадений осадков (июль) в количестве 42,7 мм при среднемноголетней норме 41,0 мм наблюдалось цветение и созревание гороха (табл. 1).

По остальным месяцам периода вегетации (май, июнь и август) выпали осадки в количестве 34,6; 29,3 и 21,7 мм, что меньше нормы на 6,4; 9,7 и 12,3 мм. Такие условия повлияли на понижение урожайности гороха. Нехватка атмосферной влаги для нормального роста и развития в период вегетации гороха объяснялась проявлением засушливых условий с выраженным высоким температурным режимом. Повышенная температура воздуха составила +22,8°C в июле, +22,0°C в августе, что выше нормы на 0,9 и 2,0°C соответственно. Высокая температура воздуха приводила к быстрому испарению атмосферной влаги. Оптимальная температура воздуха составила +16,2°C в мае, +20,7°C в июне, при этом превышая среднемноголетний показатель на 1,2 и 1,0°C соответственно.

Таблица 1

**Агрометеорологические условия вегетационного периода гороха
на территории опытного участка (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [1])**

Table 1

**Agrometeorological conditions of the growing season of peas
on the territory of the experimental site (2002–2022)
[calculations based on reference 1]**

Показатели	Месяцы вегетационного периода гороха			
	май	июнь	июль	август
Среднесуточная температура воздуха, °C	$\frac{16,2}{15,0}$	$\frac{20,7}{19,7}$	$\frac{22,8}{21,9}$	$\frac{22,0}{20,0}$
НСР ₀₅	1,15	1,23	0,93	1,20
Сумма осадков, мм	$\frac{34,6}{41,0}$	$\frac{29,3}{39,0}$	$\frac{42,7}{41,0}$	$\frac{21,7}{34,0}$
НСР ₀₅	12,0	7,9	14,5	12,2
Число суховейных дней	$\frac{16,0}{14,0}$	$\frac{14,0}{13,0}$	$\frac{15,0}{14,0}$	$\frac{18,0}{15,0}$
НСР ₀₅	3,2	4,1	4,0	3,4
Гидротермический коэффициент	$\frac{0,19}{0,21}$	$\frac{0,12}{0,16}$	$\frac{0,16}{0,18}$	$\frac{0,09}{0,11}$

Примечание. Над чертой – данные по Оренбургскому центру гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; под чертой – среднемноголетние данные.

Неблагоприятные условия для гороха в жаркий период года усугубили холодная засуха и суховеи. Наибольшее число суховейных дней с относительной влажностью воздуха ниже 30% наблюдалось в августе и составило 18,0 выше нормы (15,0) на 3,0, что приводило к быстрому полеганию гороха и слабому формированию зерна. Число суховейных дней по остальным месяцам вегетационного периода (май, июнь, июль) составило 16,0; 14,0; 15,0, что выше среднемноголетней нормы. По сумме осадков и среднесуточной температуры воздуха рассчитывался гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова. Наименьший коэффициент отмечался в августе и составил 0,09, что ниже нормы на 0,02, указывая на самый засушливый месяц. Гидротермический коэффициент в мае составил 0,19, в июне – 0,12, в июле – 0,16, что ниже нормы на 0,02; 0,04; 0,02, показывая сильную засушливость по месяцам. Засушливый период вегетации приводил к наименьшей влагообеспеченности, снижению содержания подвижных форм азота, фосфора и обменного калия в почве и урожайности гороха в севооборотах.

После посева и перед уборкой гороха в севооборотах наблюдалось содержание макроэлементов питания в почвенном горизонте 0–30 см на удобренном фоне в пределах 52–500 мг, на неудобренном фоне – 37–425 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2

**Запасы макроэлементов питания в зависимости от варианта опыта
и фона питания, мг/кг почвы (2002–2022 гг.)**
(расчеты по данным [2])

Table 2

**Reserves of macronutrients depending on the experimental variant
and nutritional background, mg/kg of soil (2002–2022)**
[calculations based on reference 2]

Вариант опыта		Период определения макроэлементов питания в горизонте 0–30 см								
		после посева			перед уборкой			расход		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
I		$\frac{89}{66}$	$\frac{60}{43}$	$\frac{500}{425}$	$\frac{73}{61}$	$\frac{60}{42}$	$\frac{454}{401}$	$\frac{16}{5}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{46}{24}$
II		$\frac{85}{67}$	$\frac{63}{46}$	$\frac{490}{421}$	$\frac{66}{56}$	$\frac{56}{41}$	$\frac{444}{386}$	$\frac{19}{11}$	$\frac{7}{5}$	$\frac{46}{35}$
III		$\frac{84}{67}$	$\frac{63}{45}$	$\frac{490}{417}$	$\frac{75}{66}$	$\frac{59}{45}$	$\frac{448}{404}$	$\frac{9}{1}$	$\frac{4}{0}$	$\frac{42}{13}$
IV		$\frac{85}{70}$	$\frac{58}{44}$	$\frac{466}{413}$	$\frac{55}{45}$	$\frac{52}{37}$	$\frac{419}{387}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{6}{7}$	$\frac{47}{26}$
V		$\frac{101}{76}$	$\frac{62}{43}$	$\frac{423}{382}$	$\frac{86}{74}$	$\frac{58}{40}$	$\frac{367}{329}$	$\frac{15}{2}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{56}{53}$
НСР ₀₅	A	4,2	1,4	8,0	4,8	1,7	7,7	6,2	2,1	8,9
	B	6,7	2,3	12,6	7,6	2,7	12,2	9,8	3,3	14,0

Примечание. Здесь и далее: над чертой – удобренный (интенсивный) фон питания; под чертой – неудобренный (контроль); НСР₀₅ А – минеральные удобрения (аммофоска), НСР₀₅ В – предшественник (твердая и мягкая пшеница).

Наибольшие запасы нитратного азота (N-NO_3) в почве отмечались после посева и перед уборкой гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте (V вариант опыта) и составили 101,86 мг, что превосходило контроль на 25,12 мг/кг. В результате обогащения биологическим азотом с помощью клубеньковых бактерий, находящихся в корнях гороха, и после процесса нитрификации происходило накопление питательного вещества в почве. Возрастание содержания азота в почве происходило ввиду длительного возделывания гороха в 2-польном севообороте. Наименьшее количество азота в почве наблюдалось перед уборкой гороха по твердой и мягкой пшенице в последствии паров (I, II, III, IV варианты опыта) и на фоне с удобрениями составило 55–75 мг, что превосходило контроль на 9–12 мг/кг. Расход азота происходил за счет миграции в нижележащие слои почвы и потребления его горохом и сорняками. Расход азота в почве на питательных фонах варьировал от 1 до 30 мг/кг. Самый наибольший расход азота в почве отмечался под посевом гороха (IV вариант опыта) в сидеральном севообороте.

В основном снижение содержания питательного вещества в почве происходило за счет активного использования его предшествующими полевыми культурами при многолетнем возделывании в 6-польных севооборотах. Количество подвижного фосфора (P_2O_5) в течение периода определения гороха находилось в диапазоне от 37 до 63 мг/кг. Наибольшее содержание питательного вещества в почве после внесения аммофоски отмечалось после посева во втором варианте опыта 63 (выше контроля на 17), в третьем – 63 (на 18), в пятом – 62 (на 19) мг/кг. Максимальное содержание фосфора в пахотном слое почвы обозначалось перед уборкой гороха в первом варианте опыта – 60 мг, что превосходило контроль на 18 мг/кг. Наименьшее количество фосфора в почве содержалось перед уборкой гороха в четвертом варианте эксперимента 52 (выше контроля на 15) мг/кг. Израсходованный фосфор в почве за период вегетации гороха находился на определенном уровне – от 0 до 7 мг/кг. Наибольший расход питательного вещества в почве возникал (II, IV вариант опыта) в севооборотах с длинной ротацией. Наименьшим расход фосфора в почве становился ввиду биологических особенностей гороха.

Возрастание содержания обменного калия (K_2O) в почве прослеживалось в весенний период после посева гороха в последствии твердой пшеницы (I вариант опыта) в севообороте с черным паром, на фоне с удобрениями составив 500 мг, на неудобренном фоне – 425 мг/кг. Такое положение объяснялось накоплением черным паром запасов калия в почве. Снижение количество калия фиксировалось в пятом варианте опыта и составило 423 и 367 мг с положительным отклонением от контроля в 41 и 38 мг/кг. Основной причиной снижения содержания калия являлось истощение почвы сорной растительностью, горохом и твердой пшеницей при возделывании в севообороте с короткой ротацией. В результате последствий других паров в севооборотах отмечалось содержание калия в почве на интенсивном фоне питания в определенном значении – от 419 до 490 мг, на контроле – 386–421 мг/кг. Расход калия за вегетационный период гороха находился в диапазоне от 13 до 56 мг/кг. Максимальный расход калия наблюдался под посевом на питательных фонах (V вариант опыта) в зерновом севообороте. Наибольший расход калия осуществлялся за счет использования его на рост, развитие сорняков и культурных растений. Высокие запасы калия в почве объяснялись агрохимическими свойствами чернозема. Наилучшая значимая фактическая разность содержания калия по сравнению с контролем отмечалась после посева гороха по твердой пшенице в зернопаровом севообороте (I вариант опыта), составив 75 мг (НСР_{05} по удобрению = 8,0, по предшественнику = 12,6). Наибольшие запасы калия в почве на интенсивном фоне питания объяснялись применением аммофоски под осеннюю вспашку перед весенним посевом гороха в севооборотах с длинной и короткой ротациями.

В вариантах эксперимента наблюдалось изменение содержания продуктивной влаги в метровом слое почвы и выхода зерна гороха в севооборотах. Наименьшие запасы

влаги отмечались в пятом варианте опыта и составили после посева 126,9 мм, перед уборкой – 32,2 мм (табл. 3).

Главной причиной понижения запасов влаги являлось влагоистощение почвы сорными растениями и зерновыми культурами при возделывании их в 2-польном севообороте. Практически одинаковое количество весенней влаги в почве прослеживалось в вариантах посева гороха 6-польных севооборотов, составив от 137,0 до 137,9 мм. Снижение влагозапасов почвы происходило перед уборкой гороха в зернопаровых севооборотах с содержанием от 44,1 до 51,2 мм. Максимальный расход влаги с учетом среднесуточной температурой воздуха (20,4°C) и атмосферных осадков (128,3 мм) за вегетационный период гороха наблюдался в зерновом севообороте (V вариант опыта) и составил 179,6 мм. Наименьший расход влаги отмечался по остальным вариантам эксперимента, составив 170,7–178,6 мм. Расход влаги происходил за счет испарения с поверхности почвы и использования ее на рост, развитие сорняков и гороха, особенно при возделывании в севообороте с короткой ротацией.

В результате исследований выявлено, что первое место по урожайности занимал посев гороха по мягкой пшенице после занятого пара (III вариант опыта) в зернопаровом севообороте. В связи с этим максимальная урожайность зерна на фоне с удобрениями составила 0,87 т, на неудобренном фоне – 0,83 т/га. Наименьшая урожайность гороха отмечалась в зерновом севообороте (V вариант опыта), на интенсивном фоне питания составив 0,65 т, на контроле – 0,60 т/га. По остальным вариантам опыта (I, II, IV) прослеживалась практически одинаковая урожайность на интенсивном фоне питания (от 0,76 до 0,79 т/га) и на неудобренном фоне (0,70–0,71 т/га).

В вариантах опыта применение аммофоски под осеннюю вспашку незначительно повлияло на урожайность гороха. В первом и четвертом вариантах посева гороха наблюдалась одинаковая максимальная прибавка зерна от минеральных удобрений – на 0,06 т. Во втором варианте эксперимента отмечалась минимальная прибавка зерна – на 0,01 т. В третьем и пятом вариантах опыта отслеживалась прибавка зерна на 0,04 и 0,05 т соответственно.

Таблица 3

Запасы продуктивной влаги в почве и урожайность гороха в зависимости от варианта опыта и фона питания (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [3])

Table 3

Reserves of productive moisture in the soil and pea yield depending on the experimental variant and nutritional background (2002–2022)
[calculations based on reference 3]

Вариант опыта	Запасы влаги в метровом слое почвы, мм			Урожайность, т/га		Прибавка зерна гороха, т
	после посева	перед уборкой	расход	удобренный фон	контроль	
I	137,5	47,0	175,4	0,77	0,71	0,06
II	137,0	51,2	170,7	0,79	0,78	0,01
III	137,8	44,1	178,6	0,87	0,83	0,04
IV	137,9	46,7	176,1	0,76	0,70	0,06
V	126,9	32,2	179,6	0,65	0,60	0,05
НСР ₀₅	9,5	14,3	6,9	0,16	0,17	0,04

Основным фактором, влияющим на прибавку зерна гороха, являлись минеральные удобрения с содержанием азота, фосфора и калия. Наименьшая прибавка зерна по всем предшественникам в севооборотах объяснялась неэффективностью удобрений. В засушливых условиях нитратный азот мало использовался горохом, и внесение минеральных удобрений приводило к накоплению содержания его в почве. В течение засушливого вегетационного периода горох обогащал почву биологический азотом. В результате применения аммофоски проявлялся дисбаланс азота в почве и происходило понижение урожайности гороха.

В результате исследований была выявлена зависимость урожайности гороха от агрометеорологических условий. В вариантах опыта результаты метода множественной регрессии показывали отрицательное влияние основного погодного фактора «Суховеи июня». Наиболее неблагоприятное воздействие на урожайность зерна отмечалось в третьем варианте эксперимента на удобренном фоне питания, составив 33,85% при уровне значимости 0,005 (табл. 4). Максимальное негативное влияние наблюдалось в пятом варианте опыта на контроле, составив 32,40% ($p = 0,007$). В вариантах опыта прослеживалось отрицательное влияние погодного фактора «Суховеи июля» на урожайность гороха, составив от 20,80 до 41,25% при оптимальном критерии уровня значимости ($p \leq 0,05$). Особенно повлияли суховеи в мае на урожайность гороха (V вариант опыта) на интенсивном фоне питания, и доля их составила 21,26% с уровнем значимости 0,035. Незначительное влияние оказывали суховейные дни мая в севообороте без применения минеральных удобрений – на 11,41% с $r = 0,34$ при $p = 0,134$. Неблагоприятное влияние на выход зерна гороха аналогично оказывала среднесуточная температура воздуха июня в вариантах I, II, III, V эксперимента. Такое воздействие находилось на двух фонах питания в пределах от 22,53 до 38,70% с приемлемым критерием уровня значимости.

Таблица 4

Влияние погодных условий на урожайность гороха (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [1, 3])

Table 4

Effect of weather conditions on pea yield (2002–2022)
[calculations based on references 1 and 3]

Вариант опыта	Погодные факторы	Показатели регрессионного анализа						Доля влияния, %
		b^1	so^2	t^3	p^4	r^5	$(r^2)^6$	
I	Температура июня	$\frac{-0,12}{-0,11}$	$\frac{0,45}{0,42}$	$\frac{-2,96}{-2,85}$	$\frac{0,008}{0,010}$	$\frac{0,56}{0,55}$	$\frac{0,31}{0,29}$	$\frac{31,56}{29,95}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,44}{0,44}$	$\frac{3,16}{2,37}$	$\frac{0,005}{0,028}$	$\frac{0,59}{0,48}$	$\frac{0,34}{0,22}$	$\frac{34,50}{22,89}$
	Суховеи июня	$\frac{-0,03}{-0,03}$	$\frac{0,45}{0,43}$	$\frac{-2,82}{-2,68}$	$\frac{0,011}{0,014}$	$\frac{0,54}{0,52}$	$\frac{0,29}{0,27}$	$\frac{29,47}{27,38}$
	Суховеи июля	-0,03	0,48	-2,30	0,033	0,47	0,21	21,74
	ГТК за май-август	0,91	0,42	2,18	0,042	0,45	0,20	20,03

Вариант опыта	Погодные факторы	Показатели регрессионного анализа						Доля влияния, %
		b ¹	so ²	t ³	p ⁴	r ⁵	(r ²) ⁶	
II	Температура июня	$\frac{-0,12}{-0,13}$	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{-2,73}{-2,85}$	$\frac{0,013}{0,010}$	$\frac{0,53}{0,55}$	$\frac{0,28}{0,29}$	$\frac{28,26}{29,90}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,49}{0,51}$	$\frac{2,95}{2,75}$	$\frac{0,008}{0,013}$	$\frac{0,56}{0,53}$	$\frac{0,31}{0,28}$	$\frac{31,43}{28,53}$
	Суховеи июня	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,49}{0,50}$	$\frac{-2,96}{-2,81}$	$\frac{0,008}{0,011}$	$\frac{0,56}{0,54}$	$\frac{0,31}{0,29}$	$\frac{31,54}{29,41}$
	Суховеи июля	$\frac{-0,04}{-0,04}$	$\frac{0,46}{0,49}$	$\frac{-3,65}{-2,97}$	$\frac{0,001}{0,007}$	$\frac{0,64}{0,56}$	$\frac{0,41}{0,31}$	$\frac{41,25}{31,78}$
	ГТК за май-август	1,06	0,45	2,35	0,030	0,47	0,22	22,54
III	Температура июня	$\frac{-0,12}{-0,11}$	$\frac{0,55}{0,55}$	$\frac{-2,35}{-2,35}$	$\frac{0,029}{0,030}$	$\frac{0,47}{0,47}$	$\frac{0,22}{0,22}$	$\frac{22,54}{22,53}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,02}$	$\frac{0,53}{0,50}$	$\frac{2,69}{2,35}$	$\frac{0,014}{0,029}$	$\frac{0,52}{0,47}$	$\frac{0,27}{0,22}$	$\frac{27,52}{22,53}$
	Суховеи июня	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,51}{0,48}$	$\frac{-3,11}{-2,74}$	$\frac{0,005}{0,013}$	$\frac{0,58}{0,53}$	$\frac{0,33}{0,28}$	$\frac{33,85}{28,32}$
	Суховеи июля	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,52}{0,48}$	$\frac{-2,95}{-2,74}$	$\frac{0,008}{0,013}$	$\frac{0,56}{0,53}$	$\frac{0,31}{0,28}$	$\frac{31,39}{28,32}$
IV	Суховеи июня	$\frac{-0,03}{-0,03}$	$\frac{0,52}{0,44}$	$\frac{-2,25}{-2,57}$	$\frac{0,036}{0,018}$	$\frac{0,46}{0,51}$	$\frac{0,21}{0,25}$	$\frac{21,06}{25,79}$
	Суховеи июля	-0,03	0,53	-2,23	0,037	0,45	0,20	20,80
V	Температура июня	$\frac{-0,11}{-0,10}$	$\frac{0,44}{0,34}$	$\frac{-2,90}{-3,46}$	$\frac{0,009}{0,002}$	$\frac{0,55}{0,62}$	$\frac{0,30}{0,38}$	$\frac{30,71}{38,70}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,38}{0,30}$	$\frac{4,13}{4,80}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,69}{0,74}$	$\frac{0,47}{0,54}$	$\frac{47,32}{54,79}$
	Осадки июля	0,01	0,46	2,39	0,027	0,48	0,23	23,13
	Суховеи мая	-0,04	0,47	-2,26	0,035	0,46	0,21	21,26
	Суховеи июня	$\frac{-0,03}{-0,02}$	$\frac{0,46}{0,36}$	$\frac{-2,35}{-3,02}$	$\frac{0,029}{0,007}$	$\frac{0,47}{0,57}$	$\frac{0,22}{0,32}$	$\frac{22,61}{32,40}$
	Суховеи июля	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,42}{0,36}$	$\frac{-3,31}{-3,03}$	$\frac{0,004}{0,006}$	$\frac{0,60}{0,57}$	$\frac{0,36}{0,32}$	$\frac{36,60}{32,61}$
	ГТК за май-август	$\frac{1,31}{0,85}$	$\frac{0,34}{0,33}$	$\frac{3,83}{2,59}$	$\frac{0,001}{0,018}$	$\frac{0,66}{0,51}$	$\frac{0,43}{0,26}$	$\frac{43,57}{26,07}$

Примечание. Здесь и далее: b¹ – коэффициент регрессии; so² – стандартная ошибка; t³ – критерий Стьюдента; p⁴ – уровень значимости регрессии (p ≤ 0,05); r⁵ – коэффициент корреляции; (r²)⁶ – коэффициент детерминации.

При выполнении анализа вариантов опыта были установлены отрицательные показатели коэффициента регрессии (от $-0,02$ до $-0,13$) и критерии Стьюдента (от $-2,23$ до $-3,65$) при стандартной ошибке $0,34-0,55$. В результате неблагоприятного влияния суховея и температуры воздуха при проведении анализа был выявлен коэффициент корреляции и детерминации в пределах $0,45...0,64$ и $-0,20...-0,41$. Положительное влияние на урожайность гороха в севооборотах оказывал погодный фактор «Осадки». При проведении анализа наблюдалась тенденция возрастания процента влияния осадков июня в пятом варианте опыта на интенсивном и неудобренном фоне питания, составив $47,32$ и $54,79\%$ с уровнем значимости $0,001$. В остальных вариантах посева гороха наблюдалось благоприятное влияние выпавших осадков в июне на урожайность зерна, и доля их составила на питательных фонах от $22,53$ до $34,50\%$ при нормативном уровне значимости. Влияли выпавшие осадки в июле на урожайность гороха в зерновом севообороте на фоне с минеральными удобрениями (V вариант опыта), и доля их составила $23,13\%$ с критерием уровня значимости $0,027$.

В первом и во втором вариантах опыта гидротермический коэффициент положительно воздействовал на урожайность на интенсивном фоне питания и составил $20,03$ и $22,54\%$ с показателем корреляции $0,45-0,47$ и показателем детерминации $0,20-0,22$ при уровне значимости $0,042-0,030$. Наибольшее влияние оказывал гидротермический коэффициент на выход зерна гороха в пятом варианте опыта на интенсивном фоне питания, составив $43,57\%$ с уровнем значимости $0,001$, на контроле – $26,07\%$ с критерием $0,018$. В результате анализа установлено, что положительные показатели метода множественной регрессии показывали благоприятное влияние осадков июня, июля и ГТК на урожайность гороха.

Значительное влияние на повышение урожайности гороха в зернопаровом севообороте (III вариант опыта) из погодных факторов оказывали осадки июня, доля которых составила на интенсивном фоне питания $27,52\%$, на неудобренном фоне – $22,53\%$ с уровнем значимости $0,014$ и $0,029$ соответственно. Эффективное воздействие на снижение урожайности гороха в зерновом севообороте (V вариант опыта) из агрометеорологических условий оказали среднесуточная температура июня и суховеи мая, июня, июля, доля влияния которых составила от $21,26$ до $38,70\%$ с критерием уровня значимости $0,002-0,035$.

Продуктивная влага обеспечивала положительное влияние на урожай. Влияние весенней влаги на урожайность зерна наблюдалось в пятом варианте эксперимента на интенсивном фоне питания, составив $23,17\%$, на неудобренном фоне – $17,53\%$ с положительными показателями множественной регрессии (табл. 5). Наибольшее воздействие на урожайность оказывала израсходованная продуктивная влага за период вегетации гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте, доля которой составила на интенсивном фоне питания $45,11\%$, на контроле – $43,98\%$ при уровне значимости $0,001$. Наименьшее влияние на выход зерна оказывала израсходованная влага в первом варианте опыта, доля которой составила на интенсивном фоне питания $28,14\%$, на неудобренном фоне – $20,55\%$. В первом варианте эксперимента отмечались следующие положительные показатели на питательных (удобренный и неудобренный) фонах: регрессия – $0,01$ и $0,01$; стандартная ошибка – $0,46$ и $0,45$; критерий Стьюдента – $2,73$ и $2,22$; уровень значимости – $0,013$ и $0,039$; корреляция – $0,53$ и $0,45$; детерминация – $0,28$ и $0,20$.

Содержание азота в горизонте почвы $0-30$ см оказывало отрицательное влияние на урожайность гороха. Количество нитратного азота в почве перед уборкой воздействовало на выход зерна гороха в пятом варианте опыта. Влияние нитратного азота на интенсивном фоне питания составило $28,72\%$, на контроле – $39,58\%$ при уровне значимости $0,012$ и $0,002$ с отрицательными показателями коэффициента регрессии и критерий Стьюдента.

Израсходованный нитратный азот в почве за вегетационный период после внесения минеральных удобрений неблагоприятно повлиял на урожайность гороха (I вариант

опыта) в зернопаровом севообороте. Доля его влияния составила 24,34% с отрицательными показателями: регрессия – 0,01; стандартная ошибка – 0,47; критерий Стьюдента – 2,47; уровень значимости – 0,023; корреляция – 0,49; детерминация – 0,24.

В вариантах опыта отсутствовала или наблюдалась отрицательная связь урожайности гороха с содержанием элементов питания в горизонте почвы 0–30 см, что объяснялось проявлением дисбаланса в почве. В верхнем слое почвы происходило обильное накопление подвижных форм питательных веществ за счет последствия паровых предшественников, ежегодного внесения комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений (аммофоска) и биологических особенностей гороха (способность обогащать почву биологическим азотом). Черный пар накапливал и сохранял азот, фосфор и калий в почве за счет своих агрофизических и агрохимических свойств. В занятом (суданская трава) и сидеральном (овес и горох) парах происходил процесс мобилизации макроэлементов питания в почве благодаря разложению пожнивно-корневых органических остатков и зеленой массы. Таким образом, происходил почвенный дисбаланс подвижных форм питательных веществ, который приводил к понижению урожайности гороха в севооборотах.

В зерновом севообороте с твердой пшеницей (V вариант опыта) отмечалась наибольшая засоренность посева гороха однолетними и многолетними сорняками. В фазе всходов и созревания гороха количество сорных растений на интенсивном фоне питания составило 139 и 58 шт., на контроле – 109 и 49 шт./м² (табл. 6). Воздушно-сухая масса сорняков в фазе созревания гороха составила 47,1 и 42,2 г/м², что пояснялось наибольшей засоренностью посевов. В посевах гороха по мягкой и твердой пшенице в зернопаровых севооборотах (I, II, III, IV варианты опыта) наблюдалось наименьшее количество сорняков. В изучаемых фазах роста и развития гороха количество сорных растений на фоне с удобрениями составило от 40 до 100 шт., на контроле – 37–103 шт./м². Масса сорняков варьировала от 33,8 до 43,9 г/м². В результате засушливого вегетационного периода происходило понижение засоренности посевов и урожайности гороха.

Таблица 5

**Влияние продуктивной влаги и нитратного азота почвы
на урожайность гороха (2002–2022 гг.)**
(расчеты по данным [2, 3])

Table 5

Effect of productive moisture and nitrate nitrogen of the soil on pea yield (2002–2022)
[calculations based on references 2 and 3]

Вариант опыта	Лимитирующие факторы	Показатели регрессионного анализа						Доля влияния, %
		b ¹	so ²	t ³	p ⁴	r ⁵	(r ²) ⁶	
I	Влага израсходованная	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,46}{0,45}$	$\frac{2,73}{2,22}$	$\frac{0,013}{0,039}$	$\frac{0,53}{0,45}$	$\frac{0,28}{0,20}$	$\frac{28,14}{20,55}$
	Нитратный азот израсходованный	–0,01	0,47	–2,47	0,023	0,49	0,24	24,34
V	Влага после посева	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,46}{0,40}$	$\frac{2,39}{2,01}$	$\frac{0,027}{0,058}$	$\frac{0,48}{0,42}$	$\frac{0,23}{0,17}$	$\frac{23,17}{17,53}$
	Влага израсходованная	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,39}{0,33}$	$\frac{3,95}{3,86}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,67}{0,66}$	$\frac{0,45}{0,43}$	$\frac{45,11}{43,98}$
	Нитратный азот перед уборкой	$\frac{-0,01}{-0,01}$	$\frac{0,45}{0,34}$	$\frac{-2,77}{-3,53}$	$\frac{0,012}{0,002}$	$\frac{0,53}{0,63}$	$\frac{0,28}{0,39}$	$\frac{28,72}{39,58}$

Влияние сорных растений на урожайность гороха (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [3, 4])

Table 6

Effect of weeds on pea yield (2002–2022)
[calculations based on references 3 and 4]

Вариант опыта	Предшественник	Количество сорняков, шт/м ²		Масса, г/м ²	Уровень значимости, ед.		Доля влияния фактора, %	
		А	В	В	А	В	А	В
I	Твердая пшеница по чистому пару	$\frac{99^*}{84}$	$\frac{47^{**}}{37}$	$\frac{43,9}{33,8}$	$\frac{0,04}{0,09}$	$\frac{0,01}{0,02}$	$\frac{19,71}{13,79}$	$\frac{27,85}{23,50}$
II	Мягкая пшеница по черному пару	$\frac{93}{94}$	$\frac{44}{40}$	$\frac{37,6}{34,1}$	$\frac{0,09}{0,22}$	$\frac{0,08}{0,19}$	$\frac{14,40}{7,83}$	$\frac{14,92}{8,70}$
III	Мягкая пшеница по занятому пару	$\frac{100}{103}$	$\frac{44}{45}$	$\frac{41,3}{41,1}$	$\frac{0,16}{0,18}$	$\frac{0,11}{0,13}$	$\frac{10,26}{9,11}$	$\frac{13,06}{11,49}$
IV	Мягкая пшеница по сидеральному пару	$\frac{91}{85}$	$\frac{40}{38}$	$\frac{35,8}{34,3}$	$\frac{0,08}{0,07}$	$\frac{0,05}{0,06}$	$\frac{14,74}{15,37}$	$\frac{18,66}{17,43}$
V	Твердая пшеница по гороху	$\frac{139}{109}$	$\frac{58}{49}$	$\frac{47,1}{42,2}$	$\frac{0,01}{0,04}$	$\frac{0,003}{0,007}$	$\frac{29,62}{19,69}$	$\frac{37,81}{32,44}$

Примечание. А – в фазе всходов; В – в фазе созревания.

Проведенный множественный регрессионный анализ в вариантах опыта показал отрицательное влияние сорняков на урожайность гороха. В результате статистической обработки рассчитывался уровень значимости в пределах и выше нормы, составив от 0,003 до 0,22. Во втором и третьем вариантах посева на питательных фонах почвы прослеживалось незначительное воздействие сорных растений на урожайность зерна, и его доля составила от 7,83 до 14,92% с уровнем значимости 0,08...0,22. Повышение урожайности гороха в последствии мягкой пшеницы в многопольях незначительно зависело от сорных растений. Пониженный уровень выхода зерна гороха в первом варианте опыта, особенно в пятом, был связан с воздействием сорных растений в фазах роста и развития. Доля влияния сорняков варьировала в пределах от 13,79 до 37,81%. Регрессионный анализ данных показал, что понижение урожайности гороха на питательных фонах существенно зависело от засоренности посевов сегетальными растениями, кроме второго и третьего вариантов эксперимента.

Выявление существенной зависимости урожайности гороха в севооборотах от агрометеорологических условий, запасов влаги и макроэлементов почвенного питания, сорных растений, предшественников и минеральных удобрений являлось своевременным и актуальным. Впервые было установлено существенное влияние осадков июня, предшественника (мягкая пшеница) и минеральных удобрений (аммофоска) на повышение урожайности гороха в зернопаровом севообороте с занятым паром по сравнению с представленными данными отечественных и зарубежных исследований. В целом совокупность влияния изучаемых факторов приводила к понижению урожайности гороха, особенно в зерновом севообороте. В результате статистической обработки отмечалась наилучшая доля влияния осадков июня (47,32 и 54,79%)

и израсходованной влаги в почвенном горизонте 0–100 см (45,11 и 43,98%) на урожайность гороха в зерновом севообороте с твердой пшеницей на питательных (удобренный и неудобренный) фонах почвы.

Регрессионный анализ показал наилучшую взаимосвязь ($r = 0,74$) выпавших осадков в июне и урожайности гороха в пятом варианте эксперимента на неудобренном (контроль) фоне питания (рис. 1).

Данные рисунка 1 показывают прямо пропорциональную взаимосвязь: увеличение суммы осадков в июне приводило к повышению урожайности гороха в зерновом севообороте с твердой пшеницей, и наоборот. Такая зависимость осадков наблюдалась в фазе бутонизации и в начале цветения гороха, что повлияло на изменение урожайности зерна. В засушливые годы по причине нехватки выпавших осадков в июне происходило понижение урожайности гороха после предшественника твердой пшеницы в зерновом севообороте.

Множественная регрессия отражала значительную взаимосвязь ($r = 0,67$) израсходованной продуктивной влаги в метровом почвенном горизонте и урожайности гороха в последствии твердой пшеницы (V вариант опыта) в зерновом севообороте на фоне с минеральными удобрениями (рис. 2).

Из данных рисунка 2 просматривается прямо пропорциональная взаимосвязь израсходованной продуктивной влаги в почве и урожайности гороха: увеличение расхода влаги за вегетацию приводило к повышению выхода зерна гороха (2003, 2007, 2008, 2012, 2022 гг.) по твердой пшенице в зерновом севообороте, и наоборот. Данное положение объяснялось тем, что во влажные годы в метровом слое почвы одна часть продуктивной влаги расходовалась на рост, развитие и формирование урожайности гороха, другая – на жизнедеятельность сорных растений и на переход в нижние почвенные горизонты. В годы с сильной почвенной засухой (2009–2010 гг.) отмечалось уменьшение расхода продуктивной влаги за вегетационный период, так как происходило завядание гороха (гибель растения) и понижение урожайности.

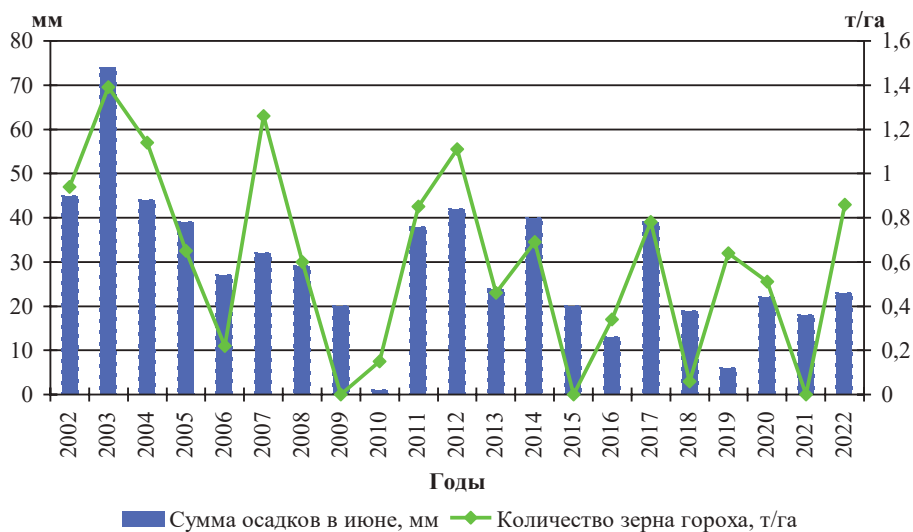


Рис. 1. Атмосферные осадки (гистограмма по левой шкале) и урожайность гороха (график по правой шкале) (расчеты по данным [1, 3])

Figure 1. Precipitation (histogram on the left scale) and pea yields (graph on the right scale) [calculations based on references 1 and 3]

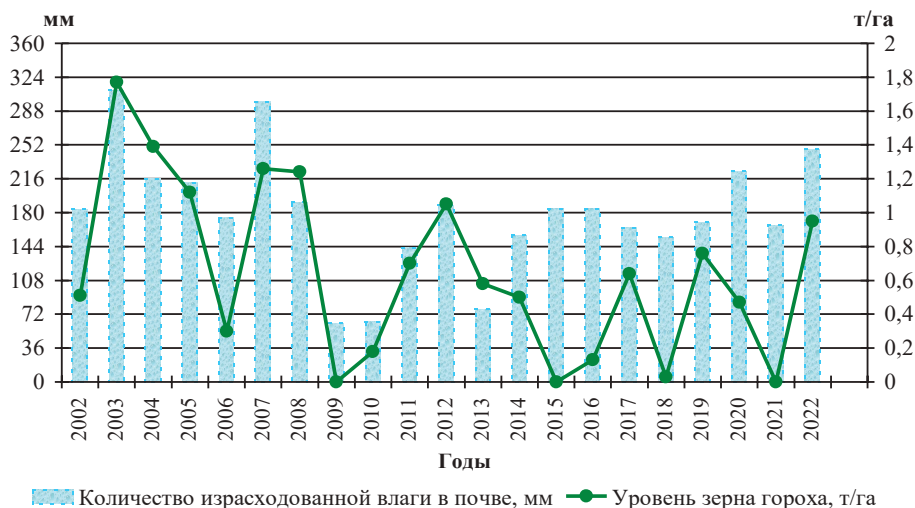


Рис. 2. Продуктивная влага (гистограмма по левой шкале) и урожайность гороха (график по правой шкале) (расчеты по данным [3])

Figure 2. Productive moisture (histogram on the left scale) and pea yield (graph on the right scale) [calculations based on reference 3]

На основании результатов исследований установлено, что в хозяйствах Оренбургской области для стабильной урожайности гороха сельхозпроизводителям необходимо применять посевы по твердой и мягкой пшенице в последствии черного, занятого (суданская трава) и сидерального (овес и горох) паров в зернопаровых (6-польных) севооборотах с длинной ротацией после внесения аммофоски под основную (осенняя вспашка) обработку почвы.

Выводы Conclusions

1. Возделывание гороха в зернопаровом севообороте (III вариант опыта) привело к повышению урожайности зерна на питательных (удобренный и неудобренный) фонах почвы в зависимости от положительного влияния предшественника (мягкая пшеница) в севообороте с посевом суданской травы, осадков июня (27,52 и 22,53%) и прибавки зерна на 0,04 т от минеральных удобрений.

2. В результате выращивания гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте (V вариант эксперимента) наблюдалось понижение урожайности зерна на питательных (удобренный и неудобренный) фонах в зависимости: от отрицательного влияния температуры воздуха июня – 20,7°C (30,71 и 38,70%); числа суховейных дней мая – 16 (21,26 и 11,41%), июня – 14 (22,61 и 32,40%), июля – 15 (36,60 и 32,61%); содержания нитратного азота в почве перед уборкой – 86 мг (28,72%) и 74 (39,58%) мг/кг; наибольшей (средней) засоренности посевов – 49–139 шт/м² (19,69–37,81%) однолетними и многолетними сорняками, особенно в фазе созревания.

3. Недостаточное количество выпавших осадков в июне (29,3 мм, ниже нормы 39,0 мм) значительно воздействовало на снижение выхода зерна гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте, особенно (54,79% с $r = 0,74$ при $p = 0,001$) на неудобренном фоне питания. Осадки июля (42,7 мм, выше нормы 41,0 мм) благоприятно влияли (23,13%) на формирование урожайности гороха после внесения минеральных

удобрений. Гидротермический коэффициент (0,56) засушливого вегетационного периода гороха положительно влиял (43,57–26,07%) на понижение урожайности зерна.

4. Весенние запасы продуктивной влаги благоприятно влияли на урожайность гороха (V вариант опыта), но в наименьшей степени (17,53%) – особенно на контроле. Израсходованная влага в метровом горизонте почвы (179,6 мм) за период вегетации гороха положительно воздействовала на выход зерна, особенно (45,11% с $r = 0,67$ при $p = 0,001$) на удобренном фоне питания.

5. Возделывание культуры в зерновом севообороте с короткой ротацией было малоэффективным в засушливых условиях вегетационного периода за счет засоренности посевов (истощение почвы), биологических особенностей гороха (образование биологического азота) и многолетнего внесения ($N_{40}P_{80}K_{40}$) аммофоски. В связи с этим почва обогащалась избыточным содержанием макроэлементов питания, особенно азота, приводящим к дисбалансу подвижных форм питательных веществ.

6. Отрицательное воздействие проявляла среднесуточная температура воздуха июня (28,26–31,56%) на выход зерна гороха в последствии твердой и мягкой пшеницы на питательных (удобренный и неудобренный) фонах (I и II варианты эксперимента) почвы в зернопаровых севооборотах. Недобор осадков в июне оказал положительное влияние (22,89–34,50%) на понижение урожайности гороха. Благоприятно влиял гидротермический коэффициент засушливого периода (20,03–22,54%) на урожайность гороха после внесения минеральных удобрений.

7. Неблагоприятное влияние оказывали суховейные дни июня и июля (20,80–41,25%) на урожайность гороха по твердой и мягкой пшенице в последствии черного и сидерального паров в севооборотах (I, II, IV варианты опыта) на фонах питания. В результате обработки гербицидом (Пульсар – 0,70–0,80 л/га) наблюдалась слабая засоренность посевов гороха однолетними и многолетними сорняками. Сорные растения в основном отрицательно влияли (7,83–27,85%) на урожай, особенно в фазе созревания на интенсивном фоне питания.

8. Недостаток азота в почве приводил к наименьшему расходу содержания макроэлемента питания за вегетационный период гороха (I вариант опыта), что отрицательно влияло (24,34%) на урожайность зерна после внесения минеральных удобрений. Благодаря израсходованной влаге за период вегетации гороха в последствии твердой пшеницы в зернопаровом севообороте с черным паром происходило положительное воздействие (28,14%) на урожайность зерна на удобренном фоне питания.

9. Наибольший расход азота в почве влиял на прибавку зерна гороха (IV вариант опыта) в сидеральном севообороте. В результате исследований выявлен наилучший удобренный фон питания гороха по предшественникам (твердая и мягкая пшеница) в зернопаровом и сидеральном севооборотах (I, IV варианты опыта), так как отмечалась наибольшая прибавка зерна от аммофоски.

10. Совокупность изучаемых факторов оказывала разнообразное влияние на урожайность гороха в сложившихся почвенно-климатических условиях опытного участка, поэтому малоэффективным является применение одной агротехнологии возделывания в системе севооборотов.

Список источников

1. Дедов А.В., Несмеянова М.А. Изучение влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 13, № 1. С. 50-60. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.1.50>

2. Семешкина П.С., Бородина Е.С. Влияние бобовых культур и удобрений на продуктивность севооборотов и плодородие почвы // *Аграрный вестник Урала*. 2023. Т. 23, № 12. С. 12-21. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-12-12-21>
3. Воскобулова Н.И., Верещагина А.С., Ураскулов Р.Ш. Влияние сроков посева гороха на использование продуктивной влаги // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 2 (82). С. 72-75. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-82-2-72-75>
4. Куликова А.Х., Сайдяшева Г.В., Лашенков А.Н. Сравнительная эффективность интенсивной и биологизированной технологий возделывания в формировании запасов продуктивной влаги под посевами и урожайности гороха // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4 (60). С. 45-52. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-4-45-52>
5. Букин О.В., Бочкарев Д.В., Никольский А.Н., Смолин Н.В. Влияние приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги и урожайность гороха посевного в условиях лесостепи Европейской части России // *Аграрная наука*. 2020. № 6. С. 58-61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-58-61>
6. Полоус В.С., Осауленко С.Н. Влияние способов и приемов основной обработки чернозема обыкновенного на урожайность, качество и эффективность возделывания гороха // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021. № 90. С. 78-85. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-90-78-85>
7. Вошедский Н.Н., Кулыгин В.А. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов гороха в условиях Нижнего Дона // *Земледелие*. 2024. № 7. С. 19-24. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-19-24>
8. Вошедский Н.Н., Кулыгин В.А. Влияние приемов возделывания на урожайность и водопотребление гороха в условиях Ростовской области // *Мелиорация и гидротехника*. 2024. Т. 14, № 3. С. 211-227. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-211-227>
9. Пискарьева Л.А. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна гороха сорта Фокор // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 3 (39). С. 85-90. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-85-90>
10. Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В. Влияние сорных растений и аммофоса на выход зерна гороха в степной зоне Южного Урала // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (57). С. 35-45. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-57-4-35-45>
11. Митрофанов Д.В. Воздействие влажности, температуры и биологической активности почвы на урожайность гороха в засушливых условиях Оренбуржья // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024. № 1 (65). С. 31-38. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-31-38>
12. Постников П.А. Метеорологические условия и урожайность гороха в севооборотах // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32, № 10. С. 57-60. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11013>
13. Морозов А.Н., Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Шумаков А.В. Влияние технологий возделывания на засоренность посевов и продуктивность гороха посевного // *Зерновое хозяйство России*. 2024. Т. 16, № 2. С. 98-105. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-98-105>
14. Евсенина М.В., Виноградов Д.В., Лупова Е.И. Оценка эффективности применения гербицидов в посевах сои и гороха // *Пермский аграрный вестник*. 2024. № 3 (47). С. 12-19. <https://doi.org/10.47737/2307-2873-2024-47-12>
15. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Сафин Ф.Ф. Применение гербицидов и боронования для борьбы с сорняками на посевах гороха в условиях Республики Башкортостан // *Зерновое хозяйство России*. 2022. № 1 (79). С. 77-82. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-77-82>

16. Singhal N., Siag M., Sharma P. et al. Impact of moisture regimes on yield and soil microbial population in pea (*Pisum sativum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2022;92(5):572-576. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i5.124626>
17. Faligowska A., Kalembsa S., Kalembsa D. et al. The nitrogen fixation and yielding of pea in different soil tillage systems. *Agronomy*. 2022;12(2):352-365. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020352>
18. Anitha P., Hanumantharaya B.G. Assessment of yield and quality attributes of garden pea (*Pisum sativum*. L) varieties under shade house condition. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2022;12(12):274-282. <https://doi.org/10.9734/ijec/2022/v12i121464>
19. Singhal N., Sharma P., Sharda R. et al. Assessment of growth parameters and yield of pea (*Pisum sativum*) under different irrigation methods. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2021;91(9):1378-1381. <https://doi.org/10.56093/ijas.v91i9.116093>
20. Sarfraz M., Hussain K., Nawaz K. et al. Determination of effective method of NPK fertilization in pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Pakistan. *Legume Research*. 2020;44(4):431-438. <https://doi.org/10.18805/LR-570>

References

1. Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. Studies of the influence of crop rotation on the content of soil organic matter and the crop productivity. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;13(1):50-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.1.50>
2. Semeshkina P.S., Borodina E.S. The influence of legumes and fertilizers on crop rotation productivity and soil fertility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;12(23):12-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-12-12-21>
3. Voskobulova N.I., Vereshchagina A.S., Uraskulov R.Sh. The influence of pea sowing time on productive moisture utilization. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;2(82):72-75. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-82-2-72-75>
4. Kulikova A.Kh., Saydyasheva G.V., Lashchenkov A.N. Comparative efficiency of intensive and biologized cultivation technologies in formation of productive moisture reserves under crops and pea yield. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2022;4(60):45-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-4-45-52>
5. Bukin O.V., Bochkarev D.V., Nikolsky A.N., Smolin N.V. The influence of primary tillage methods on the dynamics of moisture reserves and the yield of peas in the forest-steppe of the European part of Russia. *Agrarian science*. 2020;(6):58-61. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-58-61>
6. Polous V.S., Osaulenko S.N. Influence of methods and techniques of basic processing of ordinary chernozem on yield, quality and efficiency of pea cultivation. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;90:78-85. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-90-78-85>
7. Voshedskiy N.N., Kulygin V.A. The impact of elements of cultivation technology on the yield of new varieties of peas under the conditions of the Lower Don. *Zemledelie*. 2024;7:19-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-19-24>
8. Voshedskiy N.N., Kulygin V.A. The influence of cultivation methods on the yield and water consumption of peas in Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):211-227. (In Russ.) <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-211-227>
9. Piskareva L.A. The effect of mineral fertilizers on productivity and the quality of the grain of the Focor pea variety. *Legumes and Groat Crops*. 2021;3(39):85-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-85-90>

10. Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V. The influence of weeds and ammophos on the yield of pea grain in the steppe zone of the Southern Urals. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020;4(57):35-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-85-90>
11. Mitrofanov D.V. The impact of humidity, temperature and biological activity of soil on pea yield in arid conditions of Orenburg region. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024;1(65):31-38 (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-31-38>
12. Postnikov P.A. Meteorological conditions and pea productivity in crop rotations. *Achievements of Science and Technology in Agro-industrial Complex*. 2018;32(10):57-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11013>
13. Morozov A.N., Dubovik D.V., Dubovik E.V., Shumakov A.V. The effect of cultivation technologies on weed infestation and productivity of peas. *Grain Economy of Russia*. 2024;16(2):98-105. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-98-105>
14. Evsenina M.V., Vinogradov D.V., Lupova E.I. Assessment of the effectiveness of herbicide application in soybean and peas crops. *Perm Agrarian Journal*. 2024;3(47):12-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.47737/2307-2873-2024-47-12>
15. Davletov F.A., Gainullina K.P., Safin F.F. The use of herbicides and harrowing for weed control on peas in the Republic of Bashkortostan. *Grain Economy of Russia*. 2022;1(79):77-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-77-82>
16. Singhal N., Siag M., Sharma P. et al. Impact of moisture regimes on yield and soil microbial population in pea (*Pisum sativum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2022;92(5):572-576. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i5.124626>
17. Faligowska A., Kalembasa S., Kalembasa D. et al. The nitrogen fixation and yielding of pea in different soil tillage systems. *Agronomy*. 2022;12(2):352-365. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020352>
18. Anitha P., Hanumantharaya B.G. Assessment of yield and quality attributes of garden pea (*Pisum sativum*. L) varieties under shade house condition. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2022;12(12):274-282. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i121464>
19. Singhal N., Sharma P., Sharda R. et al. Assessment of growth parameters and yield of pea (*Pisum sativum*) under different irrigation methods. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2021;91(9):1378-1381. <https://doi.org/10.56093/ijas.v91i9.116093>
20. Sarfraz M., Hussain K., Nawaz K. et al. Determination of effective method of NPK fertilization in pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Pakistan. *Legume Research*. 2020;44(4):431-438. <https://doi.org/10.18805/LR-570>

Сведения об авторе

Дмитрий Владимирович Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»; 460000, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; тел.: (3532) 30–83–46; e-mail: dvm.80@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7172-6904

Information about the authors

Dmitry V. Mitrofanov, CSc (Ag), Leading Research Associate, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS; 299-ogo Yanvary st., Orenburg, 460000, Russian Federation; phone: (3532) 30–83–46; e-mail: dvm.80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

**Изучение биоморфологических особенностей сортов
флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) коллекции РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева**

**Елена Евгеньевна Орлова[✉], Инна Николаевна Зубик,
Елена Анатольевна Козлова**

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: elena.orlova@rgau-msha.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по изучению биоморфологических особенностей сортов *Phlox paniculata* L. коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по наиболее важным декоративным и хозяйственно-ценным признакам. Разработана и проведена методика оценки декоративных признаков некоторых сортов *Ph. paniculata* для получения селекционного материала, перспективного при использовании для озеленения городских объектов, а также объектов агропромышленного комплекса и частного садоводства. Декоративные и хозяйственно-ценные признаки учитывали в соответствии с утвержденной методикой испытания сортов на отличимость, однородность и стабильность в течение 2 лет. Наиболее высокорослыми в коллекции являются растения сортов Земляничное суфле и Мисс Ольга (в среднем 70,0 см). Наиболее часто встречается зеленая окраска листьев (34 сорта). Наибольшая длина листовой пластинки отмечена у сортов Junior Abundance и Casablanca (в среднем 13,0 см), ширина – у сортов Берендей и Фламенко (4,3 см). Максимальный диаметр цветка выявлен у сортов Фаина Раневская и Yunique Mouve (5,2 см), соцветия – у сорта Фламенко (20,8 см). Наиболее распространенная форма соцветия у изучаемых сортов – округло-коническая (13 сортов). В результате оценки основных морфологических признаков выявлены отечественные и зарубежные сорта *Ph. paniculata*, перспективные для проведения селекционных работ и получения качественной цветочной продукции: Земляничное суфле, Мисс Ольга, Князь Рюрик, Фламенко, Фаина Раневская, Чайка, Spatsommer, White Sparr, Dusterlohe, Casablanca, Darwin's Joyce, Yunique Mouve. Наиболее декоративными являются сорта Darwin's Joyce (64–75 баллов), которые характеризуются плотным и компактным кустом, достаточно крепким и декоративным соцветием, состоящим из крупных цветков ровной невыгорающей окраски. Рассмотрена возможность использования некоторых сортов на срезку.

Ключевые слова

Флокс метельчатый, сорт, коллекция, морфологические признаки, декоративные признаки

Для цитирования

Орлова Е.Е., Зубик И.Н., Козлова Е.А. Изучение биоморфологических особенностей сортов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 43–63.

**Study of biomorphological features of *Phlox paniculata* L. varieties
from the collection of Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy**

Elena E. Orlova✉, Inna N. Zubik, Elena A. Kozlova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉Corresponding author: elena.orlova@rgau-msha.ru

Abstract

The article presents the results of research on the study of biomorphological features of *Phlox paniculata* L. varieties from the collection of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy for the most important ornamental and economically valuable features. A methodology was developed and carried out to assess the ornamental features of some *Ph. paniculata* varieties to obtain breeding material promising for use in urban landscaping, as well as agro-industrial facilities and private gardening. Ornamental and economically valuable traits were considered according to the approved methodology for testing varieties for distinctiveness, uniformity and stability for two years. The tallest plants in the collection are the Zemlyanichnoe Sufle and Miss Olga varieties (on average, 70.0 cm). The most frequent leaf is green (34 varieties). The greatest length of the leaf blade was noted in the Junior Abundance and Casablanca varieties (on average 13.0 cm), the width – in the Berendey and Flamenco varieties (4.3 cm). The maximum flower diameter was found in the Faina Ranevskaya and Younique Mouve varieties (5.2 cm), inflorescence diameter – in the Flamenco variety (20.8 cm). The most frequent inflorescence shape in the studied varieties is rounded-conical (13 varieties). As a result of the assessment of the main morphological features, domestic and foreign varieties of *Ph. paniculata* varieties promising for breeding and producing high-quality floral products were identified: Zemlyanichnoe Sufle, Miss Olga, Knyaz Ryurik, Flamenco, Faina Ranevskaya, Chaika, Spatsommer, White Sparr, Dusterlohe, Casablanca, Darwin's Joyce, Younique Mouve. The most ornamental variety is Darwin's Joyce (64–75 points) characterized by a dense and compact bush, a rather strong and ornamental inflorescence consisting of large flowers of uniform, non-fading color. The possibility of using some varieties for cutting was considered.

Keywords

Phlox paniculata, variety, collection, morphological features, ornamental features

For citation

Orlova E.E., Zubik I.N., Kozlova E.A. Study of biomorphological features of *Phlox paniculata* L. varieties from the collection of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 43–63.

**Введение
Introduction**

В современных условиях импортозамещения необходимо иметь национальный гибридный фонд плодовых, ягодных и цветочно-декоративных культур, которые не теряют актуальности в использовании и традиционно выращиваются в отечественном садоводстве. Особенно важными являются сохранение их редких сортов и оценка адаптационной способности в различных природно-климатических условиях. В связи с этим стратегическое значение для развития отечественного садоводства приобретает создание биоресурсных коллекций растений [3, 6, 7, 9–13, 18, 20, 22, 23].

Среди цветочно-декоративных культур наибольшее распространение получили пионы, сирень, розы, хоста, ирисы, флоксы и многие другие. Флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L.) – многолетнее травянистое растение из семейства Синюховые (*Polemoniaceae*), популярнейшая российская цветочная культура, знаменитая обилием цветения, неприхотливостью в выращивании, популярностью как среди частных садоводов, так и среди профессионалов. Высокий спрос на отечественном рынке обуславливает перспективность выращивания флокса метельчатого в промышленных масштабах для получения продукции растениеводства (посадочного материала и срезки) [1, 4, 5, 8, 14, 15, 19, 25].

В России флоксы начали выращивать с середины XIX в. Селекцией их занимался Георгий Германович Треспе, с 1933 г. – П.Г. Гаганов, а к 1935 г. появились первые советские сорта – такие, как Аня Гаганова (Анка), Дымчатый Коралл, Успех и ряд других. Дальнейшая работа по селекции флоксов была продолжена после Великой Отечественной войны. В современной России сортимент флокса представлен, как нигде в мире [14, 16, 17, 21, 24]. В Тимирязевской сельскохозяйственной академии также были выведены сорта флокса: в 1940–1950 гг. М.П. Бедингауз выведены сорта Могучий, Север, Синий глаз, Мария Бедингауз, Северянин, Манон, Эльбрус, Моя радость, Мичуринец, Воспоминание, Красная шапка, Рубин, Московский пионер, Беломор, Горожанин, Белая звезда, Роза Москвы, Зарница, Октябренок, Румяные щечки; в 2022 г. зарегистрированы новые сорта Шурочка и Марго (авторы – О.Е. Ханбабаева и др.) [2]. В связи с этим важно поддерживать и пополнять недавно созданную в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева коллекцию флокса метельчатого как основу для дальнейшего селекционного процесса и создания базы данных отечественного цветоводства.

Цель исследований: изучить биоморфологические особенности сортов *Phlox paniculata* L. коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Методика исследований Research method

Коллекция отечественных и зарубежных сортов флокса метельчатого РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева представлена 37 сортами, из них 24 сорта российской, 13 сорта иностранной селекций (табл. 1).

Исследования проводили в полевых условиях на территории УНПЦ Садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) в 2023–2024 гг. В ходе исследований все растения были высажены в открытый грунт по схеме 70×170 см. Каждый сорт представлен 3 растениями.

Для изучения морфологических особенностей флоксов и оценки зимостойкости использовали «Методику проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Флокс метельчатый, флокс пятнистый и их гибриды (для сортов кустовых флоксов *Phlox paniculata* L., *Phlox maculata* L., *Phlox hybridae*)» от 27 января 2006 г. № 12–06/2 [2]. Высоту растения, длину и ширину листьев, диаметр цветка и соцветия измеряли с помощью линейки. Форму габитуса, окраску цветков и листьев определяли визуально. Оценку зимостойкости проводили по 5-балльной шкале: учитывали наличие или отсутствия задержки роста по сравнению с другими растениями того же сорта. Оценка морфологических (количественных и качественных) признаков включала в себя высоту растения и форму габитуса, длину и ширину листьев, окраску листа, диаметр и форму соцветия, диаметр и окраску цветков [14]. Оценку декоративности проводили по авторской методике (табл. 2).

Для оценки декоративности были разработаны 5-балльные шкалы по признакам, представленным в таблице 3.

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных производили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019.

Таблица 1

**Ассортимент коллекции сортов *Phlox paniculata* РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева на 2023 г.**

Table 1

**Assortment of *Phlox paniculata* in the collection of Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy in 2023**

№ п/п	Наименование сорта	Оригинатор	Год регистрации
1	Анастасия	Сидина М.И.	2003
2	Берендей	Кудрявцева О.К.	2007
3	Гордость России	Репрев Ю.А.	2010
4	Горицвет	Шаповал Т.П.	1998
5	Егорка	Корчагин В.В., Борисова В.Г.	2008
6	Земляничное суфле	Корчагин В.В., Борисова В.Г.	2015
7	Изабель	Шевлякова О.Б.	1996
8	Карамель клубничная	Константинова Е.А.	2008
9	Князь Рюрик	Кудрявцева О.К.	2009
10	Купчиха	Марковский Ю.	2007
11	Маргарита	Константинова Е.А.	2002
12	Матронушка	Хватова В.Н.	2003
13	Мисс Ольга	Константинова Е.А.	1988
14	Оленька	Гаганов П.Г.	1938
15	Поэма	Шаповал Т.П.	2002
16	Седая Нева	Кудрявцева О.К.	2008
17	Серебряный век	Константинова Е.А.	2005
18	Травиата	Репрев Ю.А.	2008
19	Успех	Гаганов П.Г.	1937
20	Фаина Раневская	Кудрявцева О.К.	2006
21	Фламенко	Кудрявцева О.К.	2006
22	Хулиган	Константинова Е.А.	2008
23	Чайка	Константинова Е.А.	2003
24	Чароитова крошка	Константинова Е.А.	2006
25	Casablanca	Jansen C.	1990

№ п/п	Наименование сорта	Оригинатор	Год регистрации
26	Darwin's Joyce	Wittermann	1995
27	Dusterlohe	Foerster K.	1962
28	Feuerball	Foerster M.	1991
29	Hans Volmoller	Pfizer V.	1914
30	Ice Cap	–	–
31	Juliglut	Foerster K.	1934
32	Junior Abundance	Vester M.	2004
33	Monica Lynden Bell	Линден-Белл М.	1970
34	Picasso	–	–
35	Spatsommer	zur Linden P.	2002
36	White Sparr	–	–
37	Younique Mouve	Verschoor J.	2013

Таблица 2

Методика оценки декоративности сортов *Phlox paniculata* по 100-балльной системе

Table 2

The method of assessing the ornamentality of *Phlox paniculata* varieties according to the 100-point system

Название признака	Оценка признака по 5-балльной системе	Переводной коэффициент*	Оценка признака по 100-балльной системе
Высота габитуса	5	3	15
Форма габитуса	5	2	10
Длина листа	5	1	5
Ширина листа	5	1	5
Окраска листа	5	3	15
Диаметр соцветия	5	3	15
Форма соцветия	5	2	10
Диаметр цветка	5	2	10
Зимостойкость	5	3	15
Итого:			100

*В зависимости от значимости признака.

Таблица 3

Шкала оценки декоративных признаков сортов *Phlox paniculata*

Table 3

Scale of assessment of ornamental features of *Phlox paniculata* varieties

Признак	Характеристика признака				
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
Высота растения, см	26...35	36...45	46...55	56...65	66...75
Форма габитуса	Раскидистая	–	Полураскидистая	–	Компактная
Длина листа, см	4,6...5,2	6,6...8,5	8,6...10,5	10,6...12,5	12,6...14,5
Ширина листа, см	1,0...1,5	1,6...2,1	2,2...2,7	2,8...3,3	3,4...4,3
Окраска листа	Зеленая	–	Зеленая с красным	–	Бело-зеленая
Диаметр цветка, см	1,1...1,9	2,0...2,8	2,9...3,7	3,8...4,6	4,7...5,5
Диаметр соцветия, см	5,5...9,0	9,1...12,6	12,7...16,2	16,3...19,8	19,9...23,4
Форма соцветия	Цилиндрическая, плоскоокруглое, овально-коническая	Округлая	Дробно-коническая	Коническая с выступом	Округло-коническая
Зимостойкость	Гибель растения	Сильное подмерзание (задержка отрастания на 10 дней)	Среднее подмерзание (задержка отрастания на 5...7 дней)	Слабое подмерзание (задержка отрастания на 1...4 дня)	Подмерзание отсутствует

Результаты и их обсуждение**Results and discussion**

В результате проведенных наблюдений выявлено, что все изученные сорта отличаются по ряду морфологических признаков. Наиболее высокорослыми в коллекции являются растения *Ph. paniculata* сортов Земляничное суфле и Мисс Ольга, высота которых составляла в среднем 70 см, наиболее низкорослым является *Spat-sommer* (30 см). По форме габитуса флоксы в коллекции подразделяются на компактные (19 сортов), полураскидистые (13 сортов) и раскидистые (5 сортов) (табл. 4).

У исследуемых сортов флокса в коллекции отмечено 4 вида окраски листовой пластинки. Наиболее часто встречается зеленая окраска листьев (у 34 сортов); редко встречается бело-зеленая, с чередованием полос, окраска листьев (у сорта *Darwin's Joys*). Менее декоративная и нечасто встречаемая окраска листа – зеленая с красновато-бурым оттенком (у сортов *Горицвет* и *Успех*).

Характеристика габитуса растений сортов *Phlox paniculata* в коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (средние данные за 2023–2024 гг.)

Table 4

Characteristics of the plant habitus of *Phlox paniculata* varieties in the collection of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (average for 2023–2024)

№ п/п	Сорт	Высота растения, см	Форма габитуса
1	Анастасия	57 $\pm$ 2	полураскидистая
2	Берендей	62 $\pm$ 2	полураскидистая
3	Ганс Вольмоллер	43 $\pm$ 1,5	компактная
4	Гордость России	56 $\pm$ 0,5	компактная
5	Горицвет	35 $\pm$ 1,5	полураскидистая
6	Егорка	56 $\pm$ 1,5	полураскидистая
7	Земляничное суфле	70 $\pm$ 2	компактная
8	Изабель	50 $\pm$ 1,5	полураскидистая
9	Карамель клубничная	55 $\pm$ 2	компактная
10	Князь Рюрик	50 $\pm$ 2,5	компактный
11	Купчиха	45 $\pm$ 1,5	полураскидистая
12	Маргарита	60 $\pm$ 1,5	компактная
13	Матронушка	41 $\pm$ 0,5	полураскидистая
14	Мисс Ольга	70 $\pm$ 2	полураскидистая
15	Оленька	48 $\pm$ 2	полураскидистая
16	Поэма	60 $\pm$ 1,5	компактная
17	Седая Нева	39 $\pm$ 0,5	раскидистая
18	Серебряный век	50 $\pm$ 1,5	компактный
19	Травиата	60 $\pm$ 2	Компактная
20	Успех	45 $\pm$ 1,5	полураскидистая
21	Фаина Раневская	60 $\pm$ 2	полураскидистая
22	Фламенко	36 $\pm$ 0,5	раскидистая
23	Хулиган	51 $\pm$ 1,5	компактная

№ п/п	Сорт	Высота растения, см	Форма габитуса
24	Чайка	50±2	компактная
25	Чароитова крошка	52±2	компактная
26	Casablanca	65±0,5	компактная
27	Darwin's Joyce	63±1	компактная
28	Dusterlohe	34±1,5	компактная
29	Feuerball	44±0,5	раскидистая
30	Ice Cap	45±0,5	раскидистая
31	Juliglut	50±1,5	компактная
32	Junior Abundance	40±2	полураскидистая
33	Monica Lynden Bell	53±2	раскидистая
34	Picasso	52±1,5	компактная
35	Spatsommer	30±0,5	компактная
36	White Sparr	41±0,5	полураскидистая
37	Younique Mouve	35±0,5	компактная
HCP05		2,1	

Самые длинные листья отмечены у сортов Junior Abundance и Casablanca (в среднем 13 см), тогда как наиболее мелкие листья – у сорта Хулиган (5,8 см). Максимальный показатель ширины листа выявлен у сортов Берендей и Фламенко (в среднем 4,3 см), тогда как сорт Егорка имеет самую узкую листовую пластинку – 1,4 см (табл. 5).

Средний диаметр цветка у представленных в коллекции сортов флокса метельчатого варьирует от 1,4 см (у сортов Ганс Вольмоллер и Casablanca) до 5,2 см (у сортов Фаина Раневская и Younique Mouve) (табл. 6).

Наибольший диаметр соцветия отмечен у сорта Фламенко (в среднем 20,8 см), наименьший – у сортов White Sparr (7,1 см) и Dusterlohe (7,0 см).

У изучаемых сортов выявлено 7 типов форм соцветий: 1) плоскоокруглая (у сорта Земляничное суфле); 2) овально-коническая (у сорта Князь Рюрик); 3) цилиндрическая (у 4 сортов: Серебряный век, Анастасия, Горицвет, Dusterlohe); 4) дробно-коническая (5 сортов: Купчиха, Чайка, Травиата, Junior Abundance, Успех); 5) округлая (6 сортов: Feuerball, Ганс Вольмоллер, White Sparr, Spatsommer, Оленька, Juliglut); 6) коническая с выступом – находится на втором месте по количеству сортов с этой формой (7 сортов: Фаина Раневская, Егорка, Гордость России, Фламенко, Карамель клубничная, Picasso, Casablanca); 7) наиболее распространенная форма соцветия у изучаемых сортов – округло-коническая (13 сортов: Чароитова крошка, Darwin's Joyce, Мисс Ольга, Изабель, Поэма, Хулиган, Берендей, Матронушка, Маргарита, Седая Нева, Ice Cap, Younique Mouve, Monica Lynden Bell) (рис. 1).

Характеристика листьев сортов *Phlox paniculata* в коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (средние данные за 2023–2024 гг.)

Table 5

Characteristics of the leaves of *Phlox paniculata* varieties in the collection of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (average for 2023–2024)

№ п/п	Сорт	Окраска листа	Ширина листа, см	Длина листа, см
1	Анастасия	зеленый	3,3 $\pm$ 1,2	8,8 $\pm$ 3,9
2	Берендей	зеленый	4,3 $\pm$ 1,2	10,3 $\pm$ 3,9
3	Ганс Вольмоллер	зеленый	4 $\pm$ 0,8	11,1 $\pm$ 4,1
4	Гордость России	зеленый	3,6 $\pm$ 1,0	9,2 $\pm$ 4,2
5	Горицвет	зеленый с красновато-бурым оттенком	2,6 $\pm$ 1,6	9,9 $\pm$ 3,7
6	Егорка	зеленый	1,4 $\pm$ 1,1	7,7 $\pm$ 2,4
7	Земляничное суфле	зеленый	3,5 $\pm$ 0,7	9,2 $\pm$ 4,3
8	Изабель	зеленый	2,6 $\pm$ 1,4	7,2 $\pm$ 3
9	Карамель клубничная	зеленый	2,1 $\pm$ 0,9	8,2 $\pm$ 2,9
10	Князь Рюрик	зеленый	2,6 $\pm$ 0,8	10,1 $\pm$ 4,1
11	Купчиха	зеленый	2,6 $\pm$ 1,7	7 $\pm$ 2,2
12	Маргарита	зеленый	2,8 $\pm$ 1,6	7 $\pm$ 3,7
13	Матронушка	зеленый	3,5 $\pm$ 1,2	9 $\pm$ 3,4
14	Мисс Ольга	зеленый	3,6 $\pm$ 1,5	7,3 $\pm$ 2,5
15	Оленька	зеленый	1,8 $\pm$ 0,9	6,5 $\pm$ 1,7
16	Поэма	зеленый	2,6 $\pm$ 1,5	7,2 $\pm$ 2,7
17	Седая Нева	зеленый	3,3 $\pm$ 1,0	9,5 $\pm$ 4,1
18	Серебряный век	зеленый	3,2 $\pm$ 0,9	8 $\pm$ 3,7
19	Травиата	зеленый	3,5 $\pm$ 1,4	9,6 $\pm$ 4,1
20	Успех	зеленый с красновато-бурым оттенком	2 $\pm$ 1,2	9,9 $\pm$ 3,8
21	Фаина Раневская	зеленый	2,4 $\pm$ 1,5	9,4 $\pm$ 4,3
22	Фламенко	зеленый	4,3 $\pm$ 1,1	12,8 $\pm$ 1,9
23	Хулиган	зеленый	1,7 $\pm$ 1,4	5,8 $\pm$ 0,9
24	Чайка	зеленый	2,3 $\pm$ 1,4	7,7 $\pm$ 3,9

№ п/п	Сорт	Окраска листа	Ширина листа, см	Длина листа, см
25	Чароитова крошка	зеленый	3,2±0,9	8±1,5
26	Casablanca	зеленый	3,6±1,6	13±2,3
27	Darwin's Joyce	зеленая с белым	3,5±0,7	10,3±4,2
28	Dusterlohe	светло-зеленый	2,7±1,1	8,7±3,9
29	Feuerball	зеленый	3,9±1,4	12,8±1,8
30	Ice Cap	зеленый	2,8±1,6	7,3±3,6
31	Juliglut	зеленый	3,5±1,2	8,7±4,4
32	Junior Abundance	зеленый	2,5±1,6	13±2,2
33	Monica Lynden Bell	зеленый	2,5±1,3	9±4,2
34	Picasso	зеленый	3,6±1,2	10,1±3,8
35	Spatsommer	зеленый	2,2±1,3	8,2±4
36	White Sparr	зеленый	3,5±1,5	9,5±3,7
37	Younique Mouve	зеленый	3±1,6	8,4±3,1
HCP05		–	0,6	1,8

Таблица 6

Размеры соцветий и цветков *Phlox paniculata* в коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (средние данные за 2023–2024 гг.)

Table 6

Sizes of inflorescences and flowers of *Phlox paniculata* varieties in the collection of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (average for 2023–2024)

№ п/п	Сорта	Диаметр цветка, см	Диаметр соцветия, см
1	Анастасия	4±0,7	12±1,5
2	Берендей	3,5±0,3	19,3±1
3	Ганс Вольмоллер	1,4±0,5	7,2±1,5
4	Гордость России	3,3±0,6	17,5±2,5
5	Горицвет	3,5±0,8	13,9±0,5
6	Егорка	2,3±0,5	13±2
7	Земляничное суфле	3,4±0,4	11,3±2
8	Изабель	4,1±0,4	13,5±1,5
9	Карамель клубничная	3,3±0,4	12,8±1,5

№ п/п	Сорта	Диаметр цветка, см	Диаметр соцветия, см
10	Князь Рюрик	4 $\pm$ 0,4	13,2 $\pm$ 2,5
11	Купчиха	2,7 $\pm$ 0,5	13,4 $\pm$ 2
12	Маргарита	4,2 $\pm$ 0,7	15,4 $\pm$ 2
13	Матронушка	4 $\pm$ 0,6	14,5 $\pm$ 2
14	Мисс Ольга	4,2 $\pm$ 0,3	18 $\pm$ 3
15	Оленька	3,5 $\pm$ 1,1	16 $\pm$ 1,5
16	Поэма	4,1 $\pm$ 0,4	11,3 $\pm$ 1,5
17	Седая Нева	2,7 $\pm$ 0,5	8,5 $\pm$ 0,5
18	Серебряный век	2,4 $\pm$ 0,8	12,2 $\pm$ 2,5
19	Травиата	4,5 $\pm$ 0,5	19,8 $\pm$ 2,5
20	Успех	3,8 $\pm$ 0,4	9,8 $\pm$ 0,5
21	Фаина Раневская	5,2 $\pm$ 0,6	18,5 $\pm$ 3
22	Фламенко	3,7 $\pm$ 0,5	20,8 $\pm$ 2,5
23	Хулиган	2,1 $\pm$ 0,7	10,9 $\pm$ 1,5
24	Чайка	4,7 $\pm$ 0,3	16,6 $\pm$ 2
25	Чароитова крошка	1,5 $\pm$ 0,3	12,5 $\pm$ 3
26	Casablanca	1,4 $\pm$ 0,5	15,3 $\pm$ 1,5
27	Darwin's Joyce	3 $\pm$ 0,3	13,7 $\pm$ 1,5
28	Dusterlohe	2,3 $\pm$ 1,1	7 $\pm$ 0,5
29	Feuerball	3,7 $\pm$ 0,5	9,4 $\pm$ 1,5
30	Ice Cap	2,7 $\pm$ 0,7	16,5 $\pm$ 2,5
31	Juliglut	2,6 $\pm$ 0,5	8,8 $\pm$ 0,5
32	Junior Abundance	3,5 $\pm$ 1	14,2 $\pm$ 2,5
33	Monica Lynden Bell	3 $\pm$ 0,8	12,5 $\pm$ 1,5
34	Picasso	3,9 $\pm$ 0,8	16,7 $\pm$ 1,5
35	Spatsummer	4,2 $\pm$ 0,6	11,2 $\pm$ 2
36	White Sparr	2 $\pm$ 0,6	7,1 $\pm$ 0,5
37	Younique Mouve	5,2 $\pm$ 0,3	17,4 $\pm$ 1,5
HCP05		0,3	0,7



Рис. 1. Формы соцветий сортов *Phlox paniculata*:

1 – плоскоокруглая (Земляничное суфле); 2 – овально-коническая (Князь Рюрик);
3 – округло-коническая (Маргарита); 4 – дробно-коническая (Чайка); 5 – округлая (Juliglut);
6 – коническая с выступом (Фаина Раневская); 7 – цилиндрическая (Dusterloh)

Figure 1. Inflorescence shapes of *Phlox paniculata* varieties:

1 – flat-rounded (Zemlyanichnoe Suffle); 2 – oval-conical (Knyaz Ryurik);
3 – rounded-conical (Margarita); 4 – fractional-conical (Chaika); 5 – rounded (Juliglut);
6 – conical with a protrusion (Faina Ranevskaya); 7 – cylinder (Dusterloh)

В зависимости от основной окраски нами выделены следующие группы по окраске соцветий: 1) темно-пурпурные и темно-красные с оттенками; 2) красные с оттенками; 3) розовые с оттенками; 4) светло-розовые с оттенками; 5) темно-фиолетовые и фиолетовые с оттенками; 6) лиловые и сиреневые с оттенками; 7) белые с оттенками (табл. 7).

В результате проведенной комплексной оценки декоративных качеств сортов по 100-бальной шкале были получены результаты, представленные в таблице 8.

**Особенности соцветий *Phlox paniculata* различных сортов
в коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева**

Table 7

**Features of inflorescences of *Phlox paniculata* varieties in the collection
of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy**

№ п/п	Название сорта	Форма соцветия	Окраска цветка
1	Анастасия	цилиндрическая	ярко-розовая или сиреневая, в центре – крошечный блик кремового цвета
2	Берендей	округло- коническая	яркая лиловая, в самый пик цветения лепестки приобретают едва заметную сероватую дымку, что делает их основной оттенок более темным
3	Ганс Вольмоллер	округлая	светло-сиреневая, с белым центром
4	Гордость России	коническая с выступом	сиреневая
5	Горицвет	цилиндрическая	красная
6	Егорка	коническая с выступом	светло-сиреневая
7	Земляничное суфле	плоскоокруглая	лососево-розовая, с малиново-красным колечком
8	Изабель	округло- коническая	нежно-розовая, с неяркими беловатыми мазками и светло-пурпурным колечком в центре
9	Карамель клубничная	коническая с выступом	розовая, несколько звездчатой формы, с темно-розовой глазком
10	Князь Рюрик	овально- коническая	ярко-розовая, с маленьким малиновым глазком
11	Купчиха	дробно- коническая	яркий розово-малиновая, с белым центром и малиновым глазком
12	Маргарита	округло- коническая	яркая малиново-красная, с более темным глазком
13	Матронушка	округло- коническая	ярко-розовая, с большим белым центром
14	Мисс Ольга	округло- коническая	розовая, с малиновым маленьким глазком
15	Оленька	округлая	светло-розовая, с белой звездой и ярким малиновым колечком
16	Поэма	округло- коническая	розово-малиновая, розовая с белым высветлением в центре
17	Седая Нева	округло- коническая	лепестки окрашены в милovidный васильковый цвет с розоватым оттенком, который ближе к краям светлеет до бело-кремового; в центре прорисовано аккуратное пурпурное колечко

№ п/п	Название сорта	Форма соцветия	Окраска цветка
18	Серебряный век	цилиндрическая	светло-сиреневая, с серебристой дымкой
19	Травиата	дробно-коническая	пурпурно-малиновая, с густой сиренево-пепельной дымкой
20	Успех	дробно-коническая	темно-фиолетовая, с большой, резко очерченной звездой белого цвета в центре
21	Фаина Раневская	коническая с выступом	красная матовая – у лепестков,
22	Фламенко	коническая с выступом	яркая огненно-красная
23	Хулиган	округло-коническая	фиолетовые яркие мазки, пурпурный глазок
24	Чайка	дробно-коническая	белая, с голубовато-сиреневатыми тенями и четким маленьким ярко-сиреневым колечком
25	Чароитова крошка	округло-коническая	сиренево-голубая, нежная, с ярким пурпурным глазком
26	Casablanca	коническая с выступом	белая
27	Darwin's Joyce	округло-коническая	белая, с лиловым центром
28	Dusterlohe	цилиндрическая	темно-фиолетово-пурпурная
29	Feuerball	округлая	кораллово-красная, яркий контраст с белым центром
30	Ice Cap	округло-коническая	белая
31	Juliglut	округлая	красно-малиновая
32	Junior Abundance	дробно-коническая	пурпурно-розовая, с ярким красно-малиновым глазком
33	Monica Lynden Bell	округло-коническая	бледно-розово-перламутровая, с фиолетовыми крапинками, штрихами и белым глазом в середине
34	Picasso	коническая с выступом	розовая, с белой штриховкой
35	Spatsommer	округлая	сиренево-розовая, с ярким малиновым центром
36	White Sparr	округлая	белоснежная, с зеленой трубкой
37	Younique Mouve	округло-коническая	сиреневая, с малиновым глазком

**Оценка декоративности сортов *Phlox paniculata*
в коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, балл**

Table 8

**Assessment of the ornamental of *Phlox paniculata* varieties in the collection
of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
(points)**

№ п/п	Сорт	Высота растения	Форма габитуса	Длина листа	Ширина листа	Окраска листа	Зимо- стойкость	Диаметр соцветия	Форма соцветия	Диаметр цветка	Сумма баллов
1	Анастасия	12	6	3	4	3	5	6	2	8	49
2	Берендей	12	6	3	5	3	5	12	10	6	62
3	Ганс Вольмоллер	6	10	4	5	3	5	3	4	2	42
4	Гордость России	12	10	3	5	3	5	12	8	6	64
5	Горицвет	3	6	3	3	3	5	9	2	6	46
6	Егорка	12	6	2	1	3	5	9	8	4	50
7	Земляничное суфле	15	10	3	5	3	5	6	2	6	55
8	Изабель	9	6	2	3	3	5	9	10	8	55
9	Карамель клубничная	9	10	3	2	3	5	9	8	6	54
10	Князь Рюрик	9	1	3	3	3	5	9	2	8	52
11	Купчиха	6	6	2	3	3	5	9	6	4	44
12	Маргарита	12	10	2	4	3	5	9	10	8	63
13	Матронушка	6	6	3	5	3	5	9	10	8	55
14	Мисс Ольга	15	6	2	5	3	5	12	10	8	66
15	Оленька	9	6	1	2	3	5	9	4	6	45
16	Поэма	12	10	2	3	3	5	6	10	8	59
17	Седая Нева	6	2	3	4	3	5	3	10	4	40
18	Серебряный век	9	10	2	4	3	5	6	2	4	45
19	Травиата	12	10	3	5	3	5	12	6	8	64
20	Успех	6	6	3	2	9	5	12	6	8	57

№ п/п	Сорт	Высота растения	форма габитуса	Длина листа	Ширина листа	Окраска листа	Зимостойкость	Диаметр соцветия	форма соцветия	Диаметр цветка	Сумма баллов
21	Фаина Раневская	12	6	3	3	3	5	12	8	10	62
22	Фламенко	6	2	5	5	9	5	15	8	6	55
23	Хулиган	9	10	1	2	3	5	15	10	4	59
24	Чайка	9	10	2	3	3	5	12	6	10	60
25	Чароитова крошка	9	10	2	4	3	5	6	10	2	51
26	Casablanca	12	10	5	5	3	5	9	8	2	59
27	Darwin's Joyce	15	10	3	5	15	5	9	10	6	75
28	Dusterlohe	3	10	3	3	3	5	3	2	4	36
29	Feuerball	6	2	5	5	3	5	6	4	6	42
30	Ice Cap	6	2	2	4	3	5	12	10	4	48
31	Juliglut	9	10	3	5	3	5	3	4	4	46
32	Junior Abundance	6	6	5	3	3	5	9	6	6	49
33	Monica Lynden Bell	9	2	3	3	3	5	6	10	6	47
34	Picasso	9	10	3	5	3	5	12	8	8	63
35	Spatsommer	3	10	2	3	3	5	6	4	8	44
36	White Sparr	6	6	3	5	3	5	3	4	4	39
37	Younique Mouve	3	10	2	4	3	5	12	10	10	59

При оценке зимостойкости было выявлено, что все без исключения сорта флокса метельчатого в коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева являются зимостойкими, и никаких повреждений после зимнего периода они не получили. Наиболее декоративными оказались сорта Darwin's Joyce (75 баллов), Мисс Ольга (66 баллов) и Травиата (64 балла); наименее декоративными – Dusterlohe (36 баллов) и White Sparr (39 баллов).

Выводы Conclusions

По результатам проведенных исследований отмечено, что в коллекции флокса метельчатого РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева наиболее декоративными являются сорта Darwin's Joyce, Мисс Ольга и Травиата, которые набрали максимальное

количество баллов при комплексной оценке декоративных признаков, характеризуются плотным и компактным кустом, достаточно крепким и декоративным соцветием, состоящим из крупных цветков ровной невыгорающей окраски.

Для быстрого достижения декоративного эффекта, особенно при озеленении площадей, можно использовать быстро разрастающиеся сорта Земляничное суфле и Мисс Ольга. Сорт Spatsommer можно использовать для создания бордюров как низкорослый и медленно разрастающийся. Для создания миксбордеров наиболее пригодны сорта White Sparr и Dusterlohe, создающие фон на среднем плане цветника благодаря мелким цветкам, а также сорта с крупными листьями Князь Рюрик, Фламенко и Casablanca. Для использования в качестве солитера наиболее подходящим является сорт Фламенко с наиболее эффектными соцветиями. Для получения срезового материала подходят сорта флокса Darwin's Joyce, Чароитова крошка, Мисс Ольга, Фаина Раневская, Чайка и Younique Mouve, имеющие наиболее крупные выразительные цветки.

Наблюдения за сортами коллекции будут продолжены. Полученные сведения о морфологических особенностях и степени декоративности сортов могут быть использованы для дальнейших селекционных работ и при подборе ассортимента для озеленения, ландшафтного дизайна и декоративного садоводства в природно-климатических условиях г. Москвы. Осенью 2024 г. созданная коллекция была пополнена более чем 40 сортами, среди которых – Золушка, Небеса, Мичуринец, Красень, Мишенька, Опал, Викинг, Давид, Флудерцан, Даниэль, а также старинный сорт Манон, полученный М. Бединггауз в Тимирязевской академии в 1941 г.

Список источников

1. Высоцкий В.А. Роль биотехнологических методов в интродукции, размножении, селекции и сохранении генофонда редких и нетрадиционных растений // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. 2015. № 11. С. 27-29. EDN: UQHMZT.

2. Государственная Комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «Госсорткомиссия»): официальный сайт. <https://gossortrf.ru/registry/>.

3. Зубик И.Н., Орлова Е.Е., Козлова Е.А. и др. Фенологические особенности сортов роз при выращивании в условиях защищенного грунта // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 1. С. 17-29. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-1-17-29>

4. Ковалева И.С., Мацнева А.Е., Ханбабаева О.Е., Мазаева А.С. Оптимизация условий культивирования сортов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L. // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 9. С. 108-110. EDN: TPRTYH.

5. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR

6. Макаров С.С., Феклистов П.А., Кузнецова И.Б. и др. Технологии размножения и возделывания видов и сортов голубики для создания биоресурсной коллекции // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37, № 12. С. 11-16. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11

7. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Сахоненко А.Н. и др. Создание биоресурсной коллекции ягодных растений на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 4. С. 23-33. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>

8. Пищева Г.Н. Регенерационные особенности первичных эксплантов *Phlox paniculata* L. в культуре *in vitro* // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30, № 9. С. 40-43. EDN: WWRGPH.

9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624731 (Российская Федерация). Биоресурсная коллекция рода *Ribes* (Смородина черная) / С.С. Макаров, А.И. Чудецкий, А.Е. Мацнева и др., 2023. EDN: XOJGWC.

10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024620767 (Российская Федерация). Коллекция рода *Hosta* (Хоста) на территории ФГБОУ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / Е.А. Козлова, Е.Е. Орлова, И.Н. Зубик, 2024. EDN: RMQDEO.

11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624294 (Российская Федерация). Биоресурсная коллекция брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева / С.С. Макаров, А.И. Чудецкий, 2024. EDN: DFUNJJ.

12. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624555 (Российская Федерация). Биоресурсная коллекция голубики (*Vaccinium*) ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева / С.С. Макаров, А.И. Чудецкий, И.Н. Зубик, 2024. EDN: PWWGOL.

13. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624578 (Российская Федерация). Биоресурсная коллекция княженики (*Rubus arcticus* L.) ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева / А.И. Чудецкий, С.С. Макаров, 2024. EDN: PEVTZS.

14. Соколкина А.И., Ханбабаева О.Е., Бондорина И.А. и др. Оценка коллекции отечественных сортов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) ГБС им. Н.В. Цицина по морфологическим признакам // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022. № 5. С. 35-45. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-5-35-45>

15. Спицына М.А., Артюхова А.В. Вегетативные способы размножения флокса метельчатого (*Phlox paniculata*) // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2014. Т. 39. С. 205-207. EDN: SCXYLV.

16. Степанов Н.В. О новых формах флокса метельчатого (*Phlox paniculata* – *Polemoniaceae*) // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 5 (170). С. 74-80. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-5-74-80>

17. Степанов Н.В. Новые крупноцветковые формы флокса метельчатого (*Phlox paniculata* – *Polemoniaceae*) // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 9 (198). С. 25-32. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-25-32>

18. Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. № 183 (1). С. 9-30. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30>

19. Шумихин С.А., Черткова М.А., Аксенова Л.В. Семенное размножение флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) в условиях Пермского края // *Вестник Пермского университета. Серия «Биология»*. 2020. № 2. С. 103-108. <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2020-2-103-108>

20. Andreeva E., Burlakovskiy M., Buzovkina I. et al. Genetic Collections of St. Petersburg University. *Bio. Comm.* 2023;68(3):199-214. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2023.308>

21. Butenkova A.N., Belaeva T.N., Shmakova G.A Physiological Response of *Phlox paniculata* L. Varieties to Different Growing Conditions of Western Siberia. *E3S Web of Conferences*. 2024;486:07005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448607005>

22. Kulyan R., Pashchenko O., Omarova Z., Slepchenko N. Replenishment of the Bioresource Collection of the Subtropical Scientific Centre with

Varieties of Own Selection. *E3S Web of Conferences*. 2024;539:01018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453901018>

23. Ryndin A., Gutiyeva N., Pashchenko O., Slepchenko N. Bioresource Collection of Flower Crops in FRC SSC of RAS and Its Use in Breeding Research. *BIO Web of Conferences*. 2022;47:02009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224702009>

24. Stepanтова N.V., Chepinoga V.V., Kazanovskiy S.G. et al. Floristic Findings on the Territory of Baikal Siberia. *Turczaninowia*. 2022;25(3):194-206. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.25.3.18>

25. Vejsadová H., Matiska P., Obert B. et al. Somatic Embryogenesis in *Phlox paniculata* – Histological Analysis. *Biologia*. 2016;71(7):763-768. <https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0100>

References

1. Vysotsky V.A. The Role of biotechnological methods in the introduction, reproduction, breeding and preservation of the gene pool of rare and unconventional plants. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispolzovaniya*. 2015;11:27-29. (In Russ.)

2. The State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements: official website. (In Russ.) URL: <https://gossortrf.ru/registry/>

3. Zubik I.N., Orlova E.E., Kozlova E.A. et al. Phenological characteristics of rose cultivars grown in protected soil using hydroponic technology. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;1:17-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-1-17-29>

4. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. (In Russ.) EDN: CBVVAR

5. Kovaleva I.S., Matsneva A.E., Khanbabaeva O.E., Mazaeva A.S. Assessment of the Effect of *Phlox paniculata* L. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2018;9:108-110. (In Russ.)

6. Makarov S.S., Feklistov P.A., Kuznetsova I.B. et al. Technologies for propagation and cultivation of blueberry species and varieties to create a bioresource collection. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2023;37(12):11-16. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11

7. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Sakhonenko A.N., Solovyov A.V. et al. Creation of a bioresource collection of berry plants on the basis of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;1(4):23-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>

8. Pishcheva G.N. Regenerative peculiarities of primary explants of *Phlox paniculata* L. in vitro. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2016;30(9):40-43. (In Russ.)

9. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Makhneva A.E. et al. *Bioresource collection of genus Ribes (black currant)*: certificate of state registration of database No. 2023624731 (Russian Federation). 2023. (In Russ.)

10. Kozlova E.A., Orlova E.E., Zubik I.N. *Collection of the genus Hosta on the territory of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy*: certificate of state registration of the database No. 2024620767 (Russian Federation). 2024. (In Russ.)

11. Makarov S.S., Chudetsky A.I. *Bioresource collection of lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy*: certificate of state registration of the database No. 2024624294 (Russian Federation). 2024. (In Russ.)

12. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Zubik I.N. *Bioresource collection of blueberry (Vaccinium) of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy*: certificate of state registration of the database No. 2024624555 (Russian Federation). 2024. (In Russ.)
13. Chudetsky A.I., Makarov S.S. *Bioresource collection of arctic bramble (Rubus arcticus L.) of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy*: certificate of state registration of the database No. 2024624578 (Russian Federation). 2024. (In Russ.)
14. Sokolkina A.I., Khanbabaeva O.E., Bondorina I.A., Kudusova V.L., Sorokopudova O.A. Evaluation by morphological characteristics of the collection of the paniculata phlox (*Phlox paniculata* L.) domestic cultivars of N.V. Tsitsin's botanical garden of the Russian Academy of Sciences. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;5:35-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-5-35-45>
15. Shpigina M.A., Artyukhova A.V. Vegetative methods of reproduction of *Phlox paniculata*. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2014;39:205-207. (In Russ.)
16. Stepanov N.V. On the new forms of perennial phlox (*Plox Paniculata – Polemoniaceae*). *Bulletin of KSAU*. 2021;5:74-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-5-74-80>
17. Stepanov N.V. New large-flower forms of *Phlox paniculata* (*Polemoniaceae*). *Bulletin of KSAU*. 2023;9:25-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-25-32>
18. Khlestkina E.K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):9-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30>
19. Shumikhin S.A., Chertkova M.A., Aksenova L.V. Seed reproduction of *Phlox paniculata* L. in Perm Region climatic conditions. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2020;2:103-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2020-2-103-108>
20. Andreeva E., Burlakovskiy M., Buzovkina I. et al. Genetic Collections of St. Petersburg University. *Bio. Comm*. 2023;68(3):199-214. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2023.308>
21. Butenkova A.N., Belaeva T.N., Shmakova G.A. Physiological Response of *Phlox paniculata* L. Varieties to Different Growing Conditions of Western Siberia. *E3S Web of Conferences*. 2024;486:07005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448607005>
22. Kulyan R., Pashchenko O., Omarova Z., Slepchenko N. Replenishment of the Bioresource Collection of the Subtropical Scientific Centre with Varieties of Own Selection. *E3S Web of Conferences*. 2024;539:01018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453901018>
23. Ryndin A., Gutiyeva N., Pashchenko O., Slepchenko N. Bioresource Collection of Flower Crops in FRC SSC of RAS and Its Use in Breeding Research. *BIO Web of Conferences*. 2022;47:02009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224702009>
24. Stepantsova N.V., Chepinoga V.V., Kazanovskiy S.G. et al. Floristic Findings on the Territory of Baikal Siberia. *Turczaninowia*. 2022;25(3):194-206. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.25.3.18>
25. Vejsadová H., Matiska P., Obert B. et al. Somatic Embryogenesis in *Phlox paniculata* – Histological Analysis. *Biologia*. 2016;71(7):763-768. <https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0100>

Информация об авторах

Елена Евгеньевна Орлова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская

Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: elena.orlova@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976-45-05; <https://orcid.org/0000-0002-7301-0539>

Инна Николаевна Зубик, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: innazubik@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976-45-05; <https://orcid.org/0000-0002-6631-3291>

Елена Анатольевна Козлова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kozlova.e@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976-45-05; <https://orcid.org/0000-0001-7020-9406>

Information about the authors

Elena E. Orlova, CSc (Agr), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Turfgrass Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976-45-05; e-mail: elena.orlova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7301-0539>

Inna N. Zubik, CSc (Agr), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Turfgrass Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976-45-05; e-mail: innazubik@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6631-3291>

Elena E. Kozlova, CSc (Agr), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Turfgrass Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976-45-05; e-mail: kozlova.e@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7020-9406>

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

**Особенности развития сортов *Hyacinthus orientalis*
при выгонке и в открытом грунте Центрального Нечерноземья**

Ольга Анатольевна Сорокопудова[✉], Елизавета Ильинична Ханумиди

Всероссийский научно-исследовательский институт
лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: osorokopudova@yandex.ru

Аннотация

Луковичные весеннецветущие ароматные растения вида гиацинт восточный (*Hyacinthus orientalis* L.) весьма популярны и востребованы на рынке, используются в мире для горшечной и садовой культуры, срезки, в парфюмерии и обладают противоопухолевой и иммуномодулирующей активностью. Несмотря на невысокую зимостойкость, сорта *H. orientalis* культивируют в открытом грунте и в регионах с умеренно-континентальным климатом. В различных почвенно-климатических условиях сроки цветения, параметры надземной части генеративных побегов и луковиц *H. orientalis* значительно варьируют. Цель работы – установить сроки цветения, сравнительные морфологические параметры некоторых сортов *H. orientalis* при выгонке и в открытом грунте Центрального Нечерноземья. Выгонку сортов Blue Jacket, China Pink, Gipsy Princess, Pink Pearl и Rosette проводили в зимне-весенние сроки в лабораторных условиях у окна без досвечивания с последующей посадкой луковиц осенью в открытый грунт. Перед постановкой на выгонку и посадкой в открытый грунт использованы луковицы диаметром 4–5 см. В результате проведенных исследований выявлены сроки начала бутонизации и цветения, продолжительность цветения растений. Установлено, что в условиях открытого грунта продолжительность цветения ввиду более низких среднесуточных температур воздуха составляла 16–33 суток – в 2–3 раза больше, чем в условиях выгонки. В условиях полутени открытого грунта у всех изученных сортов *H. orientalis* высота растений превышала высоту растений при выгонке на 14–31% и составляла 29,7–37,2 см. Среднее число цветков в соцветиях генеративных побегов варьировало у сортов от 15,5 до 20,0 шт. при выгонке и от 7,8 до 9,3 шт. в открытом грунте. При выгонке для увеличения интенсивности роста растений и закладки наибольшего числа цветков в луковицах рекомендовано контролировать освещенность растений. По продолжительности цветения и способности к возобновлению и размножению луковиц нами выделены раннецветущие сорта China Pink и Pink Pearl как наиболее перспективные для открытого грунта в Центральном Нечерноземье.

Ключевые слова

Hyacinthus orientalis, сорта, выгонка, культивирование, фенология, генеративные побеги, цветоводство

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР № FGUU-2025–0001 с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР».

Для цитирования

Сорокопудова О.А., Ханумиди Е.И. Особенности развития сортов *Hyacinthus orientalis* при выгонке и в открытом грунте Центрального Нечерноземья // *Известия Тимирязевский сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 64–76.

**Features of development of *Hyacinthus orientalis* cultivars
in forcing and in open ground of the Central Non-Chernozem region**

Olga A. Sorokopudova[✉], Elizaveta I. Khanumidi

All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia

[✉]**Corresponding author:** osorokopudova@yandex.ru

Abstract

Bulbous spring-flowering aromatic plants of *Hyacinthus orientalis* L. are very popular and in demand on the market, used worldwide for pot and garden culture, cutting, in perfumery and have antitumor and immunomodulatory activity. Despite low winter hardiness, *H. orientalis* cultivars are cultivated in open ground and in regions with moderate continental climate. The time of flowering, parameters of the above-ground part of generative shoots and bulbs of *H. orientalis* vary significantly in different soil and climatic conditions. The aim of this work was to establish the flowering dates and comparative morphological parameters of some cultivars of *H. orientalis* in forcing and in open ground of the Central Non-Chernozem region. The cultivars Blue Jacket, China Pink, Gipsy Princess, Pink Pearl and Rosette were forced in the winter-spring period under laboratory conditions near a window without additional lighting, and then the bulbs were planted in the open ground in the fall. The bulbs used in the experiments were 4–5 cm in diameter. As a result of the studies, the time of the beginning of budding and flowering, duration of flowering of the plants were determined. It was found that the duration of flowering in open ground due to lower average daily air temperature was 16–33 days. This is 2–3 times more than in forcing. The height of plants in all studied *H. orientalis* cultivars in the conditions of partial shade of open ground exceeded the height of plants in forcing by 14–31% and amounted to 29.7–37.2 cm. The average number of flowers in the inflorescences of the generative shoots in the cultivars varied from 15.5 to 20.0 pieces in forcing and from 7.8 to 9.3 pieces in open ground. In order to increase the intensity of plant growth in forcing and lay the largest number of flowers in the bulbs, it is recommended to control the illumination of plants. Based on the duration of flowering and the ability to renew and reproduce bulbs, we have identified the early flowering cultivars China Pink and Pink Pearl as the most promising for open ground in the Central Non-Chernozem region.

Keywords

Hyacinthus orientalis, cultivars, forcing, cultivation, phenology, generative shoots, floriculture

Acknowledgments

The work was carried out within the framework of the research topic No. FGUU-2025–0001 using biological objects of the Unique Scientific Facility “Biocollections of the All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”.

For citation

Sorokopudova O.A., Khanumidi E.A. Features of development of *Hyacinthus orientalis* cultivars in forcing and in open ground of the Central Non-Chernozem region. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 64–76.

**Введение
Introduction**

Гиацинт восточный (*Hyacinthus orientalis* L.) – вид из семейства *Asparagaceae*, представляющий собой многолетнее луковичное растение. Это геофит, раннецветущий

эфемероид [1]. Благодаря сильному приятному аромату, ранневесенним срокам цветения, широкой гамме окрасок околоцветников, *H. orientalis* весьма популярен и востребован в мире для горшечной и садовой культуры, срезки, в парфюмерии. В последние годы продолжается изучение состава эфирных масел цветков – в свежесобранных цветках *H. orientalis* идентифицировано 28 летучих соединений, основными из которых являются фенилэтиловый спирт, бензилацетат, α -пинен и фурфурол [2]. Рассматривается перспективность использования *H. orientalis* в медицине: все части растений традиционно используется для лечения различных заболеваний включая рак. Так, исследователями ОАЭ и Иордании установлено, что после прививания мышам рака молочной железы и их лечения водно-спиртовым раствором *H. orientalis* достигнуто значительное уменьшение размеров опухолей, то есть *H. orientalis* обладает многообещающей противоопухолевой и иммуномодулирующей активностью [3].

Несмотря на востребованность на рынке, число сортов *H. orientalis* уступает в десятки или сотни раз таким популярным луковичным растениям, как тюльпан (*Tulipae* L.), лилия (*Lilium* L.), нарцисс (*Narcissus* L.), и некоторым другим. Так, к 2020 г. в базе данных “De Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur” (KAVB) было зарегистрировано лишь 368 сортов *H. orientalis* [4, 5]. Возможно, селекция *H. orientalis* сдерживается их недостаточной зимостойкостью ввиду их происхождения в Передней Азии [6], а также разнообразием геномов по числу хромосом в пределах вида, которые могут быть диплоидными, триплоидными, тетраплоидными и анеуплоидными ($2n = 16, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32$) [4, 7], что сокращает возможность внутривидовой гибридизации как распространенного способа создания новых сортов.

Повсеместно в мире проводится сравнительное биолого-морфологическое изучение сортов *H. orientalis* с выделением из них наиболее перспективных для культивирования в конкретных регионах. Сроки цветения, параметры надземной части генеративных побегов и луковиц значительно варьируют в странах с различными эколого-географическими условиями. Так, в открытом грунте Индии высота цветоносных побегов у взрослых растений 10 изученных сортов (Aladdin, Annabella, Aqua, Blue Jacket, Gipsy Queen, Jan Bose, Pink Pearl, Purple Sensation, Purple Star и Yellow Stone) варьировала от 15 до 18 см, из них лучшим по совокупности показателей исследователями признан сорт Yellow Stone [8]. В защищенном грунте Великобритании в горшечной культуре при посадке луковиц со средней массой 55 г длина соцветий изменялась от 8,3 до 14,5 см, число цветков – от 25 до 50 шт. на 1 растение; из 8 изученных сортов (Amethyst, Blue Jacket, Fondant, Jon Bos, Pink Pearl, Purple Voice, Sky Jackets и Splendid Cornelia) для размножения и получения высокого урожая луковиц рекомендованы сорта Sky Jackets и Purple Voice, для срезки и получения высокой биомассы цветков – сорта Fondant и Blue Jacket [9]. В Румынии из сортов Anne Marie, Blue Jacket, Carnegie, City of Haarlem, Delft Blue, Fondant, Peter Stuyvesant, Sky Jacket и Splendid Cornelia при посадке луковиц с диаметром 5,0–7,1 см и выгонке в горшках и грунте теплицы средняя высота цветоносных побегов у сортов варьировала от 23,2 до 33,4 см, число цветков – от 25,2 до 35,4 шт.; лучшими по комплексу признаков признаны сорта ‘Blue Jacket’, ‘Delft Blue’ и ‘Sky Jacket’ [10].

В России в тепличных условиях Калининградской области при температуре выгонки +20...+23°C у сортов Anna Liza, Blue Pearl, Jan Bos, Pink Pearl и White Pearl высота цветоносных побегов изменялась от 14 до 20 см, число цветков в соцветиях – от 20 до 28 шт. [11]. Несмотря на невысокую зимостойкость, сорта *H. orientalis* культивируют и в открытом грунте регионов с умеренно-континентальным климатом. На юго-западе Среднерусской возвышенности (г. Белгород) в открытом грунте средняя высота цветоносных побегов у сортов Atlantick, Carnegie, Jan Bos и Oranje Voven варьировала от 19,5 до 29,7 см, число цветков в соцветиях – от 5 до 10 шт. [12]. На востоке Восточно-Европейской равнины (г. Йошкар-Ола) по пятилетним данным,

у 22 сортов *H. orientalis* развивалось по 4–8 листьев, высота цветоносных побегов находилась в пределах 15–22 см, число цветков в соцветиях – 10–30 шт. [13]. Там же в 2022 г. у сортов Anna Marie, Apricot Passion, Eros, Lady Derby, Rosette и Splendid Cornelia средняя высота цветоносных побегов варьировала от 7,8 до 15,1 см, число цветков в соцветиях – от 6 до 12 шт.; наибольшее количество цветков в соцветии развивалось у сорта Apricot Passion, как самый низкорослый, с наименьшим числом цветков в соцветии отмечен сорт Rosette [14].

Сроки и данные продолжительности цветения также сильно варьирует в зависимости от условий выращивания: в Румынии по средним данным, за 5 лет (2003–2007 гг.) в открытом грунте растения *H. orientalis* цвели в среднем 10,4 суток [10]. На северо-западе России, в Санкт-Петербурге цветение *H. orientalis* в XX в. наблюдалось со второй декады мая и длилось обычно 10–15 суток при температуре +7...+10°C, а при сухой солнечной погоде – до 3 недель [15]. В Йошкар-Оле цветение начиналось в конце апреля – начале мая, заканчивалось в середине мая и длилось в зависимости от сорта от 9 до 18 суток. У большинства сортов в луковицах формировалось по 1–2 цветоносных побега, реже в отдельные годы – до 3 побегов. Вторичные цветоносы, формирующиеся рядом с главными, зацветали позже и имели не 10–30, а 4–10 цветков в соцветии. У растений сортов Anna Marie, Marie, Lady Darby, Splendid Cornelia и Woodstock формировались плоды и семена, но семена не прорастали [13].

Таким образом, ввиду изменчивости морфологических параметров и сроков цветения *H. orientalis* в различных почвенно-климатических условиях важно выявить возможности культивирования этого вида на примере некоторых сортов в изменяющихся условиях Центрального Нечерноземья. Представляет интерес и возможность использования луковиц *H. orientalis* после выгонки. На севере Восточно-Европейской равнины в Северном (Арктическом) федеральном университете имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск) рекомендуют после зимне-весенней выгонки растения осенью пересаживать в открытый грунт и использовать их для повторной выгонки через 2–3 года [16].

Цель исследований: установить сроки цветения, сравнительные морфологические параметры некоторых сортов *Hyacinthus orientalis* при выгонке и в открытом грунте Центрального Нечерноземья, в центральной части Восточно-Европейской равнины.

Методика исследований **Material and research method**

Объектом исследований являлись сорта *H. orientalis*: смесь сортов, произрастающих на интродукционном участке ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» (г. Москва) и сорта Blue Jacket, China Pink (Delft Pink), Gipsy Princess, Pink Pearl и Rosette, луковицы которых приобрели осенью 2022 г. (по 4–6 луковиц каждого сорта; луковицы соответствовали второму разбору – от 4 до 5 см в диаметре [17]).

Луковицы *H. orientalis* вначале хранили в крафт-пакетах при температуре около +22°C, с конца 1-й декады января – в бытовом холодильнике при температуре около +6°C после осмотра и обработки луковиц с симптомами гнилей раствором биофунгицида Фитоспорина-М по инструкции к препарату. Постановку на выгонку произвели 6 февраля 2023 г. в лабораторных условиях у окон восточной экспозиции без дополнительного освещения при температуре +22...+24°C. Посадку луковиц проводили в цветочные горшки диаметром 15,5 см – по 3–4 луковицы в один горшок. В качестве субстрата использовали почвогрунт для рассады с добавлением биогумуса производства «Biotek-Agro» (г. Витебск, Республика Беларусь). После посадки растения двукратно поливали раствором фунгицида Максим.

После отцветания генеративных побегов растения продолжали вегетировать до увядания листьев, затем луковицы выкапывали и хранили в бумажных пакетах в лабораторных условиях. Луковицы после выкопки у сортов China Pink, Rosette и Gipsy Princess соответствовали величине до выгонки, у сорта Pink Pearl наблюдался их прирост в диаметре на 0,5–0,7 см, у сорта Blue Jacket луковицы незначительно (до 0,3 см) уменьшились в диаметре. В открытый грунт на интродукционный участок с дерново-подзолистой почвой все луковицы 5 сортов посадили 3 октября 2023 г. на фоне почвопокровников: чистяка весеннего (*Ficaria verna* Huds.) и живучки ползучей (*Ajuga reptans* L.) в условиях полутени – на расстоянии 4–5 м от ствола взрослой липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.).

Среднесуточная температура воздуха в открытом грунте приведена по данным метеостанции г. Москвы [18], написание таксонов растений выполнено согласно международному ресурсу WFO [6] и кодексу номенклатуры культурных растений [19]. Статистические показатели определяли с использованием программы Microsoft Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В 2021–2023 гг. побеги *H. orientalis* (смесь сортов неизвестного происхождения) начинали отрастать в начале апреля при переходе среднесуточных температур воздуха через 3–4°C; позже на одну пентаду начало отрастания наблюдалось в 2022 г. по причине отрицательных температур в конце марта. Бутонизация у растений начиналась через 10–15 суток после начала отрастания и длилась в течение 15–20 суток. Цветение наступало в конце апреля – начале мая, как и на востоке Восточно-Европейской равнины [13], и заканчивалось в третьей декаде мая. В 2024 г. в открытом грунте побеги *H. orientalis* неизвестного происхождения и сортов Blue Jacket, China Pink, Gipsy Princess, Pink Pearl и Rosette начинали отрастать в середине третьей декады марта, зацветали раньше, чем в предыдущие годы, – с середины апреля вследствие достаточного тепла в эти сроки: зафиксировано превышение среднемноголетних среднемесячных температур воздуха в марте на 2,3°C, в апреле – на 4°C.

В условиях выгонки фаза бутонизации происходила скрыто под листьями, зачаточное соцветие появлялось лишь за 3–5 суток до начала зацветания, цветки начинали раскрываться на укороченном цветоносе до удлинения его оси (рис. 1). В открытом грунте и при выгонке сумма среднесуточных температур от начала видимого отрастания побегов до начала цветения составляла 180–200°C.

У изученных сортов *H. orientalis* последовательность зацветания не зависела от условий выращивания: раньше начинали цвести сорта China Pink и Pink Pearl, в средние сроки – сорт Blue Jacket, в наиболее поздние сроки цвели сорта Gipsy Princess и махровый сорт Rosette (табл. 1). Разница между самыми раннецветущими и поздноцветущими сортами в сроках начала цветения в условиях выгонки составила 10 суток, в открытом грунте – 11 суток. В условиях открытого грунта растения цвели в течение 16–33 суток – в 2–3 раза дольше, чем в условиях выгонки, ввиду разницы среднесуточных температур воздуха в период цветения. Так, в условиях открытого грунта среднесуточная температура варьировала от +7 до +16°C, наблюдалось похолодание 7–9 мая до +2°C, при выгонке среднесуточная температура воздуха составляла +22...+24°C. Наиболее продолжительно цвели растения сорта China Pink ввиду формирования в отдельных луковицах двух почек возобновления и отрастания из них цветоносных побегов второго порядка в более поздние сроки.



Рис. 1. Начало цветения сортов *Hyacinthus orientalis* в условиях открытого грунта (*a* – Pink Pearl) и выгонки (*б* – Pink Pearl²; *в* – Gipsy Princess)

Figure 1. Beginning of flowering of *Hyacinthus orientalis* cultivars in open ground (*a* – Pink Pearl) and in forcing (*b* – Pink Pearl, *c* – Gipsy Princess)

Таблица 1

Даты цветения сортов *Hyacinthus orientalis* в условиях выгонки (2023 г.) и открытого грунта (2024 г.)

Table 1

Flowering dates of *Hyacinthus orientalis* cultivars in forcing (2023) and open ground (2024)

Сорт	Условия	Дата (число, месяц) начала цветения	Дата (число, месяц) конца цветения	Продолжительность цветения, сутки
China Pink	В	17.02	27.02	11
	О	12.04	14.05	33
Pink Pearl	В	17.02	01.03	13
	О	16.04	10.05	25
Blue Jacket	В	18.02	27.02	10
	О	18.04	06.05	19
Gipsy Princess	В	22.02	28.02	7
	О	21.04	06.05	16
Rosette	В	27.02	06.03	8
	О	23.04	10.05	18

Примечание. В – выгонка; О – открытый грунт.

При формировании в луковицах не одной, а двух вегетативно-генеративных почек возобновления у сортов Pink Pearl и China Pink число цветков, развивающихся на побегах, уменьшалось на 3–6 шт. по сравнению с одиночно формирующимися побегами, что

согласуется с полученными нами ранее данными у лилий [20]. Однако у всех растений *H. orientalis* с двумя почками возобновления в луковицах побеги отрастали не одновременно, а последовательно, с разницей во времени в несколько суток. При этом побеги второго порядка были короче на 3–6 см побегов первого порядка, и у них в соцветиях формировалось на 1–2 цветка меньше (рис. 2), что согласуется с данными, полученными Л.П. Ефремовой, О.А. Бирюковой и Л.Н. Мочаловой на востоке Восточно-Европейской равнины [13]. Длительные сроки цветения *H. orientalis* в открытом грунте относительно сроков цветения в других регионах Европейской части России и Румынии [10, 13, 15] обусловлены, по-видимому, культивированием сортов, наиболее отличающихся сроками цветения, – от наиболее ранних (China Pink) до самых поздних (Rosette).

В условиях полутени открытого грунта у всех изученных сортов *H. orientalis* высота растений превышала высоту растений при выгонке на 14–31%, несмотря на меньшее число цветков в соцветиях, и варьировала от 29,7 до 37,2 см (табл. 2). Эти показатели выше в 1,2–2,9 раз, чем в других регионах исследований в условиях открытого грунта, по усредненным данным [8, 12–14], и очевидно, обусловлены неполным освещением. Среднее число цветков в соцветиях было ниже на 40–60%, чем при выгонке (рис. 3) при близких параметрах луковиц у растений в условиях выгонки и открытого грунта, и варьировало у сортов от 15,5 до 20,0 шт. при выгонке и от 7,8 до 9,3 шт. в открытом грунте. По-видимому, условия выращивания растений *H. orientalis* перед выгонкой (до их приобретения) были более благоприятными для роста луковиц и закладки в почках возобновления наибольшего числа цветков, чем во время выгонки в нашем эксперименте при относительно слабом освещении (в лабораторных условиях у окна без досвечивания). Поэтому в условиях выгонки *H. orientalis* целесообразно контролировать освещенность растений, для культивирования в открытом грунте подбирать наиболее освещенные участки (условия полутени обеспечивали лишь удлинение цветоносов). Этот вывод подтверждается исследованиями С.С. Норадлин и коллег, проведенными в Ираке, в котором растения *H. orientalis* в условиях открытого естественного освещения развивались лучше, чем в полутени, на одинаковом фоне удобрений [21].



Рис. 2. Растения *Hyacinthus orientalis* с двумя побегами возобновления в условиях открытого грунта: а – сорт China Pink; б – сорт Pink Pearl

Figure 2. Plants of *Hyacinthus orientalis* cultivars with two renewal shoots in open ground: а – China Pink; б – Pink Pearl

**Некоторые морфометрические показатели сортов *Hyacinthus orientalis*
в условиях выгонки (2023 г.) и открытого грунта (2024 г.)**

Table 2

**Some morphometric parameters of *Hyacinthus orientalis* cultivars
in forcing (2023) and open ground (2024)**

Сорт	Условия*	Средняя высота цветоносных побегов, см	Среднее число цветоносных побегов	Среднее число цветков
Pink Pearl	В	26,5	1,0	20,0
	О	30,3	2,0	8,3
Blue Jacket	В	28,4	1,0	17,2
	О	37,2	1,0	9,2
China Pink	В	27,1	1,0	18,5
	О	35,2	1,2	8,6
Gipsy Princess	В	26,5	1,0	19,4
	О	33,5	1,0	7,8
Rosette	В	24,7	1,0	15,5
	О	29,7	1,0	9,3
НСП ₀₅		1,7	0,2	2,1

*Примечание: В – выгонка; О – открытый грунт.

Различия по числу цветков в соцветиях *H. orientalis* в разных регионах зависят также от сорта и величины луковиц: в луковицах первого разбора (диаметром 5,0–5,6 см) и разбора экстра (диаметром 5,7 см и более) в почках возобновления обычно закладывается больше цветков, чем у более мелких луковиц. Очевидно, более высокие показатели числа цветков по сравнению с нашими данными у сортов Blue Jacket и Pink Pearl, отмеченные в некоторых источниках литературы [9–11], обусловлены культивированием растений с более крупными луковицами, чем в наших исследованиях.

По нашим данным, сорт Rosette также был самым низкорослым, как и в исследованиях Е.А. Егошиной и др. [14], но высота побегов не была связана с числом цветков. У сорта Pink Pearl после выгонки отмечено увеличение величины луковиц, вероятно, вследствие закладки не одной, а двух почек возобновления, из которых весной следующего года отрастали генеративные побеги – по 2 шт. у всех луковиц этого сорта (табл. 2). По продолжительности цветения и способности к возобновлению и размножению луковиц нами выделены раннецветущие сорта China Pink и Pink Pearl как наиболее перспективные для открытого грунта в Центральном Нечерноземье. Однако и другие сорта: Blue Jacket с голубой окраской околоцветников, Gipsy Princess со светло-желтой окраской околоцветников и Rosette с махровыми цветками и ярко-розовыми околоцветниками – представляют интерес для любительского садоводства, расширяя цветовую гамму и сроки цветения *H. orientalis*.



Рис. 3. Внешний вид цветущих растений некоторых сортов *Hyacinthus orientalis* в условиях выгонки (верхний ряд) и открытого грунта (нижний ряд):
a, d – China Pink; *b, e* – Blue Jacket; *c, f* – Rosette

Figure 3. Appearance of flowering plants of some cultivars of *Hyacinthus orientalis* in forcing (top row) and open ground (bottom row):
a, d – China Pink; *b, e* – Blue Jacket; *c, f* – Rosette

Выводы Conclusions

В результате проведенных исследований выявлено, что в последние годы в условиях открытого грунта Центрального Нечерноземья цветение *H. orientalis* наступало в конце апреля – начале мая и заканчивалось в третьей декаде мая. В открытом грунте и при выгонке сумма среднесуточных температур от начала видимого отрастания побегов до начала цветения составляла 180–200°C. В условиях открытого грунта и при выгонке разница между самыми раннецветущими и поздноцветущими сортами в сроках начала цветения составляла около 10 суток, последовательность зацветания сортов была одинаковой. В условиях открытого грунта продолжительность цветения ввиду более низких среднесуточных температур воздуха составляла 16–33 суток – в 2–3 раза больше, чем в условиях выгонки, несмотря на сокращение числа цветков в соцветиях на 40–60%.

В условиях полутени открытого грунта у всех изученных сортов *H. orientalis* высота растений превышала высоту растений при выгонке на 14–31% и составляла 29,7–37,2 см. Среднее число цветков в соцветиях генеративных побегов, развивавшихся из луковиц второго разбора, варьировало у сортов от 15,5 до 20,0 шт. при выгонке подготовленных к ней луковиц, приобретенных в торговой сети, и лишь от 7,8 до 9,3 шт. – у растений, посаженных в открытый грунт в начале октября после зимне-весенней выгонки. При выгонке для увеличения интенсивности роста растений и закладки наибольшего числа цветков в луковицах целесообразно контролировать освещенность растений.

По продолжительности цветения и способности к возобновлению и размножению луковиц нами выделены раннецветущие сорта China Pink и Pink Pearl как наиболее перспективные для открытого грунта в Центральном Нечерноземье. Однако и сорта Blue Jacket, Gipsy Princess и Rosette представляют интерес для любительского садоводства, расширяя цветовую гамму и сроки цветения *H. orientalis*.

Список источников

1. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR
2. Zarifikhosroshahi M., Ergun Z., Alp S., Ozturk G. Detection of Volatile Compounds of (Hyacinth Flowers *Hyacinthus orientalis* L.) from Turkey. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*. 2022;75(10):1447-1453. <https://doi.org/10.7546/CRABS.2022.10.06>
3. Kury L.T.A., Taha Z., Talib W.H. Immunomodulatory and Anticancer Activities of *Hyacinthus orientalis* L.: an *in vitro* and *in vivo* Study. *Plants*. 2021;10(4):617. <https://doi.org/10.3390/plants10040617>
4. Wong K.H., Wu H.Y., Kong B.L.H., But G.W.C. et al. Characterisation of the Complete Chloroplast Genomes of Seven *Hyacinthus orientalis* L. Cultivars: Insights into Cultivar Phylogeny. *Horticulturae*. 2022;8(5):453. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050453>
5. Zoekresultaten, Search/Zoekopdracht: *Hyacinthus* // *Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur*. URL: <https://www.kavb.nl/zoekresultaten> (дата обращения: 12.12.2024).
6. *Hyacinthus orientalis* L. // *World Flora Online*. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000665369> (дата обращения: 12.12.2024).
7. KAVB publicaties // *Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur*. URL: <https://www.kavb.nl/databases/kavb-publicaties> (дата обращения: 12.12.2024).
8. Masoodi N.H. Performance of Different Common Hyacinth (*Hyacinthus orientalis*) to Qualitative and Quantitative Traits of Growth and Propagation. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*. 2022;40(11):641-645. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2022/v40i111755>
9. Addai I.K. Influence of Cultivar or Nutrients Application on Growth, Flower Production and Bulb Yield of the Common Hyacinth. *American Journal of Scientific and Industrial Research*. 2011;2(2):229-245.
10. Toma F., Petra S., Zamfir-Vasca D., Tanase O. Research on the Behaviour of Some Hyacinth Varieties in Different Types of Forcing for Blooming in out of Season. *Scientific Papers, Series B, Horticulture*. 2012;56:197-202.

11. Воробьевская Е.М., Коршикова Н.Г. Технология выгонки гиацинта восточного (*Hyacinthus orientalis hybridum hort.*) в ООО «Калинково» // *Вестник молодежной науки*. 2018. № 5 (17). С. 21. EDN: YTSCUX.
12. Глубшева Т.Н., Чумакова Е.А. Сортоизучение гиацинта в условиях Белгородской области // *Innovations in Life Sciences*. 2022. С. 116-117. EDN: RBJYJM
13. Ефремова Л.П., Бирюкова О.А., Мочалова Л.Н. Сравнительная оценка сортов гиацинта гибридного в условиях Среднего Поволжья // *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2015. № 6. С. 73-75. EDN: ULJVHL.
14. Егошина Е.А., Окач М.А., Мухаметова С.В. Морфометрические показатели растений гиацинта с розовой окраской цветков // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2022. № 7-1. С. 23-25. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-7-1-23-25>
15. Баранова М.В. Особенности биологии гиацинта // *Цветоводство*. 1979. № 4. С. 20-22.
16. Комарова А.А., Залывская О.С. Средняя выгонка луковичных (на примере *Hyacinthus orientalis*) // *Международный студенческий научный вестник*. 2017. № 2. С. 106-106. EDN: YPSGIN
17. Былов В.Н., Зайцева Е.Н. *Выгонка цветочных луковичных растений: биологические основы*. М.: Наука, 1990. 240 с.
18. Погода в Москве // *Погода и климат*. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=27612&month=4&year=2024> (дата обращения: 12.12.2024).
19. *International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP or Cultivated Plant Code) (Eighth Edition)*. Gent-Oostakker, Belgium: ISHS, 2009:184.
20. Сорокопудова О.А. *Лилии в культуре*: Монография. М.: Изд-во ФГБНУ ВСТИСП; Саратов: Амирит, 2019. 186 с. EDN: ZBPOXR
21. Noraldeem S.S., Mustafa S.S., Ahmed A.S. Effect of NPK, Humic Acid, Biofertilizer and Light Intensity on Vegetative Growth and Bulb Production of *Narcissus trilandrus* L. and *Hyacinthus orientalis* L. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*. 2023;35(1):143-150.

References

1. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. EDN: CBVVAR (In Russ.)
2. Zarifikhosroshahi M., Ergun Z., Alp S., Ozturk G. Detection of Volatile Compounds of (Hyacinth Flowers *Hyacinthus orientalis* L.) from Turkey. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*. 2022;75(10):1447-1453. <https://doi.org/10.7546/CRABS.2022.10.06>
3. Kury L.T.A., Taha Z., Talib W.H. Immunomodulatory and Anticancer Activities of *Hyacinthus orientalis* L.: an *in vitro* and *in vivo* Study. *Plants*. 2021;10(4):617. <https://doi.org/10.3390/plants10040617>
4. Wong K.H., Wu H.Y., Kong B.L.H., But G.W.C. et al. Characterisation of the Complete Chloroplast Genomes of Seven *Hyacinthus orientalis* L. Cultivars: Insights into Cultivar Phylogeny. *Horticulturae*. 2022;8(5):453. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050453>
5. Zoekresultaten, Search/Zoekopdracht: *Hyacinthus*. *Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur*. URL: <https://www.kavb.nl/zoekresultaten> (accessed: December 12, 2024).

6. *Hyacinthus orientalis* L. *World Flora Online*. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000665369> (accessed: December 12, 2024).
7. KAVB publicaties. *Koninklijke Algemeene Vereeniging voor Bloembollencultuur*. URL: <https://www.kavb.nl/databases/kavb-publicaties> (accessed: December 12, 2024).
8. Masoodi N.H. Performance of Different Common Hyacinth (*Hyacinthus orientalis*) to Qualitative and Quantitative Traits of Growth and Propagation. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*. 2022;40(11):641-645. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2022/v40i111755>
9. Addai I.K. Influence of Cultivar or Nutrients Application on Growth, Flower Production and Bulb Yield of the Common Hyacinth. *American Journal of Scientific and Industrial Research*. 2011;2(2):229-245. <https://www.scihub.org/AJSIR/PDF/2011/2/AJSIR-2-2-229-245.pdf>
10. Toma F., Petra S., Zamfir-Vasca D., Tanase O. Research on the Behaviour of Some Hyacinth Varieties in Different Types of Forcing for Blooming in out of Season. *Scientific Papers, Series B, Horticulture*. 2012;56:197-202. <https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/Vol.LVI/Art35.pdf>
11. Vorobevskaya E.M., Corshikova N.G. The technology of distillation of the hyacinth oriantal (*Hyacinthus orientalis* hybridum hort.) in LLC “Kalinkovo”. *Vestnik molodezhnoi nauki*. 2018;5(17):21. (In Russ.)
12. Glubsheva T.N., Chumakova E.A. Hyacinth variety study in conditions of the Belgorod Region. *IV mezhdunarodniy simpozium ‘Innovations in life sciences’*. May 25-27, 2022. Belgorod, Russia: Belgorod National Research University, 2022:116-117. (In Russ.)
13. Efremova L.P., Biryukova O.A., Mochalova L.N. Comparative assessment of hybrid hyacinth varieties in conditions of the Middle Volga region. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2015;6:73-75. (In Russ.)
14. Egoshina E.A., Okach M.A., Mukhametova S.V. Morphometric indicators of hyacinth plants with pink flowers. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022;7-1:23-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-7-1-23-25>
15. Baranova M.V. Peculiarities of hyacinth biology. *Tsvetovodstvo*. 1979;4:20-22. (In Russ.) https://sad.hmarts.ru/kat/foto/g/giacint_v3.pdf
16. Komarova A.A., Zalyvskaya O.S. Average forcing of bulbous plants (on the example of *Hyacinthus orientalis*). *Mezhdunarodniy studencheskiy nauchniy vestnik*. 2017;2:106-106. (In Russ.)
17. Bylov V.N., Zaytseva E.N. *Forcing of flowering bulbous plants: Biological bases*. Moscow, USSR: Nauka, 1990:240. (In Russ.)
18. Weather in Moscow. *Weather and climate*. (In Russ.) URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=27612&month=4&year=2024> (accessed: December 12, 2024)
19. *International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP or Cultivated Plant Code) (Eighth Edition)*. Gent-OOstakker, Belgium: ISHS, 2009:184. https://www.actahort.org/chronica/pdf/sh_10.pdf
20. Sorokopudova O.A. *Lilies in culture: a monograph*. Moscow, Russia: Izd-vo FGBNU VSTISP; Saratov: Amirit, 2019:186. (In Russ.)
21. Noraldeem S.S., Mustafa S.S., Ahmed A.S. Effect of NPK, Humic Acid, Biofertilizer and Light Intensity on Vegetative Growth and Bulb Production of *Narcissus trilandrus* L. and *Hyacinthus orientalis* L. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*. 2023;35(1):143-150. <https://zancojournal.su.edu.krd/index.php/JPAS/article/view/576/264>

Сведения об авторах

Ольга Анатольевна Сорокопудова, доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом растительных ресурсов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 117216, Российская Федерация, г. Москва, ул. Грина, 7; e-mail: osorokopudova@yandex.ru; тел.: (495) 388–48–55; <https://orcid.org/0000-0002-5774-6271>

Елизавета Ильинична Ханумиди, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела растительных ресурсов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 117216, Российская Федерация, г. Москва, ул. Грина, 7; e-mail: hanyimidiliza@yandex.ru; тел.: (495) 388–48–55; <https://orcid.org/0009-0004-5857-5736>

Information about the authors

Olga A. Sorokopudova, DSc (Bio), Professor, Head of the Department of Plant Resources, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants; 7 Grina st., Moscow, 117218, Russian Federation; phone: (495) 388–48–55; e-mail: osorokopudova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5774-6271>

Elizaveta I. Khanumidi, CSc (Ag), Leading Research Associate at the Department of Plant Resources, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants; 7 Grina st., Moscow, 117218, Russian Federation; phone: (495) 388–48–55; e-mail: hanyimidiliza@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5857-5736>

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

**Первичное интродукционное изучение
копеечника забытого (*Hedysarum neglectum* Ledeb.)
в условиях Вологодской области**

**Юлия Сергеевна Черятова^{1✉}, Антон Игоревич Чудецкий¹,
Елена Ивановна Куликова², Владимир Викторович Суров²**

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина, Молочное, Вологда, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: u.cheryatova@rgau-msha.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по изучению адаптационной способности посадочного материала копеечника забытого (*Hedysarum neglectum* Ledeb.), полученного методом клонального микроразмножения, в природно-климатических условиях Вологодского округа Вологодской области. В настоящее время в рамках концепции здоровьесбережения населения России важную роль играет развитие отрасли лекарственного растениеводства. Промышленное культивирование редких лекарственных растений с использованием современных адаптивных технологий выращивания имеет важное значение в органическом сельском хозяйстве и сохранении биоразнообразия фитогенных ресурсов. *H. neglectum* – важнейшее травянистое растение, обладающее широким спектром фармакологической активности. Зимостойкость культивируемых растений *H. neglectum* на опытном участке после первой перезимовки составила 90%, после второй перезимовки – 100%. Растения *H. neglectum* в 3-летнем возрасте сформировали в 3 раза больше прямостоячих облиственных побегов, чем в 2-летнем возрасте. Массовое созревание семян 2–3-летних растений *H. neglectum* в условиях Вологодской области наблюдалось в конце 1-й декады августа. Высота 2–3-летних растений *H. neglectum* составляла 55,0–59,9 см, при этом 3-летние растения сформировали в среднем 5,6 шт. генеративных побегов на 1 растение, что в 3 раза больше генеративных побегов по сравнению с 2-летними. Масса надземной части одного побега 3-летних растений *H. neglectum* составила в среднем 20,9 г, что на 50% больше, чем 2-летних. Урожайность фитомассы надземной части *H. neglectum* в воздушно-сухом состоянии в 3-летнем возрасте составила 117 г/м², что в 5 раз больше, чем в 2-летнем возрасте. Отмечена достаточно высокая адаптационная способность растений *H. neglectum* 3-го года жизни к агроклиматическим условиям Вологодской области.

Ключевые слова

Лекарственные растения, *Hedysarum neglectum*, открытый грунт, фенологические признаки, морфологические признаки

Для цитирования:

Черятова Ю.С., Чудецкий А.И., Куликова Е.И., Суров В.В. Первичное интродукционное изучение копеечника забытого (*Hedysarum neglectum* Ledeb.) в условиях Вологодской области // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 77–92.

Primary introductory study of neglected sweetvetch (*Hedysarum neglectum* Ledeb.) in the conditions of the Vologda Region, Russia

Yulia S. Cheryatova¹✉, Anton I. Chudetsky¹, Elena I. Kulikova², Vladimir V. Surov²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

²Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Molochnoe, Vologda, Russia

✉Corresponding author: u.cheryatova@rgau-msha.ru

Abstract

The article presents the results of research on the adaptability of planting material of neglected sweetvetch (*Hedysarum neglectum* Ledeb.) obtained by clonal micropropagation in the natural and climatic conditions of the Vologda District, Vologda Region, Russia. Currently, the development of the medicinal plant industry in Russia plays an important role within the concept of saving the health of the population. Industrial cultivation of rare medicinal plants using modern adaptive cultivation technologies is important for organic agriculture and the conservation of the biodiversity of phytogenic resources. *H. neglectum* is the most important herbaceous plant with a wide range of pharmacological activity. The winter hardiness of the cultivated *H. neglectum* plants in the experimental area after the 1st overwintering was 90%, after the 2nd overwintering – 100%. 3-year-old *H. neglectum* plants formed three times more erect leafy shoots than 2-year-old plants. Mass maturation of seeds of 2–3-year-old *H. neglectum* plants in the Vologda Region is observed at the end of the 1st decade of August. The height of 2–3-year-old *H. neglectum* plants was 55.0–59.9 cm, while 3-year-old plants formed an average of 5.6 generative shoots per plant, which is three times more generative shoots compared to 2-year-old plants. The mass of the above-ground part of one shoot of 3-year-old *H. neglectum* plants averaged 20.9 g, which is 50% more than that of 2-year-old plants. The yield of *H. neglectum* phytomass of above-ground part in the air-dry state in 3-year-old plants was 117 g/m², which is five times more compared to 2-year-old plants. A sufficiently high adaptability of 3-year-old *H. neglectum* plants to the agro-climatic conditions of the Vologda Region was noted.

Keywords

Medicinal plants, *Hedysarum neglectum*, open ground, phenological features, morphological features

For citation

Cheryatova Yu.S., Chudetsky A.I., Kulikova E.I., Surov V.V. Primary introductory study of neglected sweetvetch (*Hedysarum neglectum* Ledeb.) in the conditions of the Vologda Region, Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 77–92.

Введение Introduction

В настоящее время возрождение и активное развитие отрасли лекарственного растениеводства в России играют ведущую роль в вопросах здравоохранения и профилактической медицины. Территория Российской Федерации как трансконтинентального государства характеризуется разнообразием растительности регионов и высоким потенциалом в вопросах здоровьесбережения населения и обеспечения экологически безопасным сырьем фармацевтической промышленности. Несмотря на это, потребность в лекарственном сырье ряда видов растений неполностью

обеспечивается их сбором и заготовкой, а также в связи незначительными площадями существующих плантаций и ограниченным количеством видов в некоторых районах [12, 34, 40]. В рамках концепции развития органического сельского хозяйства промышленное культивирование важнейших фармакопейных растений, в том числе редких, может быть расширено путем использования инновационных подходов и применения экономически эффективных адаптивных технологий выращивания [6, 8, 23, 25, 28]. С повышением потребности в растительном сырье широкое распространение в последнее время получили исследования по выращиванию лекарственных видов в культуре *in vitro* и адаптации их к различным природно-климатическим условиям [7, 10, 11, 13–24, 35–37, 46]. В связи с этим становится очевидным расширение площадей промышленного культивирования важнейших лекарственных растений, в том числе редких, к числу которых относится копеечник забытый (*Hedysarum neglectum* Ledeb.).

Копеечник забытый, известный также под народными названиями «красный корень» и «медвежий корень», представляет собой многолетнее корневищное травянистое растение семейства Бобовые (*Fabaceae*), которое в диком виде встречается в высокогорных районах Сибири и Алтайского края, Средней Азии, Северной Монголии и Северо-Западного Китая [32, 51]. Высота копеечника забытого достигает 40–120 см, стебли растения – голые прямостоячие. Листья непарноперистосложные, с прилистниками, состоят из 5–9 пар короткочерешковых удлинненно-эллиптических цельнокрайных листочков длиной до 3 см. Цветки зигоморфные, мотылькового типа, фиолетовые, собраны по 20–30 шт. в простую кисть.

В медицине используются в основном корни и корневища копеечника забытого. В составе лекарственного сырья копеечника забытого содержатся алкалоиды, кумарины, дубильные вещества, ксантоны (мангиферин, изомангиферин), флавоноиды (гиперозид, полистахозид, авикулярин, хедизирид-I), моно-, ди- и полисахариды (крахмал, глюкоза, арабиноза, рамноза, ксилоза, галактоза, сахароза, фруктоза, галактуроновая кислота), азотсодержащие компоненты (производные азиридина, пиразола, пиримидина), пектиновые вещества, аминокислоты (пролин, аланин, цистин, аргинин, метионин, глутаминовая кислота, аспарагин), витамины и минералы (аскорбиновая кислота, натрий, калий, кальций, железо, магний, фосфор, сера, азот, селен) [4, 29, 31, 33, 41, 42]. Наибольшее количество активных соединений копеечника забытого содержится в корнях и корневищах, поэтому именно эти части растения обычно применяются для изготовления биодобавок и фитопрепаратов [30].

Копеечник забытый обладает умеренным бактериостатическим действием в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий, туберкулезных микобактерий и паразитических простейших. Растение характеризуется иммуностимулирующим свойством в отношении клеточного и гуморального иммунитета, а также уникальной способностью индуцировать гамма-интерферон в клетках крови. Более того, копеечник забытый оказывает противовоспалительное и седативное действие [43]. Копеечник забытый проявляет широкий спектр фармакологической активности. В научных исследованиях были продемонстрированы антиоксидантные, противовоспалительные, иммуномодулирующие, антибактериальные и тонизирующие свойства растения, установлена его способность улучшать состояние мочеполовой системы при воспалении простаты у мужчин и уменьшать проявления мастопатии у женщин [47]. Экспериментально установлено, что фенолы копеечника забытого могут подавлять свободно-радикальные процессы и защищать клеточные ДНК от повреждения [49]. Сапонины и алкалоиды растения уменьшают воспалительные реакции, оказывают положительное влияние на органы дыхательной

системы при катаральных явлениях, снижают уровень сахара в крови, проявляют адаптогенное и общеукрепляющее действие на организм человека [45]. Дубильные вещества и ксантоны копеечника забытого стимулируют иммунную защиту, проявляют противомикробные и противовирусные свойства, подавляют рост грибов, дрожжей, бактерий и вирусов [48]. Следует особо подчеркнуть, что ксантоны копеечника забытого считаются одними из самых мощных иммуностимуляторов, поэтому могут проявлять антимикробные свойства широкого спектра действия против различных бактериальных и грибковых патогенов [50].

Экстракты копеечника забытого входят в состав множества комплексных фитопрепаратов для поддержания функционального состояния женских репродуктивных органов и тканей молочных желез [44]. Сырье данного растения наравне с фармакопейным копеечником альпийским (*Hedysarum alpinum* L.) является перспективным для разработки и производства новых лекарственных форм [2, 6, 9, 38, 39].

Цель исследований: изучить адаптационную способность посадочного материала *H. neglectum* при первичной интродукции в природно-климатических условиях Вологодской области.

Методика исследований

Research method

Исследования проводили в условиях опытного участка ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА имени Н.В. Верещагина» в 2022–2024 гг. в Вологодском городском округе Вологодской области. В качестве объекта исследований изучали 2–3-летние растения копеечника забытого (*Hedysarum neglectum* Ledeb.) формы, отобранной из популяции сибирского происхождения, предварительно выращенные в культуре *in vitro*, адаптированные *ex vitro* и затем высаженные в открытый грунт по схеме 0,3×0,6 м на субстрате из окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, низинного торфа и речного песка в соотношении 3:1:1, с уровнем pH 6,5...7,0 [7]. Для подкормки растений применяли комплексное азотно-фосфорно-калийное удобрение: нитроаммофоску (азофоска) с соотношением NPK 16:16:16 в дозе 40 г/м², которое вносили в почву в мае 2024 г. поверхностно с последующим рыхлением и поливом.

Для Вологодской области характерен умеренно-континентальный климат [1, 27]. Климатические условия в Вологодском округе в осенний период 2023 г. были достаточно теплыми, при этом сентябрь был сухим (29% осадков от нормы). Зимний период 2023–2024 гг., как и в 2022–2023 гг. [7], характеризовался обильным количеством снега. В начале января и начале февраля 2024 г. отмечались сильные морозы: температура воздуха достигала минимума: –39,4°C и –31,3°C соответственно. Таяние снега в 2024 г. произошло быстро, поскольку март и апрель отличались температурами, заметно выше средних значений при норме осадков; в середине мая отмечен последний весенний заморозок. Вегетационный сезон 2024 г. начался раньше, чем в предыдущем году: среднемесячная температура марта и апреля была отрицательной, но апрель 2024 г. оказался на 1,6°C теплее, чем в 2023 г. (+5,6°C и +7,2°C соответственно). В период с июня по ноябрь 2024 г. отмечено ежемесячное превышение температуры воздуха в сравнении с нормой; июнь отличался обилием осадков (с превышением от нормы почти в 2,5 раза); в июле-сентябре при теплой погоде ежемесячно выпадало около половины нормы осадков, при этом с конца августа до конца сентября осадков не было вообще. Первый осенний заморозок в 2024 г. отмечен в начале 3-й декады сентября (–1,1°C).

В 1–2-й декадах мая проводили полевую оценку зимостойкости растений путем подсчета погибших и живых экземпляров на каждой площадке через 20 дней

после начала вегетации; морозоустойчивость растений оценивали по повреждениям молодых годовичных побегов относительно всего экземпляра растения после прохождения весенних заморозков. Фенологические наблюдения за растениями проводили по общепринятой методике [3]. Морфометрические показатели надземной части изучаемых лекарственных растений измеряли перед заготовкой сырьевой фитомассы в фазу цветения. Поскольку для заготовки копеечника в качестве лекарственного сырья используют растения в возрасте от 4–5 лет, морфометрические показатели подземной части не учитывали.

Заготовку фитомассы сырья проводили в фазу начала цветения (конец июня) при наличии большого числа данных органов. Учитывали количество и урожайность фитомассы надземной части одного растения [26]. Также в 2023 г. проводили сбор семян *H. neglectum*, для которых определяли энергию прорастания и лабораторную всхожесть в марте-апреле 2024 г.

Статистическую обработку данных производили с использованием общепринятых методик [5].

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Наличие высокого снежного покрова в зимний период 2023–2024 гг. позволило растениям хорошо перенести сильные морозы в январе и феврале. Весенний период 2024 г. позволил изучаемым растениям *H. neglectum* вовремя начать вегетацию. Теплый и сухой летне-осенний период 2024 г. требовал регулярного дополнительного полива посадок. Метеорологические условия в октябре и ноябре 2024 г. способствовали постепенной подготовке растений к зиме. При этом теплая погода осеннего периода несколько отодвинула наступление фазы зимнего покоя по сравнению с 2023 г. [7].

Полевая зимостойкость и морозоустойчивость растений *H. neglectum* после второй перезимовки составили 100%, тогда как данные показатели по результатам предыдущего зимнего периода составляли 90%. Все экземпляры хорошо перенесли зимний период 2023–2024 гг. и тронулись в рост в апреле-мае. После весенних майских заморозков в сезоне 2024 г. повреждений тронувшихся в рост молодых побегов растений отмечено не было.

Результаты наблюдений за фенологическими изменениями изучаемых растений *H. neglectum* приведены в таблице 1.

Отмечено, что в 2024 г. растения *H. neglectum* начали вегетацию и перешли в фазу бутонизации примерно на одну неделю раньше, чем в 2023 г. [7]. На растениях 3-го года жизни за вегетацию сформировались прямостоячие облиственные побеги, которых в 2024 г. было примерно в 3 раза больше, чем в прошлом году. Побеги оканчивались густыми многоцветковыми кистями, при этом соцветия образовывались на побегах I и II порядков. Массовое созревание семян копеечника в текущем сезоне, как и в 2023 г., наступило 10 августа. Период от начала весеннего отрастания побегов до начала сбора семян составил 102 дня. Первые семена созревали на центральных побегах, тогда как заканчивалось созревание семян на боковых побегах. Окончание вегетации растений копеечника было связано с заморозком 1 октября ($-2,4^{\circ}\text{C}$). На зимний покой культура ушла во 2-й декаде октября, при этом весь вегетационный период составил 155 дней.

В таблице 2 приведены результаты измерений морфометрических показателей надземной части растений *H. neglectum*.

Таблица 1

**Даты наступления фенологических фаз развития растений *H. neglectum*
2–3-го лет жизни в условиях Вологодской области**

Table 1

**Dates of the onset of phenological phases of development of 2–3-year-old
H. neglectum plants in the conditions of the Vologda Region, Russia**

Фенологическая фаза	Год наблюдений	
	2023	2024
Вегетация: начало	08.05	30.04
массово	14.05	07.05
окончание	01.10	01.10
Бутонизация: начало	05.06	30.05
массово	16.06	10.06
Цветение: начало	19.06	26.06
массово	04.07	01.07
окончание	27.07	20.07
Созревание семян: начало	03.08	18.07
массово	10.08	10.08
окончание	28.08	20.08
Переход в зимний покой	12.10	18.10

В результате анализа данных наблюдений выявлено, что высота растений *H. neglectum* 3-го года жизни на опытном участке составила в среднем около 60 см, при этом самое высокое растение достигло отметки 72 см, самое низкое – 48 см. По сравнению с предыдущим годом растения копеечника в текущем сезоне выросли в среднем на 5 см, а генеративных побегов сформировали в 3 раза больше (в среднем 5,6 шт. на 1 куст). Также длина сырьевой части одного побега в 2024 г. была примерно на 12 см больше, чем в 2023 г. Количество парных листьев и число цветочных кистей на побегах *H. neglectum* были примерно такими же, как и в предыдущем сезоне, но они были несколько крупнее. Количество парных листьев на 1 побеге составило в среднем 12,8 шт., число цветочных кистей, состоящих из отдельных цветочков, – 18,2 шт., что типично для кустов копеечника 3-го года жизни.

Масса сырьевой части одного побега *H. neglectum* в 2024 г. составляла в среднем 20,9 г, что на 50% превышает аналогичный показатель в 2023 г. Воздушно-сухая масса сырьевой части составляла пределы 17% от сырой.

Урожайность и другие показатели воздушно-сухой фитомассы надземной части изучаемых растений *H. neglectum* приведены в таблице 3.

Таблица 2

Морфометрические показатели надземной части растений *H. neglectum* 2–3-го лет жизни в условиях Вологодской области

Table 2

Morphometric indices of the aboveground part of 2–3-year-old *H. neglectum* plants in the conditions of the Vologda Region, Russia

Показатель	Год наблюдений	
	2023	2024
Высота растений, см	55,0±5,32	59,9±5,26
Число генеративных побегов, шт/растение	1,7±0,21	5,6±0,60
Длина сырьевой части одного побега, см	23,2±2,04	35,8±2,12
Число листьев, шт/побег	12,6±1,14	12,8±1,15
Число соцветий, шт/побег	17,5±1,68	18,2±1,74
Масса сырьевой части одного побега	12,9±1,09	20,9±1,22
сырая		
воздушно-сухая		
	2,2±0,20	3,5±0,26

Таблица 3

Характеристика воздушно-сухой фитомассы надземной части растений *H. neglectum* на 2–3-й годы жизни в условиях Вологодской области

Table 3

Characteristics of air-dried phytomass of above-ground part of 2–3-year-old *H. neglectum* plants in the conditions of the Vologda Region, Russia

Показатель	Год наблюдений	
	2023	2024
Среднее количество побегов, шт/растение	1,7±0,14	5,6±0,65
Средняя масса воздушно-сухой сырьевой части 1 побега, г	2,2±0,20	3,5±0,26
Количество фитомассы с 1 растения, г	3,74±0,28	19,7±1,86
Количество экземпляров растений на 1 м², шт.	6	6
Урожайность, г/м²	22,4	117,6

Облиственные побеги с цветками растений *H. neglectum* на 2-й год жизни обеспечили урожайность фитомассы надземной части в воздушно-сухом состоянии 22,4 г/м², тогда как на 3-й год жизни она составила 117 г/м², что в 5 раз больше по сравнению с предыдущим годом.

Только часть цветков густых кистей соцветия растений *H. neglectum* образовывала бобы, в которых вызревали семена коричневатой окраски, овальные, плоские, с одной стороны – вогнутые, довольно крупные (около 3 мм в длину и толщину), по 3–4 шт. на плод. С одного куста копеечника в 2024 г. было собрано около 250 шт. семян, внешне вызревших, общей массой 1,2 г. При схеме посадки 0,3×0,6 м (6 кустов на 1 м²) урожайность семян составила 7,6 г с 1 м². Масса 1000 шт. семян составила 4,8 г. Опыты по определению посевных качеств семян *H. neglectum*, собранных в 2023 г., показали, что за 10 дней энергия прорастания скарифицированных семян *H. neglectum* составила 50%, тогда как лабораторная всхожесть – всего 25%. При этом только половина из них была жизнеспособной после посева в субстрат.

Выводы Conclusions

Таким образом, по результатам проведенных наблюдений можно отметить высокую адаптационную способность растений копеечника забытого 2-го и 3-го лет жизни, полученных путем клонального микроразмножения, к агроклиматическим условиям Вологодской области. Растения развивались достаточно хорошо, имели хорошую облиственность и цветочные кисти, и к 3-му году жизни нарастили значительный объем фитомассы лекарственного сырья. Полученные данные показывают хорошую адаптационную способность в условиях первичной интродукции 3-летних растений копеечника из оздоровленного посадочного материала, полученного с использованием методов биотехнологии.

Необходимы дополнительные исследования по изучению формирования подземной части 4–5-летних растений копеечника забытого с целью заготовки лекарственного сырья и комплексная оценка устойчивости культуры к внешним факторам среды в природно-климатических условиях Вологодской области и смежных регионов.

Список источников

1. Агроклиматические ресурсы Вологодской области: Справочник / Северное управление гидрометеорологической службы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. 185 с.
2. Веснина А.Д., Милентьева И.С., Дмитриева А.И. и др. Перспективы применения *Hedysarum neglectum* Ledeb. в качестве кардиопротектора // *АПК России*. 2023. Т. 30, № 5. С. 677-682. <https://doi.org/10.55934/10.55934/2587-8824-2023-30-5-677-682>
3. Владимиров Д.Р., Гладилин А.А., Гнеденко А.Е. и др. *Методика ведения фенологических наблюдений*. Москва: Альпина Пресс, 2023. 208 с.
4. Высочина Г.И., Кукушкина Т.А. Биологически активные вещества некоторых видов рода *Hedysarum* L. // *Химия растительного сырья*. 2011. № 4. С. 251-258. EDN: OOIZWB.
5. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*: Учебник. Изд. 6-е. Москва: Альянс, 2011. 350 с.

6. Дышлюк Л.С., Фотина Н.В., Изгарышева Н.В. Подбор экстрагента для выделения биологически активных соединений из копеечника забытого // *Все о мясе*. 2020. № 5S. С. 104-106. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-104-106>
7. Зарубина Л.В., Суров В.В., Куликова Е.И. и др. Адаптационная способность некоторых лекарственных растений *ex vitro* к почвенно-климатическим условиям Вологодской области // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 2 С. 33-44. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-33-44>
8. Козко А.А., Цицилин А.Н. Перспективы и проблемы возрождения лекарственного растениеводства в России // *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2018. Т. 146. С. 18-25. <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.03>
9. Лямин Е.С., Федорова Ю.С., Кульпин П.В. и др. Сравнение эффективности стоматологических средств растительного и синтетического происхождения при лечении хронического катарального гингивита // *Казанский медицинский журнал*. 2020. Т. 101, № 1. С. 25-30. <https://doi.org/10.17816/KMJ2020-25>
10. Макаров П.Н., Макаров С.С., Макарова Т.А. и др. Микроклональное размножение наперстянки пурпурной (*Digitalis purpurea* L.) и адаптация регенерантов методом гидропоники // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 4. С. 53-69. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>
11. Макаров П.Н., Макаров С.С., Чудецкий А.И., Зайцев А.Л. *Биологические особенности роста и развития растений рода Монарда (Monarda L.) в условиях закрытого и открытого грунта*: Монография. Москва: Колос-с, 2023. 74 с. EDN: IGRLE.
12. Макаров С.С., Багаев Е.С., Цареградская С.Ю., Кузнецова И.Б. Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2019. № 6. С. 118-131. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-6-118>
13. Макаров С.С., Казиева А.Ю., Макарова Т.А. и др. Микроклональное размножение курильского чая кустарникового (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.) с элементами гидропоники // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 2 (100). С. 64-71. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-100-2-64-71>
14. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Родин С.А. и др. Адаптация клюквы болотной *Oxycoccus palustris* Pers. к нестерильным условиям с добавлением экопрепаратов и гормонов // *Сибирский лесной журнал*. 2022. № 1. С. 52-60. <https://doi.org/10.15372/SJFS20220105>
15. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Смирнов В.С. Совершенствование технологии клонального микроразмножения княженики арктической // *Лесохозяйственная информация*. 2018. № 4. С. 91-97. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.09>
16. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Упадышев М.Т. и др. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 1. С. 67-76. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>
17. Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А. и др. Особенности размножения эстрагона (*Artemisia dracunculoides* L.) в культуре *in vitro* и *ex vitro* // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 3 (101). С. 77-83. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>
18. Макаров С.С., Макарова Т.А., Бердышева Е.А. *Способы получения растительного сырья кровохлебки лекарственной (Sanguisorba officinalis L.) в условиях*

таежной зоны Западной Сибири: Монография. Москва: Колос-с, 2023. 72 с. EDN: BYXSCF.

19. Макаров С.С., Родин С.А., Кузнецова И.Б. и др. Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 3. С. 520-528. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>

20. Макаров С.С., Самойленко З.А., Макарова Т.А. и др. Адаптация клюквы крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) к условиям ex vitro с применением гидропонного метода // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 11. С. 104-112. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-104-112>

21. Макаров С.С., Тяк Г.В., Кузнецова И.Б. и др. Получение посадочного материала *Rubus arcticus* L. методом клонального микроразмножения // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2021. № 6. С. 89-99. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-89-99>

22. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Родин С.А. и др. Адаптация растений-регенерантов княженики арктической к условиям ex vitro с применением гидропоники // *Сибирский лесной журнал*. 2023. № 4. С. 75-82. <https://doi.org/10.15372/SJFS20230408>

23. Макаров С.С., Феклистов П.А., Кузнецова И.Б. и др. Технологии размножения и возделывания видов и сортов голубики для создания биоресурсной коллекции // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37, № 12. С. 11-16. <https://doi.org/10.53859/023524512023371211>

24. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Сунгурова Н.Р. и др. Клональное микроразмножение лесных ягодных растений рода *Rubus* // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54. № 1. С. 60-70. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488>

25. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Сахоненко А.Н. и др. Создание биоресурсной коллекции ягодных растений на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 4. С. 23-33. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>

26. *Методика определения запасов лекарственных растений* / Государственный комитет СССР по лесному хозяйству; Министерство медицинской и микробиологической промышленности. Москва: ЦБНТИлесхоза, 1986. 52 с.

27. *Обзор агрометеорологических условий роста и развития сельскохозяйственных культур в Вологодской области*. Вологда: Вологодский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2021. 15 с.

28. Степанов А.С., Загузова Е.В. Развитие лекарственного растениеводства на российском Дальнем Востоке // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Химия. Биология. Фармация»*. 2020. № 2. С. 84-90. EDN: OWDXJS.

29. Талгат А.К., Кизатова М.Ж. Изучение биологически активных веществ (БАВ) в траве копеечника // *Вестник науки*. 2022. Т. 3, № 2 (47). С. 78-86. EDN: ATDQWW.

30. Федорова Ю.С., Береговых Г.В., Баркин И.М., Суслов Н.И. Исследование противовоспалительной активности некоторых растительных экстрактов // *Национальное здоровье*. 2019. № 4. С. 53-57. EDN: PKSZWD.

31. Федорова Ю.С., Кузнецов П.В., Суслов Н.И., Теслов Л.С. Современные перспективы в фитохимическом и фармакологическом исследованиях биологически активных веществ растений рода *Hedysarum* (сем. Fabaceae, Копеечник) // *The Scientific Heritage*. 2018. № 21. С. 40-53.

32. *Флора Центральной Сибири* / Под ред. Л.И. Малышева, Г.А. Пешковой. Новосибирск: Наука, 1994. Т. 2. 506 с.

33. Цыбулько Н.С., Мясникова С.Б. Коллекция клеточных культур как альтернативный источник получения биологически активных веществ // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2020. Т. 23, № 2. С. 12-17. <https://doi.org/10.29296/25877313-2020-02-02>
34. Черятова Ю.С. К проблеме охраны и воспроизводства ресурсов редких лекарственных растений // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2024. № 3 (68). С. 46-50.
35. Чудецкий А.И., Кузнецова И.Б., Макаров С.С., Суров В.В. Получение посадочного материала красники (*Vaccinium praestans* Lamb.) методом клонального микроразмножения // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова*. 2021. № 2 (63). С. 122-128. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.63.2.017>
36. Чудецкий А.И., Макаров С.С., Родин С.А. и др. Укоренение in vitro и адаптация к нестерильным условиям российских сортов брусники обыкновенной // *Лесохозяйственная информация*. 2023. № 2. С. 102-114. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08>
37. Чудецкий А.И., Родин С.А., Зарубина Л.В. и др. Микроклональное размножение и особенности адаптации к условиям ex vitro лесных ягодных растений рода *Vaccinium* // *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52, № 3. С. 570-581. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2386>
38. Школьников М.Н., Аверьянова Е.В., Цапалова И.Э. Копеечник забытый – перспективное сырье для производства безалкогольных бальзамов // *Пиво и напитки*. 2006. № 2. С. 66-67. EDN: ORNARX.
39. Babich O.O., Samsuev I.G., Tcibulnikova A.V. et al. Properties of Plant Extracts and Component Composition: Column Chromatography and IR Spectroscopy. *Foods and Raw Materials*. 2024;2(2):373-387. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-615>
40. Cheryatova Yu.S. Actual Aspects of Anatomical Research of Medicinal Plant Material of *Vinca minor* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Agriculture, Field Cultivation, Animal Husbandry, Forestry and Agricultural Products*. Smolensk, 2021;723:022036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022036>
41. Dong Y., Tang D., Zhang N. et al. Phytochemicals and Biological Studies of Plants in Genus *Hedysarum*. *Chemistry Central Journal*. 2013;7:124. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-124>
42. Dyshlyuk L.S., Fotina N.V., Milentyeva I.S. et al. Antimicrobial and Antioxidant Activity of *Panax ginseng* and *Hedysarum neglectum* Root Crop Extracts. *Braz J Biol*. 2022;84: e256944. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256944>
43. Gao X., Ren C., Li L. et al. Pharmacological Action of *Hedysarum* polysaccharides: A Review. *Front Pharmacol*. 2023;14:1119224. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1119224>
44. Glyzina G.S., Bykov V.I. Phenolic Compounds of *Hedysarum neglectum*. *Chemistry of Natural Compounds*. 1969;5(4):272. <https://doi.org/10.1007/BF00683857>
45. He L., Huan P., Xu J. et al. *Hedysarum* Polysaccharide Alleviates Oxidative Stress to Protect against Diabetic Peripheral Neuropathy via Modulation of the Keap1/Nrf2 Signaling Pathway. *J Chem Neuroanat*. 2022;126:102182. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2022.102182>
46. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2021;2:21-29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>

47. Vesnina A.D., Milentyeva I.S., Le V.M. et al. Quercetin Isolated from *Hedysarum neglectum* Ledeb. As a Preventer of Metabolic Diseases. *Foods and Raw Materials*. 2025;13(1):192-201. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-633>
48. Vesnina A., Milentyeva I., Minina V. et al. Evaluation of the In Vivo Anti-Atherosclerotic Activity of Quercetin Isolated from the Hairy Roots of *Hedysarum neglectum* Ledeb. *Life (Basel)*. 2023;13(8):1706. <https://doi.org/10.3390/life13081706>
49. Wang D., Xue Z., Wu H. et al. Hepatoprotective Effect and Structural Analysis of *Hedysarum* Polysaccharides In Vivo and In Vitro. *J Food Biochem*. 2022; 46(8): e14188. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14188>
50. Yang X., Xue Z., Fang Y. et al. Structure-immunomodulatory Activity Relationships of *Hedysarum* Polysaccharides Extracted by a Method Involving a Complex Enzyme Combined with Ultrasonication. *Food Funct*. 2019;10(2):1146-1158. <https://doi.org/10.1039/c8fo02293c>
51. Yurkevich O.Y., Samatadze T.E., Selyutina I.Y. et al. Molecular Cytogenetics of Eurasian Species of the Genus *Hedysarum* L. (Fabaceae). *Plants (Basel)*. 2021;10(1):89. <https://doi.org/10.3390/plants10010089>

References

1. *Agroclimatic Resources of the Vologda Region*. Leningrad, USSR: Gidrometeoizdat, 1972:185. (In Russ.)
2. Vesnina A.D., Milentyeva I.S., Dmitrieva A.I. et al. Prospects for the application of *Hedysarum neglectum* Ledeb as a cardioprotector. *APK Rossii*. 2023;30(5):677-682. (In Russ.) <https://doi.org/10.55934/10.55934/2587-8824-2023-30-5-677-682>
3. Vladimirov D.R., Gladilin A.A., Gnedenko A.E. et al. *Methodology for conducting phenological observations*. Moscow, Russia: Alpina Pro, 2023:208. (In Russ.)
4. Vysochina G.I., Kukushkina T.A. Biologically active substances of some species of the genus *Hedysarum* L. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*. 2011;4:251-258. (In Russ.)
5. Dospekhov B.A. *Methodology of Field Experiment (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)*: a textbook. Moscow, Russia: Al'yans, 2011:350. (In Russ.)
6. Dyshlyuk L.S., Fotina N.V., Izgarysheva N.V. selection of an extractant for isolation of biologically active compounds from a *Hedysarum neglectum*. *Vsy o Myase*. 2020;5S:104-106. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-104-106>
7. Zarubina L.V., Surov V.V., Kulikova E.I. et al. Adaptability of some *ex vitro*-adapted medicinal plants to the soil and climatic conditions of the Vologda region. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;2:33-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-33-44>
8. Kozko A.A., Tsitsilin A.N. Prospects and problems of revival of medicinal crop production in Russia. *Works of the State Nikit. Botan. Gard*. 2018;146:18-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.03>
9. Lyamin E.S., Fedorova Yu.S., Kulpin P.V. et al. Comparison between the efficacy plant and synthetic origin dental products in the treatment of chronic catarrhal gingivitis. *Kazan Medical Journal*. 2020;101(1):25-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/KMJ2020-25>
10. Makarov P.N., Makarov S.S., Makarova T.A. et al. Microclonal reproduction of *Digitalis purpurea* L. And adaptation of regenerants in hydroponics. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024; 4:53-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>

11. Makarov P.N., Makarov S.S., Chudetsky A.I., Zaitsev A.L. *Biological features of growth and development of plants of the genus Monarda L. in closed and open ground conditions*: a monograph. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:74. (In Russ.)
12. Makarov S.S., Bagaev E.S., Tsaregradskaya S.Yu., Kuznetsova I.B. Problems of use and reproduction of phytogenic food and medicinal forest resources on the forest fund lands of the Kostroma Region. *Russian Forestry Journal*. 2019;6:118-131 (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2019-6-118>
13. Makarov S.S., Kazieva A.Yu., Makarova T.A. et al. Microclonal reproduction of shrubby cinquefoil (*Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.) with elements of hydroponics. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;2:64-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-100-2-64-71>
14. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Rodin S.A. et al. Adaptation of european cranberry to non-sterile conditions with the addition of organic products and hormones. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2022;1:52-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/SJFS20220105>
15. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Smirnov V.S. Improving technology of clonal micropropagation of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). *Forestry Information*. 2018;4:91-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.09>
16. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Upadyshev M.T. et al. Clonal micropropagation of cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):67-76. (In Russ.) <https://doi.org/0.21603/2074-9414-2021-1-67-76>
17. Makarov S.S., Makarova T.A., Samoylenko Z.A. et al. Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) in vitro and ex vitro propagation features. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;3:77-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>
18. Makarov S.S., Makarova T.A., Berdysheva E.A. *Methods for obtaining plant raw materials of Sanguisorba officinalis L. in the conditions of the Taiga Zone of Western Siberia*: a monograph. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:72. (In Russ.)
19. Makarov S.S., Rodin S.A., Kuznetsova I.B. et al. The effect of light on rhizogenesis of forest berry plants during clonal micropropagation. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(3):520-528. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
20. Makarov S.S., Samoylenko Z.A., Makarova T.A. et al. Adaptation of american cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) to ex vitro conditions using the hydroponic method. *Bulletin of KSAU*. 2023;11:104-112. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-11-104-112>
21. Makarov S.S., Tyak G.V., Kuznetsova I.B. et al. Producing planting material of *Rubus arcticus* L. by clonal micropropagation. *Russian Forestry Journal*. 2021;6:89-99. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-89-99>
22. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Rodin S.A. et al. Adaptation of regenerated plants of *Rubus arcticus* L. to ex vitro conditions using hydroponics. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2023;4:75-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/SJFS20230408>
23. Makarov S.S., Feklistov P.A., Kuznetsova I.B. et al. Technologies for Propagation and Cultivation of Blueberry Species and Cultivars to Create a Bioresource Collection. *Achievements of Science and Technology of the Agro-industrial Complex*. 2023;37(12):11-16. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_11
24. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Sungurova N.R. et al. Clonal micropropagation of wild berry plants of the genus *Rubus*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(1):60-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2488>

25. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Sakhonenko A.N. et al. Creation of a bioresource collection of berry plants on the basis of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;4:23-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-23-33>
26. *Methodology for determining the reserves of medicinal plants*. Moscow, USSR: TSBNTI leskhoza, 1986:52. (In Russ.)
27. *Review of agrometeorological conditions for the growth and development of agricultural crops in the Vologda Region*. Vologda, Russia: Vologodskiy tsentr po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy, 2021:15. (In Russ.)
28. Stepanov A.S., Zaguzova E.V. Development of medicinal plant growing in the Russian Far East. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2020;2:84-90. (In Russ.)
29. Talgat A.K., Kizatova M.Zh. Study of biologically active substances in the grass. *Science Bulletin*. 2022;3(2):78-86. (In Russ.)
30. Fedorova Yu.S., Beregovykh G.V., Barkin I.M., Suslov N.I. Research of anti-inflammatory activity of some plant extracts. *National Health*. 2019;4:53-57. (In Russ.)
31. Fedorova Yu.S., Kuznetsov P.V., Suslov N.I., Teslov L.S. Modern prospects in phytochemical and pharmacological researches of biologically active substances of plants of sort *Hedysarum* (*this. Fabaceae, Hedysarum*). *The Scientific Heritage*. 2018;21:40-53. (In Russ.)
32. Malyshev L.I., Peshkova G.A. (eds.). *Flora of Central Siberia. Vol. 2*. Novosibirsk, Russia: Nauka, 1994:506. (In Russ.)
33. Tsybulko N.S., Myasnikova S.B. Collection of cell cultures as an alternative source of obtaining biologically active substances. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2020;23(2):12-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877313-2020-02-02>
34. Cheryatova Yu.S. On the problem of protection and reproduction of rare medicinal plant resources. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2024;3:46-50. (In Russ.)
35. Chudetsky A.I., Kuznetsova I.B., Makarov S.S., Surov V.V. Obtaining planting material for Kamchatka bilberry (*Vaccinium praestans* Lamb.) by clonal micropropagation. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii imeni V.R. Filippova*. 2021;2:122-128. (In Russ.) <https://doi.org/10.34655/bgsha.2021.63.2.017>
36. Chudetsky A.I., Makarov S.S., Rodin S.A. et al. Rooting in vitro and adaptation to non-sterile conditions of russian selection cultivars of lingonberry. *Forestry Information*. 2023;2:102-114. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.08>
37. Chudetskiy A.I., Rodin S.A., Zarubina L.V. et al. Clonal micropropagation and peculiarities of adaptation to ex vitro conditions of forest berry plants of the genus *Vaccinium*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(3):570-581. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2386>
38. Shkolnikova M.N., Averyanova E.V., Tsapalova I.E. Neglected sweetvetch is a promising raw material for the production of non-alcoholic balms. *Pivo i napitki*. 2006;2:66-67. (In Russ.)
39. Babich O.O., Samsuev I.G., Tcibulnikova A.V. et al. Properties of Plant Extracts and Component Composition: Column Chromatography and IR Spectroscopy. *Foods and Raw Materials*. 2024;2(2):373-387. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-615>
40. Cheryatova Yu.S. Actual Aspects of Anatomical Research of Medicinal Plant Material of *Vinca minor* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Agriculture, Field Cultivation, Animal Husbandry*,

- Forestry and Agricultural Products*. Smolensk, Russia: 2021;723:022036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022036>
41. Dong Y., Tang D., Zhang N. et al. Phytochemicals and Biological Studies of Plants in Genus *Hedysarum*. *Chemistry Central Journal*. 2013;7:124. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-124>
42. Dyshlyuk L.S., Fotina N.V., Milentyeva I.S. et al. Antimicrobial and Antioxidant Activity of *Panax ginseng* and *Hedysarum neglectum* Root Crop Extracts. *Braz J Biol*. 2022;84: e256944. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256944>
43. Gao X., Ren C., Li L. et al. Pharmacological Action of *Hedysarum* polysaccharides: A Review. *Front Pharmacol*. 2023;14:1119224. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1119224>
44. Glyzina G.S., Bykov V.I. Phenolic Compounds of *Hedysarum neglectum*. *Chemistry of Natural Compounds*. 1969;5(4):272. <https://doi.org/10.1007/BF00683857>
45. He L., Huan P., Xu J. et al. *Hedysarum* Polysaccharide Alleviates Oxidative Stress to Protect against Diabetic Peripheral Neuropathy via Modulation of the Keap1/Nrf2 Signaling Pathway. *J Chem Neuroanat*. 2022;126:102182. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2022.102182>
46. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Chudetsky A.I., Rodin S.A. Obtaining High-quality Planting Material of Forest Berry Plants by Clonal Micropropagation for Restoration of Cutover Peatlands. *Russian Forestry Journal*. 2021;2:21-29. <https://doi.org/10.17238/0536-1036-2021-2-21-29>
47. Vesnina A.D., Milentyeva I.S., Le V.M. et al. Quercetin Isolated from *Hedysarum neglectum* Ledeb. As a Preventer of Metabolic Diseases. *Foods and Raw Materials*. 2025;13(1):192-201. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-633>
48. Vesnina A., Milentyeva I., Minina V. et al. Evaluation of the In Vivo Anti-Atherosclerotic Activity of Quercetin Isolated from the Hairy Roots of *Hedysarum neglectum* Ledeb. *Life (Basel)*. 2023;13(8):1706. <https://doi.org/10.3390/life13081706>
49. Wang D., Xue Z., Wu H. et al. Hepatoprotective Effect and Structural Analysis of *Hedysarum* Polysaccharides In Vivo and In Vitro. *J Food Biochem*. 2022;46(8): e14188. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14188>
50. Yang X., Xue Z., Fang Y. et al. Structure-immunomodulatory Activity Relationships of *Hedysarum* Polysaccharides Extracted by a Method Involving a Complex Enzyme Combined with Ultrasonication. *Food Funct*. 2019;10(2):1146-1158. <https://doi.org/10.1039/c8fo02293c>
51. Yurkevich O.Y., Samatadze T.E., Selyutina I.Y. et al. Molecular Cytogenetics of Eurasian Species of the Genus *Hedysarum* L. (Fabaceae). *Plants (Basel)*. 2021;10(1):89. <https://doi.org/10.3390/plants10010089>

Сведения об авторах

Юлия Сергеевна Черятова, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Антон Игоревич Чудецкий, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: chudetski@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Елена Ивановна Куликова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой растениеводства, земледелия и агрохимии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; 160555, Российская Федерация, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: kulikova@list.ru; тел.: (8172) 52–57–30

Владимир Викторович Суров, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры растениеводства, земледелия и агрохимии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»; 160555, Российская Федерация, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: wladimirsurow@rambler.ru; тел.: (8172) 52–57–30

Information about the authors

Yulya S. Cheryatova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru

Anton I. Chudetsky, CSc (Ag), Associate Professor at Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; e-mail: chudetski@rgau-msha.ru

Elena I. Kulikova, CSc (Ag), Associate Professor, Head of the Department of Plant Growing, Agriculture and Agrochemistry, Vologda State Dairy Academy by N.V. Vereshchagin; 2 Schmidta st., Molochnoe, Vologda, Vologda Region, 160555, Russian Federation; phone: (8172) 52–57–30; e-mail: kulikova@list.ru

Vladimir V. Surov, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Plant Growing, Agriculture and Agrochemistry, Vologda State Dairy Academy by N.V. Vereshchagin; 2 Schmidta st., Molochnoe, Vologda, Vologda Region, 160555, Russian Federation; phone: (8172) 52–57–30; e-mail: wladimirsurow@rambler.ru

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

**Особенности органогенеза и оздоровления
клонового подвоя яблони от вирусов путем комплексной терапии *in vitro***

**Михаил Тарьевич Упадышев^{1✉}, Сергей Сергеевич Макаров¹,
Галина Юрьевна Упадышева²**

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

²Федеральный научный селекционно-технологический центр
садоводства и питомниководства, Москва, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: upad8@mail.ru

Аннотация

Основными методами оздоровления растений яблони от латентных вирусов являются термотерапия и хемотерапия. В зависимости от вида вируса применяемые методы оздоровления растений яблони могут быть различными и требуют совершенствования применительно к биологическим особенностям подвоя 62–396 и свойствам вирусов. Цель исследований – изучение особенностей оздоровления от основных вредоносных вирусов клонового подвоя яблони 62–396 с применением методов комплексной терапии *in vitro*. Оздоровление растений клонового подвоя яблони 62–396 от вирусов ACLSV, ArMV и ASGV проводили в 2021–2022 гг. с использованием противовирусных препаратов (АВП) рибавирина (эталон) 40 мг/л, фенолкарбоновой кислоты 30 мг/л и циклопентанона 2,5 мг/л при температуре воздуха +20 и +38°C. Термотерапию эксплантов при температуре +38°C проводили в условиях климатостата КС-200 СПУ на протяжении 3 месяцев. Магнитно-импульсную обработку (МИО) проводили аппаратом АМИС-8. При температуре +20°C установлена возможность использования АВП на протяжении 45 и 90 дней. При сочетании АВП с температурой +38°C на протяжении 45 дней отмечали относительно высокие параметры выживаемости эксплантов, тогда как увеличение длительности до 90 дней приводило к снижению выживаемости в 1,7 раза. Высокую выживаемость обеспечивало сочетание температуры +38°C и МИО (без АВП), температуры +38°C и фенолкарбоновой кислоты (81,3%). Среднюю выживаемость обеспечивало сочетание температуры +38°C + рибавирина, температуры +38°C + рибавирина + МИО, температуры +38°C + фенолкарбоновой кислоты + циклопентанона – 56,3%. Параметры роста у эксплантов подвоя яблони 62–396 зависели от вида АВП, температуры и МИО. Применение изученных АВП при температуре +20°C через 1,5 месяца культивирования приводило к снижению числа побегов в 2,1–3,2 раз по сравнению с контролем. Повышение температуры до +38°C во всех вариантах ингибировало образование побегов, приводя к снижению их числа в 2,9 раза в контроле, в 1,1–1,5 раза – в вариантах с АВП. Обработка импульсами магнитной индукции уменьшала ингибирующий эффект высокой температуры в контроле. Выход свободных от латентных вирусов эксплантов клонового подвоя яблони 62–396 *in vitro* с применением различных методов оздоровления составлял 50%. Низкий индекс зараженности вирусами (1,2 – для ACLSV и ASGV, 1,6 – для ArMV) отмечен при комплексной терапии с применением АВП (фенолкарбоновая кислота + циклопентанон), термо- и магнитотерапии.

Ключевые слова

Вирусы, оздоровление, *in vitro*, термотерапия, хемотерапия, магнитотерапия, яблоня, клоновый подвой

Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБНУ ФНЦ Садоводства № 0432–2021–0002, FG UW-2021–0004.

Для цитирования

Упадышев М.Т., Макаров С.С., Упадышева Г.Ю. Особенности органогенеза и оздоровления клонового подвоя яблони от вирусов путем комплексной терапии *in vitro* // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. Р. 93–107.

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BREEDING AND SEED PRODUCTION

Peculiarities of organogenesis and recovery of apple tree clonal rootstock from viruses using complex *in vitro* therapy

Mikhail T. Upadyshev^{1✉}, Sergey S. Makarov¹, Galina Yu. Upadysheva²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

²Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

✉Corresponding author: upad8@mail.ru

Abstract

The main methods of apple tree recovery from latent viruses are thermotherapy and chemotherapy. Depending on the type of virus, the applied methods of apple tree recovery can be different and require improvement in relation to the biological characteristics of the rootstock 62–396 and the properties of viruses. The aim of the research is to study the features of recovery from the main harmful viruses of the apple tree clonal rootstock 62–396 using the methods of complex *in vitro* therapy. The recovery of plants of apple tree clonal rootstock 62–396 from the ACLSV, ApMV and ASGV viruses was carried out in 2021–2022 using antiviral drugs (AVD) of ribavirin (standard) 40 mg/L, phenolcarboxylic acid 30 mg/L and cyclopentanone 2.5 mg/L at air temperatures +20°C and +38°C. Thermotherapy of explants at a temperature of +38°C was carried out in the KS-200 SPU climatostat for three months. Magnetic pulse processing (MPP) was carried out using the AMIS-8 device. At a temperature of +20°C, the possibility of using AVD for 45 and 90 days was established. The combination of AVD with a temperature of +38°C for 45 days resulted in relatively high parameters of explant survival rate, while increasing of duration to 90 days led to a 1.7-fold decrease in survival rate. The combination of temperature +38°C and MPP (without AVD), temperature +38°C and phenolcarboxylic acid provided a high survival rate of 81.3%. The combination of a temperature of +38°C and ribavirin, a temperature of +38°C and ribavirin plus MPP, a temperature of +38°C with phenolcarboxylic acid plus cyclopentanone provided an average survival rate of 56.3%. Growth parameters in apple rootstock 62–396 explants depended on the type of AVD, temperature, and MPP. Application of the studied AVD at a temperature of +20°C after 1.5 months of cultivation resulted in a 2.1–3.2-fold decrease in the number of shoots compared to the control. Increasing the temperature to +38°C inhibited the formation of shoots in all variants, leading to a 2.9-fold decrease in the number of shoots in the control, and a 1.1–1.5-fold decrease in the variants with AVD. Treatment with magnetic induction pulses reduced the inhibitory effect of high temperature in the control. The yield of latent virus-free explants of apple tree clonal rootstock 62–396 *in vitro* by different methods of rehabilitation was 50%. A low virus infection index (1.2 for ACLSV and ASGV, 1.6 for ApMV) was observed during the complex therapy using AVD (phenolcarboxylic acid + cyclopentanone), thermal and magnetic therapy.

Keywords

Viruses, recovery, *in vitro*, thermotherapy, chemotherapy, magnetotherapy, apple tree, clonal rootstock

Acknowledgements

The research was carried out as part of the state task of the Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery No. 0432–2021–0002, FGUW-2021–0004.

For citation.

Upadyshev M.T., Makarov S.S., Upadysheva G.Yu. Peculiarities of organogenesis and recovery of apple tree clonal rootstock from viruses using complex *in vitro* therapy. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 93–107.

Введение Introduction

В настоящее время актуальной задачей является расширение производства проверенного посадочного материала в селекционно-семеноводческих центрах путем его достоверной диагностики современными методами, применения оздоровительных мероприятий и ускоренного размножения, широкого внедрения системы сертификации посадочного материала и соблюдения организационно-агротехнических мероприятий [1, 2]. Федеральный закон «О семеноводстве» № 454 и подпрограмма «Развитие садоводства и питомниководства» на 2017–2030 гг. определяют необходимость производства оздоровленного посадочного материала садовых культур.

При получении посадочного материала яблони большое значение имеет тип подвоя. Для формирования компактных крон используют полукарликовые и карликовые подвои, однако выбор карликовых подвоев для средней и северной зон садоводства весьма ограничен. Одним из основных карликовых подвоев для указанных зон является подвой 62–396, характеризующийся древесиной средней прочности, высокой морозостойкостью корневой системы (–15...–16°C), хорошей способностью к размножению, скороплодностью привитых на нем деревьев [3, 4].

Клоновые подвои в связи с большими объемами размножения непроверенного посадочного материала характеризуются высокой зараженностью вирусами. Распространенность основных латентных вирусов на клоновых подвоях яблони варьировала от 24% до 39,1% [5–7]. Существенный вред на яблоне наносят вирусы хлоротической пятнистости листьев яблони, бороздчатости древесины яблони, ямчатости древесины яблони, мозаики яблони [8]. Указанные вирусы должны отсутствовать в посадочном материале категории «Проверенный» в соответствии с ГОСТ Р 59653–2021 «Материал посадочный плодовых и ягодных культур. Технические условия».

Основным методом оздоровления является суховоздушная термотерапия, к преимуществам которой относится возможность получения свободных от вирусов растений в течение одного вегетационного периода [9]. Однако суховоздушная термотерапия *ex situ* часто приводит к высокой гибели оздоравливаемых растений, характеризуется трудоемкостью и энергозатратностью, а в отношении некоторых сортов и вирусов – низким выходом здоровых растений [1, 6, 10, 11]. Альтернативой служит термотерапия *in vitro*, для которой применяют компактные термокамеры (термостаты, климатостаты) [12].

К преимуществам метода хемотерапии *in vitro* относятся возможность использования эксплантов величиной более 1 мм, сокращение времени оздоровления, высокий выход свободных от вредоносных вирусов растений [8]. Для хемотерапии исследователи часто использовали рибавирин. Рибавирин в концентрациях 25, 50 и 100 мг/л способствовал получению 60%, 91% и 100% соответственно регенерантов яблони сорта Jonagold, свободных от ACLSV. При сочетании термотерапии *in vitro* (+37°C в течение 3 недель) и рибавирина в концентрациях 50–100 мг/л достигалась полная элиминация ACLSV в растениях-регенерантах. Рибавирин в концентрациях

25–100 мг/л обеспечивал получение регенерантов яблони, свободных от ASGV, причем как в сочетании с термотерапией *in vitro*, так и без нее [13]. Вместе с тем эффективные концентрации антивирусных препаратов (АВП) способны существенно ингибировать ростовые процессы у эксплантов, что часто приводит к их гибели. Например, рибавирин в концентрациях 75–100 мг/л вызывал сильный (до 100%) некроз побегов яблони, тогда как уменьшение его концентрации до 50 мг/л снижало число некрозов до 5% и обеспечивало оздоровление от латентных вирусов при условии применения препарата на протяжении 3 субкультивирований [14].

Как альтернативу хемотерапии можно применять магнитную обработку. Использование магнитно-импульсной обработки исключает ингибирование ростовых процессов, повышает экологическую безопасность. Эффект зависит от вида вируса, частоты обработки и достигает 80–86% [15, 16].

В зависимости от вида вируса применяемые методы оздоровления растений яблони могут быть различными и требуют совершенствования применительно к биологическим особенностям подвоя 62–396 и свойствам конкретных вирусов.

Цель исследований: изучение особенностей оздоровления от основных вредоносных вирусов клонового подвоя яблони 62–396 с применением методов комплексной терапии *in vitro*.

Методика исследований

Research method

Тестирование и оздоровление растений клонового подвоя яблони 62–396 от вирусов ACLSV, ArMV и ASGV проводили в 2021–2022 гг. в соответствии с методическими указаниями [17]. Экспланты тестировали методом ИФА с использованием диагностических наборов фирмы “Loewe” (Германия). Результаты ИФА регистрировали на планшетном фотометре Stat Fax 2100 при длине волны 405 и 630 нм. Индекс зараженности вирусом определяли как отношение экстинкции образца к экстинкции серонегативного контроля. При индексе, равном 2,0 и более, образец считали зараженным вирусом.

В каждом варианте высаживали по 16 эксплантов (всего в опыте 192 экспланта) величиной 5–10 мм на питательную среду Мурасиге и Скуга с добавлением 6-бензиламинопурина 1 мг/л, антивирусных препаратов (АВП) рибавирина (эталон) 40 мг/л, фенолкарбоновой кислоты 30 мг/л и циклопентанона 2,5 мг/л. Контроль – без препарата. Изучение действия АВП на выживаемость эксплантов, ростовые параметры и выход свободных от вирусов эксплантов осуществляли при двух температурах воздуха: +20°C и +38°C. Термотерапию эксплантов при температуре +38°C проводили в условиях климатостата КС-200 СПУ на протяжении 3 месяцев. Магнитно-импульсную обработку проводили аппаратом АМИС-8 частотой 200 Гц.

После окончания терапии экспланты пересаживали на питательную среду Мурасиге-Скуга без антивирусных препаратов, содержащую 1 мг/л 6-БАП, и культивировали при температуре +20°C, освещенности 3000 лк и фотопериоде 16 ч.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

При оздоровлении растений клонового подвоя яблони 62–396 в процессе комплексной терапии путем сочетания термо-, хемо- и магнитотерапии *in vitro* установлено, что выживаемость эксплантов зависела от температуры, вида антивирусного препарата, магнитно-импульсной обработки и длительности культивирования (табл. 1).

Таблица 1

**Выживаемость эксплантов клонowego подвоя яблони 62–396
в процессе оздоровления от вирусов в зависимости от действия химических,
физических факторов и длительности культивирования на питательной среде, %**

Table 1

**Survival rate of explants of apple tree clonal rootstock 62–396 in the process
of recovery from viruses, depending on the action of chemical, physical factors
and the duration of cultivation on a nutrient medium, %**

Физические факторы культивирования	Антивирусный препарат							
	Рибавирин (эталон)		Фенолкарбоновая кислота		Фенолкарбоновая кислота + циклопентанон		Контроль (без препарата)	
	45*	90	45	90	45	90	45	90
Температура +20°C	81,3	68,8	87,5	68,8	93,8	62,5	100	75,0
Температура +38°C	56,3	18,8	81,3	12,5	56,3	12,5	18,8	0,0
Температура +38°C + + магнитно-импульсная обработка	56,3	0,0	50,0	18,8	37,5	6,3	81,3	12,5

*Примечание. 45 и 90 – число дней культивирования.

При температуре культивирования +20°C на питательных средах с антивирусными препаратами (АВП) в течение 45 дней отмечали высокую выживаемость эксплантов: от 81,3% на среде с рибавирином до 93,8% на среде, содержащей фенолкарбоновую кислоту + циклопентанон. В контроле при температуре +20°C выживаемость составляла 100%. Увеличение длительности культивирования до 90 дней приводило к снижению выживаемости на 12,5–31,3%. В контроле при культивировании в течение 90 дней сохранность эксплантов составила 75%. Гибель эксплантов происходила преимущественно по причине интоксикации тканей ввиду накопления в питательной среде продуктов жизнедеятельности растений.

Воздействие температурой +38°C в течение 45 дней по сравнению со стандартной температурой культивирования приводило к значительному снижению выживаемости при использовании рибавирина (на 25%), фенолкарбоновой кислоты + циклопентанона (на 37,5%). Исключение составил вариант с фенолкарбоновой кислотой, где снижение составило всего 6,2%. Следовательно, фенолкарбоновая кислота повышала устойчивость эксплантов к высокой температуре в связи с ее антистрессовым действием. В варианте без препарата высокая температура приводила к гибели 81,2% эксплантов. При культивировании эксплантов подвоя яблони при температуре +38°C в среднем отмечено снижение их выживаемости в 1,7 раза по сравнению с температурой +20°C.

Увеличение длительности культивирования до 90 дней при температуре +38°C приводило к полной гибели эксплантов в контроле, а выживаемость на средах с АВП была низкой и варьировала от 12,5% до 18,8%. В эксперименте иранских исследователей процент выживших микропобегов груши также зависел от продолжительности термообработки: через 55 дней выживаемость составляла 83,3%, через 70 дней – 33,3% [18].

Комплексное воздействие высокой температурой и магнитно-импульсной обработкой на среде без АВП обеспечило высокую выживаемость эксплантов в течение

45 дней (81,3%), однако при увеличении длительности культивирования до 90 дней выживаемость эксплантов в данном варианте снизилась до 12,5%. На фоне высокой температуры и МИО выживаемость эксплантов на средах с рибавирином и фенолкарбоновой кислотой составляла 56,3% и 50% соответственно, а на среде с фенолкарбоновой кислотой и циклопентаном была ниже (37,5%). Следовательно, оценка выживаемости эксплантов позволяет сделать заключение о возможности использования АВП при температуре культивирования +20°C на протяжении как 45, так и 90 дней. Увеличение длительности культивирования на средах с АВП может способствовать повышению выхода свободных от вирусов растений. При сочетании АВП с температурой +38°C культивирование эксплантов на протяжении 45 дней обеспечивает относительно высокие параметры выживаемости, тогда как увеличение длительности до 90 дней приводит к ее значительному снижению.

Высокую выживаемость обеспечивало сочетание температуры +38°C и МИО (без АВП) – 81,3%, температуры 38 °C и фенолкарбоновой кислоты (81,3%). Среднюю выживаемость обеспечивали температуры +38°C + рибавирина, температуры +38°C + рибавирина + МИО, температуры +38°C + фенолкарбоновой кислоты + циклопентанона (56,3%). В наших экспериментах на подвое груши Загорьевский выживаемость эксплантов через 90 суток культивирования на питательных средах с АВП при сочетании с МИО и температурой +38°C составила 81,3–87,5% [19].

Важным аспектом является изучение последствий химических и физических факторов на выживаемость эксплантов при последующих пересадках на питательную среду, не содержащую АВП, и при культивировании в стандартных условиях. После культивирования эксплантов на среде с рибавирином при температуре +20°C их сохранность после 1-й и 2-й пересадок составляла 43,8 и 50% соответственно, тогда как на средах с добавлением фенолкарбоновой кислоты, фенолкарбоновой кислоты + циклопентанона отмечена 100%-ная гибель эксплантов (табл. 2).

Таблица 2

Выживаемость эксплантов клонового подвоя яблони 62–396 в процессе оздоровления от вирусов после 1-й и 2-й пересадок на стандартную питательную среду в зависимости от последствий АВП и физических факторов культивирования, %

Table 2

Survival rate of explants of apple tree clonal rootstock 62–396 in the process of recovery from virus after the 1st and 2nd transplants to a standard nutrient medium, depending on the afteraction of AVD and physical factors of cultivation, %

Физические факторы культивирования	Антивирусный препарат							
	Рибавирин (эталон)		Фенолкарбоновая кислота		Фенолкарбоновая кислота + циклопентанон		Контроль (без препарата)	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2
Температура +20°C	43,8	50,0	7,7	0,0	0,0	0,0	93,8	46,7
Температура +38°C	85,7	72,2	0,0	0,0	83,3	78,6	0,0	0,0
Температура 38°C + магнитно-импульсная обработка	0,0	0,0	100	72,7	50,0	100	50,0	100

Примечание. 1*, 2** – соответственно 1-я и 2-я пересадки на стандартную питательную среду.

После термообработки высокой температурой при последующем культивировании в стандартных условиях отмечена высокая выживаемость эксплантов, культивировавшихся ранее на средах с рибавирином (72,2–85,7%), фенолкарбоновой кислотой + циклопентанолом (78,6–83,3%), тогда как применение одной фенолкарбоновой кислоты или среды без АВП (контроль) приводило к полной гибели эксплантов. При комплексной терапии путем сочетания высокой температуры, МИО и АВП наибольшая сохранность эксплантов после 2-й пересадки (72,7–100%) отмечена после введения в состав среды фенолкарбоновой кислоты, фенолкарбоновой кислоты и циклопентанола, а также в контроле (без АВП).

Следовательно, изучение последствий химических и физических факторов на сохранность эксплантов при последующих пассажах культивирования выявило преимущество использования сочетания следующих способов терапии: температура +38°C + рибавирин; температура +38°C + МИО; температура +38°C + МИО + фенолкарбоновая кислота; температура +38°C + МИО + фенолкарбоновая кислота + циклопентанол, обеспечивших выживаемость эксплантов от 72,7% до 100%. Температура +38°C в сочетании с рядом АВП (рибавирин, фенолкарбоновая кислота + циклопентанол) оказывала положительное последствие на выживаемость эксплантов при последующем культивировании, что предположительно может быть связано с синтезом антистрессовых соединений как ответной реакции растений на высокотемпературное воздействие.

Параметры роста у эксплантов подвоя яблони 62–396 зависели от вида АВП, температуры и МИО. Применение изученных АВП при температуре +20°C через 1,5 месяца культивирования приводило к снижению числа побегов в 2,1–3,2 раз по сравнению с контролем (табл. 3).

Таблица 3

Число побегов у эксплантов клонового подвоя яблони 62–396 в процессе оздоровления от вирусов в зависимости от действия химических и физических факторов через 1,5 месяца культивирования, шт.

Table 3

Number of shoots in explants of apple tree clonal rootstock 62–396 in the process of recovery from viruses, depending on the action of chemical and physical factors after 1.5 months of cultivation, pcs.

Физические факторы культивирования	Химический препарат, мг/л				Среднее
	Рибавирин (эталон)	Фенолкарбоновая кислота	Фенолкарбоновая кислота + циклопентанол	Контроль (без препарата)	
Температура +20°C	1,8 вг*	1,5 бвг	1,2 аб	3,8 д	2,1 б
Температура +38°C	1,4 абв	1,0 а	1,1 аб	1,3 аб	1,2 а
Температура +38°C + магнитно-импульсная обработка	1,2 аб	1,1 аб	1,3 аб	1,9 г	1,4 а
Среднее	1,5 а	1,2 а	1,2 а	2,3 б	

*Примечание. Разные буквы обозначают наличие существенных различий при 5%-м уровне значимости.

Повышение температуры до +38°C во всех вариантах ингибировало образование побегов, приводя к снижению их числа в 2,9 раза в контроле, в 1,1–1,5 раза – в вариантах с АВП. Дополнительная обработка импульсами магнитной индукции уменьшала ингибирующий эффект высокой температуры в контроле, но не влияла на число побегов в вариантах с АВП.

В отношении длины побегов в целом установлены аналогичные тенденции, как и по их числу. Наибольшую длину побегов экспланты клонового подвоя яблони формировали в контроле, наименьшую – при использовании АВП и температуры +38°C (табл. 4).

При температуре +20°C АВП ингибировали ростовые процессы у эксплантов. На фоне температуры +38°C МИО только в контроле способствовала увеличению длины побегов в 1,5 раза. Рибавирин оказывал меньший ингибирующий эффект в отношении ростовых процессов по сравнению с фенолкарбоновой кислотой.

После пересадки на среду без АВП экспланты подвоя 62–396 формировали побеги наибольшей длины в контроле и после культивирования на среде с рибавирином (рис. 1).

После комплексного воздействия температурой +38°C и АВП, температурой +38°C + АВП + МИО максимальная длина побегов отмечена после 1-й пересадки в варианте с добавлением фенолкарбоновой кислоты + циклопентанона.

Наибольшее число побегов экспланты подвоя яблони образовывали после использования среды с рибавирином (температура +20°C и +38°C), фенолкарбоновой кислоты и циклопентанона (температура +38°C, +38°C + МИО), в контроле (температура +38°C + МИО) (рис. 2).

Таблица 4

Длина побегов у эксплантов у клонового подвоя яблони 62–396 в процессе оздоровления от вирусов в зависимости от действия химических и физических факторов через 1,5 месяца культивирования, мм

Length of shoots in explants of apple tree clonal rootstock 62–396 in the process of recovery from viruses, depending on the action of chemical and physical factors after 1.5 months of cultivation, mm

Table 4

Физические факторы культивирования	Химический препарат, мг/л				Среднее
	Рибавирин (эталон)	Фенолкарбоновая кислота	Фенолкарбоновая кислота + циклопентанон	Контроль (без препарата)	
Температура +20°C	15,3 е	10,4 б-д	9,7 б-г	21,9 ж	14,3 б
Температура +38°C	12,6 д	6,6 а	10,7 вгд	8,0 аб	9,5 а
Температура +38°C + магнитно-импульсная обработка	9,4 бв	8,6 абв	9,1 абв	12,2 гд	9,8 а
Среднее	12,4 б	8,5 а	9,8 а	14,0 б	

***Примечание.** Разные буквы обозначают наличие существенных различий при 5%-м уровне значимости.

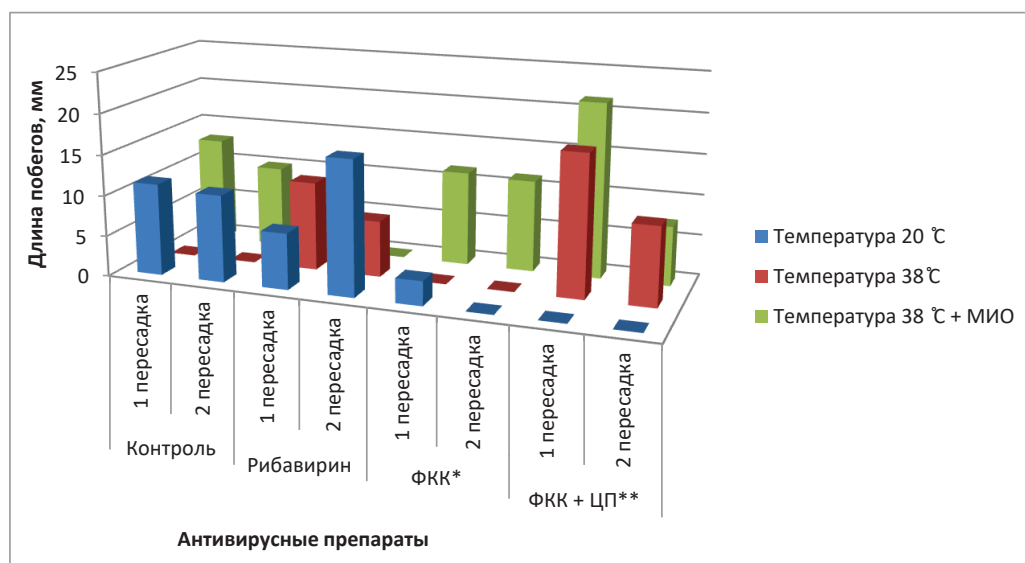


Рис. 1. Длина побегов у эксплантов подвоя 62–396 в зависимости от АВП, температуры, МИО после 1-й и 2-й пересадок на стандартную среду (*ФКК – фенолкарбоновая кислота; **ФКК + ЦП – фенолкарбоновая кислота + циклопентанон)

Figure 1. Length of shoots in explants of rootstock 62–396 depending on AVD, temperature, and MPP after the 1st and 2nd transplants to a standard medium (*PCA – phenol carboxylic acid; **PCA + CP – phenol carboxylic acid + cyclopentanone)

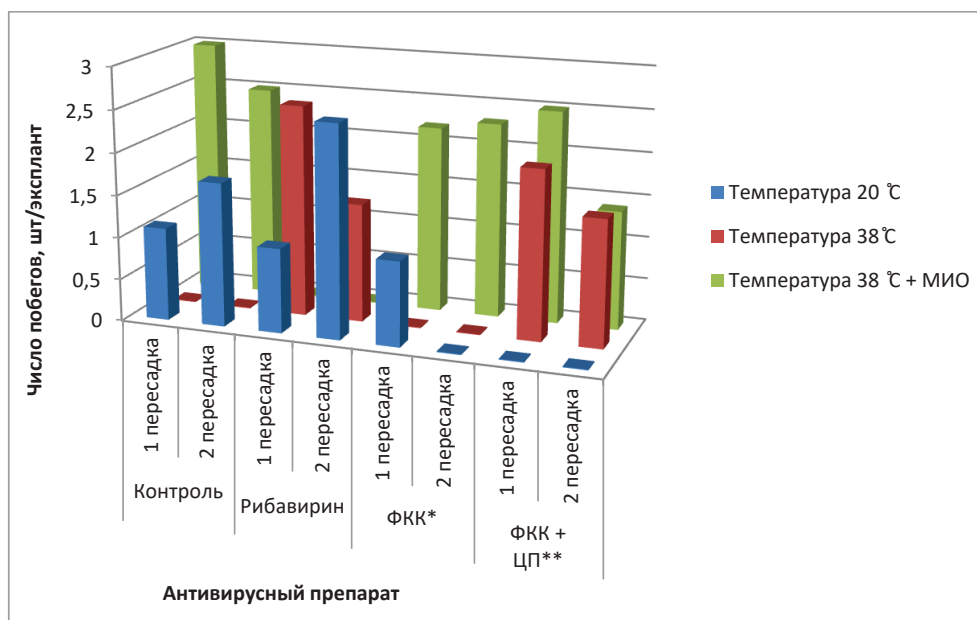


Рис. 2. Число побегов у эксплантов подвоя 62–396 в зависимости от АВП, температуры, МИО после 1-й и 2-й пересадок на стандартную среду (*ФКК – фенолкарбоновая кислота; **ФКК + ЦП – фенолкарбоновая кислота + циклопентанон)

Figure 2. The number of shoots in rootstock 62–396 explants depending on antiviral preparations, temperature, and MPP after the 1st and 2nd transplants to a standard medium (*PCA – phenol carboxylic acid; **PCA + CP – phenol carboxylic acid + cyclopentanone)

В экспериментах на груше были установлены аналогичные тенденции. Обработка эксплантов физическими и химическими факторами приводила к снижению числа побегов в 1,8–2,1 раз, их длины – в 1,6–2,3 раз по сравнению с вариантом без обработки [19].

Выход свободных от латентных вирусов эксплантов клонового подвоя яблони 62–396 *in vitro* с применением различных методов оздоровления составлял 50% (табл. 5).

Низкий индекс зараженности вирусами (1,2 для ACLSV и ASGV, 1,6 – для ApMV) отмечен при комплексной терапии с применением АВП (фенолкарбоновая кислота + циклопентанон), термо- и магнитотерапии.

В наших экспериментах на подвое груши выход свободных от вирусов эксплантов составил 71,4–100% [19]. В исследованиях иранских ученых выявлена высокая эффективность оздоровления груши от вирусов ApMV и ASPV (100%) при сочетании термо- и хемотерапии (рибавирин 10–20 мг/л) *in vitro* [18]. В Китае сочетание термотерапии (+36°C) и рибавирина (25 мг/л) обеспечило выход 95% свободных от латентных вирусов эксплантов яблони [20].

В Испании при оздоровлении 6 сортов яблони применение термотерапии (+40°C) *in vitro* с последующей изоляцией меристематических верхушек величиной 0,7–1,0 мм позволило получить 100% свободных от вируса ApMV и 57–100% свободных от вируса ACLSV растений [21].

Таблица 5

**Выход свободных от латентных вирусов эксплантов
клонового подвоя яблони 62–396 *in vitro* в зависимости от действия
химических и физических факторов**

Table 5

**Yield of latent virus-free explants of apple tree clonal rootstock 62–396 *in vitro*
depending on the action of chemical and physical factors**

Вариант	Число тестированных эксплантов, шт/выход свободных от вирусов эксплантов, %/индекс зараженности			
	ACLSV	ASGV	ApMV	Комплекс вирусов
Контроль (без обработки)	2/0,0/25,8	2/0,0/9,8	2/100/1,1	2/0,0/-
Рибавирин + термотерапия (эталон)	2/100/1,3	2/100/1,2	2/50,0/1,8	2/50,0/-
МИО + термотерапия	2/100/1,3	2/100/1,1	2/50,0/2,0	2/50,0/-
Фенолкарбоновая кислота + + циклопентанон + термотерапия	2/100/1,6	2/50,0/3,7	2/100/1,6	2/50,0/-
Фенолкарбоновая кислота + + циклопентанон + термотерапия + МИО	2/100/1,2	2/100/1,2	2/50,0/1,6	2/50,0/-

Следует отметить, что в контроле при высокой степени зараженности вирусами ACLSV и ASGV (индексы зараженности – 25,8 и 9,8 соответственно) вирус ArMV отсутствовал. В ряде опытных вариантов (рибавирин + термотерапия, МИО + термотерапия) при ингибировании вирусов ACLSV и ASGV отмечали увеличение концентрации вируса ArMV. Возможно, данный феномен связан с дивергенцией вирусов, когда при оздоровлении от одних вирусов в растениях происходит накопление других вирусов.

Выводы

Conclusions

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать выводы.

1. При температуре культивирования эксплантов +20°C установлена возможность использования АВП на протяжении как 45, так и 90 дней. При сочетании АВП с температурой +38°C культивирование эксплантов на протяжении 45 дней обеспечивало относительно высокие параметры выживаемости, тогда как увеличение длительности до 90 дней приводило к ее значительному снижению. Высокую выживаемость обеспечивало сочетание температуры +38°C и МИО (без АВП), температуры +38°C и фенолкарбоновой кислоты (81,3%); среднюю выживаемость – температуры +38°C + рибавирина, температуры +38°C + рибавирина + МИО, температуры +38°C + фенолкарбоновой кислоты + циклопентанона (56,3%).

2. Параметры роста у эксплантов подвоя яблони 62–396 зависели от вида АВП, температуры и МИО. Применение изученных АВП при температуре +20°C через 1,5 месяца культивирования приводило к снижению числа побегов в 2,1–3,2 раза по сравнению с контролем. Повышение температуры до +38°C во всех вариантах ингибировало образование побегов, приводя к снижению их числа в 2,9 раза в контроле, в 1,1–1,5 раза – в вариантах с АВП. Обработка импульсами магнитной индукции уменьшала ингибирующий эффект высокой температуры в контроле, но не влияла на число побегов в вариантах с АВП. Наибольшую длину побегов экспланты клонового подвоя яблони формировали в контроле, наименьшую – при использовании АВП и температуры +38°C.

3. Выход свободных от латентных вирусов эксплантов клонового подвоя яблони 62–396 *in vitro* с применением различных методов оздоровления составлял 50%. Низкий индекс зараженности вирусами (1,2 для ACLSV и ASGV, 1,6 – для ArMV) отмечен при комплексной терапии с применением АВП (фенолкарбоновая кислота + циклопентанон), термо- и магнитотерапии.

Список источников

1. Упадышев М.Т., Куликов И.М., Петрова А.Д. и др. *Современные методы оздоровления плодовых и ягодных культур от вредоносных вирусов*: Монография. Москва: ВСТИСП; Саратов: Амирит, 2019. 168 с. EDN: PSLDCG.

2. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Хамитов Р.С. и др. *Перспективы промышленного выращивания и биотехнологические методы размножения лесных ягодных растений*: Монография. Москва: Колос-с, 2023. 152 с. EDN: VGKYGZ.

3. Куликов И.М., Трунов Ю.В., Соловьев А.В. и др. *Основы инновационного развития питомниководства России*: Монография. Москва: ВСТИСП, 2018. 188 с. EDN: PDHTNR.

4. Стройкова В.Р., Сахаров А.О. Особенности цветения декоративных яблонь на территории РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Актуальные вопросы современной селекции, биотехнологии и ботаники: Всероссийская студенческая научно-практическая конференция*, г. Москва, 7-8 ноября 2024 г. Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. С. 173-175. EDN: SHKFZY.
5. Упадышев М.Т., Метлицкая К.В., Тихонова К.О. и др. Распространенность вирусных болезней плодовых и ягодных культур и современные методы борьбы с ними // *Живые и биокосные системы*. 2014. № 9. <https://www.jbks.ru/archive/issue-9/article-22>. EDN: VFYYDR.
6. Упадышев М.Т., Метлицкая К.В., Петрова А.Д. Распространенность вирусных болезней плодовых и ягодных культур // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2017. № 44 (2). С. 5-16. EDN: YGAET.
7. Упадышев М.Т., Петрова А.Д., Туть Е.А. Особенности биоэкологии вредоносных латентных вирусов в насаждениях яблони // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2021. Т. 64. С. 93-100. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2021-64-93-100>
8. Приходько Ю.Н., Магомедов У.Ш. *Вирусы семечковых и косточковых плодовых культур*: Монография. Воронеж: Научная книга, 2011. 468 с. EDN: QLCJHT.
9. Certification Scheme Fruit Plants Explanatory Guide to Top Fruit. Cydonia, Malus, Prunus, Pyrus Mother Trees Pre-basic, Basic 1, Basic 2 and Certified Categories. UK: Animal and Plant Health Agency, 2021. 10 p. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/985184/certification-scheme-top-fruit-mother-trees.pdf.
10. Li X.L., Li M.J., Zhou J., Wei Q.P., Zhang J.K. Anzucht von virusfreien Bäumen durch Wärmebehandlung und Faktoren, die den Erfolg der Virusfreimachung beeinflussen. *Erwerbs-Obstbau*. 2020;62:257-264. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00480-3>
11. Упадышев М.Т., Макаров С.С., Упадышева Г.Ю. Устойчивость яблони к высокотемпературному стрессу // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 1. С. 89-99. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-1-89-99>
12. Wang M.R., Cui Z.H., Li J.W. et al. In Vitro Thermo-therapy-based Methods for Plant Virus Eradication. *Plant Methods*. 2018;6(14):87. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0355-y>
13. Cieslinska M., Zavadzka B. Preliminary Results of Investigation on Elimination of Viruses from Apple, Pear and Raspberry Using Thermo-therapy and Chemotherapy In Vitro. *Phytopath. Pol.* 1999;17:41-48.
14. Romadanova N., Tolegen A., Koken T. et al. Chemotherapy of Apple Shoots In Vitro as Method of Viruses Eradication. *International Journal of Biology and Chemistry*. 2021;14(1):48-55. <https://doi.org/10.26577/ijbch.2021.v14.i1.04>
15. Донецких В.И., Упадышев М.Т., Петрова А.Д. и др. Применение препарата АМИС-8 при получении оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых культур // *Техника и оборудование для села*. 2017. № 1 (235). С. 16-22. EDN: XXRSNB.
16. Upadyshev M.T., Kulikov I.M., Donetskich V.I. et al. Magnetic-pulse Processing at Micropropagation and Cleaning Up of Fruit and Small Fruit Crops from Viruses. *Acta Horticulturae*. 2021;1324:105-110. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1324.16>
17. *Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур*: Методические указания / Сост. М.Т. Упадышев, К.В. Метлицкая, В.И. Донецких и др. Москва: Росинформагротех, 2013. 92 с. EDN: URHXNT.

18. Karimpour S., Davarynejad G., Zaki A.M., Safarnejad M.R. *In Vitro* Thermo-therapy and Thermo-chemotherapy Approaches to Eliminate Some Viruses in *Pyrus communis* L. cv. 'Natanz'. *J. Agr. Sci. Tech.* 2020;22(6):1645-1653.
19. Упадышев М.Т. Оздоровление клонового подвоя груши от вирусов методом комплексной терапии *in vitro* // *Аграрный научный журнал*. 2024. № 2. С. 55-61. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i2pp55-61>
20. Lizarraga A., Ascasiibar J., Gonzalez M.L. Fast and Effective Lizarraga A., Ascasiibar J., Gonzalez M.L. Fast and Effective Thermo-therapy Treatment for In Vitro Virus Elimination in Apple and Pear Trees. *American Journal of Plant Sciences*. 2017;8(10):2474-2482. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.810168>
21. Hu G.-J., Dong Y., Zhang Z. et al. Virus Elimination from *In Vitro* Apple by Thermo-therapy Combined with Chemotherapy. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2015;121. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0714-6>

References

1. Upadyshev M.T., Kulikov I.M., Petrova A.D. et al. *Modern methods of recovering fruit and small fruit crops from harmful viruses: a monograph*. Moscow, Russia: All-Russia Selection and Technological Institute of Horticulture and Nursery; Saratov, Russia: Amirit, 2019:168. (In Russ.)
2. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Khamitov R.S. et al. *Prospects for industrial cultivation and biotechnological methods of propagation of forest berry plants: a monograph*. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:152. (In Russ.)
3. Kulikov I.M., Trunov Yu.V., Soloviev A.V. et al. *Fundamentals of Innovative Development Nursery in Russia: a monograph*. Moscow, Russia: All-Russia Selection and Technological Institute of Horticulture and Nursery, 2018:188. (In Russ.)
4. Stroykova V.R., Sakharov A.O. Peculiarities of flowering ornamental apple trees on the territory of 'Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Vserossiyskaya studencheskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Aktualnye voprosy sovremennoy selektsii, biotekhnologii i botaniki'*. November 07-08, 2024. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2024:173-175. (In Russ.)
5. Upadyshev M.T., Metlitskaya K.V., Tikhonova K.O. et al. Prevalence of viral diseases of fruit and berry crops and modern methods of dealing with them. *Live and Bio-abiotic Systems*. 2014;9:22. (In Russ.) <https://www.jbks.ru/archive/issue-9/article-22>
6. Upadyshev M.T., Metlitskaya K.V., Petrova A.D. Prevalence of virus diseases of fruit and berry crops. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2017;44:5-16. (In Russ.)
7. Upadyshev M.T., Petrova A.D., Tut', E.A. Peculiarities of bioecology of harmful viruses in apple plants. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2021;64:93-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2021-64-93-100>
8. Prikhodko Yu.N., Magomedov U.Sh. *Viruses of Pome and Stone Fruit Crops: a monograph*. Voronezh, Russia: Nauchnaja kniga, 2011:468. (In Russ.)
9. *Certification Scheme Fruit Plants Explanatory Guide to Top Fruit. Cydonia, Malus, Prunus, Pyrus Mother Trees Pre-basic, Basic 1, Basic 2 and Certified Categories*. UK: Animal and Plant Health Agency, 2021:10. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/985184/certification-scheme-top-fruit-mother-trees.pdf

10. Li X.L., Li M.J., Zhou J., Wei Q.P., Zhang J.K. Anzucht von virusfreien Bäumen durch Wärmebehandlung und Faktoren, die den Erfolg der Virusfreimachung beeinflussen. *Erwerbs-Obstbau*. 2020;62:257-264. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00480-3>
11. Upadyshev M.T., Makarov S.S., Upadysheva G.Yu. Apple tree resistance to high temperature stress. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;1:89-99. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-1-89-99>
12. Wang M.R., Cui Z.H., Li J.W. et al. In Vitro Thermo-therapy-based Methods for Plant Virus Eradication. *Plant Methods*. 2018;6(14):87. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0355-y>
13. Cieslinska M., Zavadzka B. Preliminary Results of Investigation on Elimination of Viruses from Apple, Pear and Raspberry Using Thermo-therapy and Chemotherapy In Vitro. *Phytopath. Pol.* 1999;17:41-48.
14. Romadanova N., Tolegen A., Koken T. et al. Chemotherapy of Apple Shoots In Vitro as Method of Viruses Eradication. *International Journal of Biology and Chemistry*. 2021;14(1):48-55. <https://doi.org/10.26577/ijbch.2021.v14.i1.04>
15. Donetskikh V.I., Upadyshev M.T., Petrova A.D. et al. Application of amis-8 apparatus to combat viruses when preparing planting stock of fruit crops. *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2017;1:16-22. (In Russ.)
16. Upadyshev M.T., Kulikov I.M., Donetskikh V.I. et al. Magnetic-pulse Processing at Micropropagation and Cleaning Up of Fruit and Small Fruit Crops from Viruses. *Acta Horticulturae*. 2021;1324:105-110. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1324.16>
17. Upadyshev M.T., Metlitskaya K.V., Donetskikh V.I. et al. *Technology of obtaining planting material of fruit and small fruit crops healed from viruses: methodological guidelines*. Moscow, Russia: Rosinformagrotech, 2013:92. (In Russ.)
18. Karimpour S., Davarynejad G., Zaki A.M., Safarnejad M.R. In Vitro Thermo-therapy and Thermo-chemotherapy Approaches to Eliminate Some Viruses in *Pyrus communis* L. cv. 'Natanz'. *J. Agr. Sci. Tech.* 2020;22(6):1645-1653.
19. Upadyshev M.T. Recovery of pear clonal rootstock from viruses using complex in vitro therapy. *The Agrarian Scientific Journal*. 2024;2:55-61. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i2pp55-61>
20. Lizarraga A., Ascasiibar J., Gonzalez M.L. Fast and Effective Lizarraga A., Ascasiibar J., Gonzalez M.L. Fast and Effective Thermo-therapy Treatment for In Vitro Virus Elimination in Apple and Pear Trees. *American Journal of Plant Sciences*. 2017;8(10):2474-2482. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.810168>
21. Hu G.-J., Dong Y., Zhang Z. et al. Virus Elimination from In Vitro Apple by Thermo-therapy Combined with Chemotherapy. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2015;121. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0714-6>

Сведения об авторах

Михаил Тарьевич Упадышев, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, профессор кафедры биотехнологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–40–72; e-mail: upad8@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1069-3771>

Сергей Сергеевич Макаров, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550,

Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–49–06; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Галина Юрьевна Упадышева, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом агротехнологий в садоводстве, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства»; 115598, Российская Федерация, г. Москва, ул. Загорьевская, 4; тел.: (495) 329–34–11; e-mail: upad64@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9547-9178>

Information about the authors

Mikhail T. Upadyshev, DSc (Ag), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor at the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–40–72; e-mail: upad8@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1069-3771>

Sergey S. Makarov, DSc (Ag), Head of the Department of Ornamental Horticulture and Turfgrass Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–49–06; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

Galina Yu. Upadysheva, CSc (Ag), Head of the Department of Agricultural Technologies in Horticulture, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery; 4 Zagoryevskaya st., Moscow, 115598, Russian Federation; phone: (495) 329–34–11; e-mail: upad64@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9547-9178>

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

**Агрессивные изоляты *Fusarium spp.* на овощных культурах Московской области:
видовой состав и фитотоксичность**

**Анастасия Васильевна Вишнякова^{1✉}, Михаил Алексеевич Никитин¹,
Анастасия Алексеевна Александрова¹, Любовь Михайловна Соколова²**

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

²Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –
филиал Федерального научного центра овощеводства, Московская область, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Аннотация

В связи с потеплением климата заболевания, вызванные возбудителями *Fusarium spp.*, становятся более вредоносными для овощных культур. Наиболее эффективным способом борьбы с данными заболеваниями считается создание устойчивых сортов и гибридов. Одним из путей, обеспечивающих целенаправленное ведение селекции на устойчивость, является выделение местных изолятов и штаммов возбудителей заболеваний. Ранее на овощных культурах в Московской области были выделены более 120 изолятов *Fusarium*, у которых были изучены патогенность и агрессивность. Среди них выбрано 9, наиболее агрессивных, собранных с пораженных растений моркови, свеклы, гороха, капусты, огурца, томата. Цель работы – определить видовую принадлежность и дать характеристику токсикогенных свойств агрессивных изолятов фузариоза овощных культур. Определение видов *Fusarium* производили по морфологическим признакам и посредством молекулярно-генетического анализа. Токсикогенные свойства изучали при проращивании семян редьки Тамбовчанка на фильтратах культуральной жидкости изучаемых изолятов. В результате исследований показано, что все изученные изоляты представлены видом *Fusarium oxysporum*, дополнительно в трех изолятах обнаружен *Fusarium equiseti*, а еще в четырех – *Fusarium equiseti* и *Fusarium poae*. Таким образом, агрессивные изоляты фузариоза представлены преимущественно смесью видов *Fusarium*. Показано, что агрессивные изоляты фузариума значительно различаются по фитотоксической активности. Высокой фитотоксичностью обладали как изоляты, представленные одним видом (№ 12, № 54), так и изоляты, представленные двумя видами (№ 10, № 16). Слабой фитотоксичностью характеризовался изолят № 13, представленный смесью видов *Fusarium oxysporum* и *Fusarium equiseti*. Все изоляты (№ 19, № 26, № 30, № 53), представленные тремя видами *Fusarium*, проявляли умеренную токсичность.

Ключевые слова

Фузариоз, фузариозное увядание, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium poae*, фитотоксичность, молекулярные маркеры

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 23–76–01085, <https://rscf.ru/project/23–76–01085/>)

Для цитирования:

Вишнякова А.В., Никитин М.А., Александрова А.А., Соколова Л.М. Агрессивные изоляты *Fusarium spp.* на овощных культурах Московской области: видовой состав и фитотоксичность // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 108–123.

**Aggressive *Fusarium* spp. isolates on vegetables in the Moscow Region:
species composition and phytotoxicity**

**Anastasia V. Vishnyakova¹✉, Mikhail A. Nikitin¹,
Anastasia A. Aleksandrova¹, Lyubov M. Sokolova²**

¹Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

²All-Russian Research Institute of Vegetable Crop Production –
Branch of Federal Scientific Center of Vegetable Crop Production, Moscow Region, Russia

✉ **Corresponding author:** a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Abstract

As a result of global warming, diseases caused by *Fusarium* spp. pathogens are becoming increasingly harmful to vegetable crops. An effective way to control these diseases is to breed resistant varieties and hybrids. It is of paramount importance to obtain local pathogen isolates and strains for breeding efforts. In a previous study, over 120 *Fusarium* isolates were obtained from vegetable crops in the Moscow Region and their pathogenicity and aggressiveness were studied. Among them, nine of the most aggressive isolates collected from infected plants of carrot, beet, pea, cabbage, cucumber, and tomato were selected. The aim of the study was to determine the species identification and characterize the toxicogenic properties of aggressive *Fusarium* isolates affecting vegetable crops. The *Fusarium* species were identified by a combination of morphological features and molecular genetic analysis. Toxicogenic properties were studied by germination of Tambovchanka radish seeds on filtrates of culture liquids of the studied isolates. As a result of the research, it is shown that all studied isolates belong to the *Fusarium oxysporum* species. In addition, *Fusarium equiseti* was found in three isolates, and both *Fusarium equiseti* and *Fusarium poae* were identified in four others. Thus, aggressive *Fusarium* isolates are predominantly represented by a mixture of *Fusarium* species. Aggressive *Fusarium* isolates were shown to differ significantly in phytotoxic activity. Both isolates represented by one species (No. 12, No. 54) and isolates represented by two species (No. 10, No. 16) had high phytotoxicity. Isolate No. 13, represented by a mixture of *Fusarium oxysporum* and *Fusarium equiseti* species, was characterized by low phytotoxicity. All isolates (No. 19, 26, 30 and 53) represented by the three *Fusarium* species showed moderate toxicity.

Keywords

Fusarium, *Fusarium* wilt, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium poae*, phytotoxicity, molecular markers

Acknowledgments

The research was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 23–76–01085, <https://rscf.ru/project/23–76–01085/>).

For citation

Vishnyakova A.V., Nikitin M.A., Aleksandrova A.A., Sokolova L.M. Aggressive *Fusarium* spp. isolates on vegetables in the Moscow Region: species composition and phytotoxicity. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 108–123.

Введение Introduction

Род *Fusarium* (Ascomycota: Nectriaceae, сумчатая стадия – Giberella) включает в себя ряд видов-возбудителей заболеваний сельскохозяйственных культур, которые вызывают значительные потери урожая при выращивании и хранении [12]. Наиболее распространенными видами, поражающими овощные культуры, являются *Fusarium oxysporum* (Schlecht.) Snyd. et Hans., *Fusarium avenaceum* Fr. Sacc., *Fusarium solani* (Mart.) Appel. et Wollenw., *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc [5]. Методы защиты растений от фузариозного увядания являются преимущественно превентивными и включают в себя обработку семян, использование микробиологических препаратов [24], которые снижают потери урожая, но не защищают посевы полностью. Наиболее эффективным способом борьбы с заболеванием считается создание устойчивых сортов и гибридов [2].

Селекция на устойчивость к заболеваниям – одно из сложных направлений селекции, что обусловлено нестабильностью устойчивости, которая может быть потеряна в результате появления новых рас, штаммов, изолятов, и необходимостью прослеживания взаимодействия двух биологических систем (сельскохозяйственной культуры и патогена) [16]. Один из путей, обеспечивающих целенаправленное ведение селекции на устойчивость, – это выделение местных изолятов и штаммов возбудителей болезней. Из одного образца (к примеру, семян) можно выделить 10–15 разных видов грибов рода *Fusarium*, однако для каждой местности характерно доминирование только 1–4 видов, что определяется природно-климатическими особенностями региона, а распространенность видов зависит от ежегодных метеорологических флуктуаций [3].

В настоящее время фузариоз выходит на первый план среди наиболее вредоносных болезней на овощных культурах [5]. Это заболевание наносит серьезный ущерб при возделывании моркови, свеклы, капусты и т.д. *Fusarium* поражает растения от всходов до хранения урожая, вызывает фузариозное увядание, гниль корнеплодов и плодов. Симптомы могут как проявляться в поле в период вегетации, так и оставаться в латентной форме и вызывать гнили во время хранения корнеплодов. В связи с этим остро стоит вопрос о выделении местных изолятов рода *Fusarium spp.* с овощных культур, с которыми ведется селекционная работа, а также изучение наиболее агрессивных изолятов.

Цель исследований: определить видовой состав агрессивных изолятов *Fusarium* и изучить их токсикогенные свойства.

Методика исследований Research method

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Охарактеризовать видовой состав агрессивных изолятов фузариоза, выделенных с овощных культур в Московской области.
2. Изучить токсикогенные свойства агрессивных изолятов фузариоза, определить изоляты с высокой фитотоксичностью.

Изоляты патогенов рода *Fusarium* были выделены с 2014 по 2022 гг. с пораженных растений моркови, свеклы, гороха, капусты, огурца, томата [5, 9] с полей, расположенных на экспериментальной базе ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦ Овощеводства (Московская область, Раменский район). Структура почвы – аллювиально-луговая, среднесуглинистая. Поля расположены в центральной части поймы

р. Москва Быковского расширения. За годы исследований было выделено более 120 изолятов с разных овощных культур. Определение агрессивности производили с использованием чистой культуры патогена следующими методами: на моркови и свекле столовой использовали инокуляцию фрагментов корнеплодов; на томатах, огурце, капусте применяли метод травмирования корешков с последующей напиткой суспензией спор патогенов. По результатам предварительного исследования были выделены 9 наиболее агрессивных изолятов, которые изучены в данных исследованиях.

Предварительную идентификацию видовой принадлежности изолятов проводили по морфологическим признакам и определителю [4] с использованием цифрового микроскопа «Биомед-6» с фотонасадкой (используемая программа для фиксации – «ScorePhoto-510»), искомое увеличение мицелия – 10/0.25, рабочее увеличение – 40/0.65.

Для выделения ДНК отбирали активно растущий мицелий чистой культуры из 3–5 точек в чашке Петри. Мицелий измельчали шариками в гомогенизаторе TissueLyser II (Retsch, Германия) с предварительной заморозкой жидким азотом. ДНК выделяли СТАБ-методом [19] с модификациями в виде использования 2% СТАБ. ДНК оценивали на спектрофотометре NanoPhotometer P 330 (Implen, Германия). Для проведения ПЦР реакции концентрацию ДНК доводили до 60 нг/мкл.

ПЦР реакцию проводили в объеме 10 мкл со следующим составом реакционной смеси: 1 мкл 10X Taq Turbo буфер с MgCl₂ (Евроген, Россия); 0,4 мкл раствора нуклеотидов (dNTP, Евроген, Россия); 0,1 мкл HS Taq ДНК-полимераза (Евроген, Россия); 0,4 мкл каждого праймера (табл. 1); 6,8 мкл стерильной дистиллированной воды и 1 мкл ДНК-матрицы. Амплификацию проводили на амплификаторе T100 Thermal Cycler. Продукты амплификации разделяли электрофорезом в 1,5%-ном агарозном геле. Визуализировали в проходящем УФ-свете трансиллюминатора при окрашивании ДНК флуоресцирующим красителем GelRed.

Токсикогенные свойства изолятов определяли проращиванием семян на фильтровальной бумаге, пропитанной фильтратом культуральной жидкости [1, 6]. Фильтрат культуральной жидкости (ф.к.ж.) получали путем выращивания изолятов гриба в колбах 300 мл в 100 мл питательной среды. Для получения ф.к.ж. в каждую колбу вносили кусочек агара с мицелием размером 0,5×0,5 см, содержащего около 10⁸ конидий гриба. Колбы помещали в термостат и инкубировали при температуре +25°C в течение 30 дней при регулярном взбалтывании на качалке. Вырастившую суспензию (мутная жидкость со специфическим запахом) фильтровали через 4 слоя марлевого отреза, после чего автоклавировали.

На первоначальном этапе работы для проращивания семян на ф.к.ж. осуществляли подбор концентраций от 35%, 50%, 75% до 100%. В качестве контрольного варианта было проращивание семян на фильтровальной бумаге, пропитанной стерильной дистиллированной водой. Семена стерилизовали в 3%-ном гипохлорите натрия в течение 10 мин, промывали трижды в стерильной дистиллированной воде и раскладывали в чашки Петри на стерильную фильтровальную бумагу, пропитанную ф.к.ж. в соответствующей концентрации. Учеты проводили на 7 день после инокуляции. Отмечали всхожесть семян, длину проростка, длину главного корня, отношение длины главного корня в опытном варианте к контрольному. Для оценки токсичности ф.к.ж. использовали шкалу Коломиец и др. [1]: если длина проростков и корней, мм, в экспериментальном варианте составляла 0–30% от длины в контроле, то это свидетельствовало о сильной токсической (Т) активности гриба; 31–50% – умеренная токсичность (УТ); 51–70% – слабая токсичность (СТ); 71–100% – нетоксичность (НТ) изолятов.

Таблица 1

Видоспецифичные праймеры для идентификации видов *Fusarium*

Table 1

Species-specific primers for the identification of *Fusarium* species

Видовая принадлежность <i>Fusarium</i>	Название праймеров	Сиквенс олигонуклеотида 5'- 3'	Ожидаемый размер ампликона	Условия амплификации	
F. culmorum	175F	TTT TAGT GGA ACTT CTG AGT AT	245 bp	+95°C, 1 мин; 25 циклов: +94°C – 1 мин, +52°C – 30 с, +72°C – 1 мин; +72°C – 7 мин [18]	
	430R	AGT GCAGC AGG ACT GCAGC			
F. sambucinum	FSF1	ACATACCTTTATGTTGCCTCG	315 bp		
	FSR1	GGAGTGT CAGACGACAGCT			
F. oxysporum	FO1	ACATACCACTTGTTCCTCG	340 bp		
	FO2	CGCCAATCAATTTGAGGAACG			
F. equiseti	FEF1	CATACCTATACGTTGCCTCG	389 bp		
	FER1	TTACCAGTAACGAGGTGTATG			
F. avenaceum	FAF1	AACATACCTTAATGTTGCCTCGG	314 bp		
	FAR	ATCCCCAACACCAAACCCGAG			
F. graminearum	Fg16NF	ACAGATGACAAGATTCAGGCACA	280 bp	+95°C – 5 мин; 5 циклов: +95°C – 30 с, +66°C – 30 с; +72°C – 30 с; 5 циклов: + 95°C – 30 с, + 64°C – 30 с, +72°C – 30 с, 25 циклов: +95°C – 30 с, +62°C – 30 с, + 72°C – 30 с; + 72°C – 8 мин [18]	
	Fg16NR	TTCTTTGACATCTGTTCAACCCA			
F. culmorum	Fc01F	ATGGTGA ACTCGTCGTGGC	570 bp		
	Fc01R	CCCTTCTTACGCCAATCTCG			
F. poae	Fp82F	CAAGCAAACAGGCTCTTCACC	220 bp		+95°C – 3 мин; 38 циклов +95°C – 30 с, +62°C – 30 с, + 72°C – 30 с; +72°C – 8 мин [15]
	Fp82R	TGTTCCACCTCAGTGACAGGTT			
F. sporotrichioides	FsplTS2K	CTTGGTGTGGGATCTGTGTGCAA	288 bp		+95°C – 5 мин; 40 циклов: +95°C – 30 с, +68°C – 30 с, +72°C – 50 с, +72°C – 8 мин [15]
	P28SL	ACAAATTACA ACTCGGGCCCGAGA			

В результате проведенных исследований выявлено, что при проращивании семян на ф.к.ж. гриба рода *Fusarium spp.* на ф.к.ж. в концентрации 75% всхожесть семян существенно снижалась, а при использовании ф.к.ж. без разбавления прорастания семян не наблюдали. При проращивании семян на ф.к.ж. в концентрации 35% существенных различий по отношению к контролю не выявлено. При проращивании семян на 50%-ном ф.к.ж. наблюдали существенное ингибирование прорастания и изменение длины корешка.

Статистическую обработку экспериментальных данных производили на персональном компьютере с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2019. Существенность различий определяли с использованием критерия Фишера на уровне значимости $P = 0,05$. При наличии существенной разницы между вариантами эксперимента рассчитывали наименьшую существенную разность (НСР) с использованием критерия Стьюдента на уровне значимости $P = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В результате предварительных исследований с образцов вначале выделяли изоляты, определяли их агрессивность, а потом по результатам фитопатологической работы получали чистую культуру с наиболее агрессивных изолятов.

Морфологическая характеристика наиболее агрессивных изолятов рода *Fusarium*, выделенных с овощных культур, представлена в таблицах 2, 3.

Из данных таблиц 2, 3 следует, что все изоляты отличаются по культурально-морфологическим признакам и соответствуют видам рода *Fusarium*.

Молекулярно-генетический анализ проведен с использованием видоспецифичных маркеров, апробированных в работах других авторов [15, 18]. В таблице 4 представлены сводные данные ПЦР-анализа изолятов *Fusarium* с видоспецифичными молекулярными маркерами.

По результатам ПЦР-анализа (табл. 4) определено наличие во всех изученных изолятах маркера на *F. oxysporum*. В изолятах № 10, № 13, № 16, кроме маркера *F. oxysporum*, обнаружен маркер *F. equiseti* (рис. 1). В изолятах № 19, № 26, № 30, № 53, кроме *F. oxysporum*, присутствует примесь *F. equiseti* (рис. 1) и *F. poae* (рис. 2).

Токсикогенные свойства изолятов изучали, используя фильтрат культуральной жидкости (ф.к.ж.) в концентрации 50% на семенах редьки Тамбовчанка (табл. 5).

При проращивании семян редьки Тамбовчанка наблюдали некоторое снижение всхожести семян при проращивании на 50% ф.к.ж. по сравнению с контрольным вариантом (табл. 5). Длина проростков существенно уменьшилась по сравнению с контрольным вариантом при проращивании семян на ф.к.ж. всех изолятов, кроме № 13 (рис. 3), существенное сокращение длины корня наблюдали во всех вариантах. По результатам соотношения длины корня в контрольном варианте с длиной корней при проращивании на ф.к.ж. изолят № 13 идентифицирован как слаботоксичный. Высокую токсичность для образца Тамбовчанка имели изоляты № 10, № 12, № 16 (рис. 4) и № 54. Умеренной токсичностью характеризовались изоляты № 19, № 26, № 30, № 53.

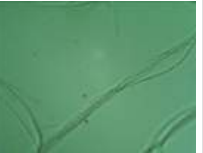
Таблица 2
Описание агрессивных изолятов рода *Fusarium*, выделенных с пораженных растений капусты белокочанной, свеклы столовой, огурца и томата

Table 2 Description of aggressive isolates of the genus <i>Fusarium</i> isolated from infected plants of white cabbage, red beet, cucumber, and tomato					
Признак	Изолят 10 – Капуста лист	Изолят 12 – Свекла, корнеплод с хранения	Изолят 13 – Капуста с корневой системы	Изолят 16 – Огурец с корневой системы	Изолят 19 – Томат с корневой системы
Цвет мицелия	Бело-серый	Бело-серый	Серый	Бело-серый	Белый
Край мицелия	Ровные	Неровные	Ровные	Ровные	Ровный
Поверхность мицелия	Ровная	Крупа́ная, неоднородная	Ровная	Бугристая, неоднородная	Ровная
Профиль мицелия	Пушистый	Войлочный	Пушистый	Пушистый	Пушистый
Реверс	Белый	Белый	Белый	Бело-серый	Белый
Структура колонии	Однородная	Неоднородная	Однородная	Однородная	Однородная
Форма конидий	Серповидные	Овальные	Серповидные	Овально-серповидные	Овально-серповидные
Размер конидий	9–10 мкм	2–4 мкм	10–16 мкм	4–11 мкм	8–10 мкм
Число перегородок у конидии, шт.	От 2 до 8	От 1 до 3	От 3 до 8	От 4 до 8	От 3 до 12
Фото мицелия					
Фото макро- и микроконидий					

**Описание агрессивных изолятов рода *Fusarium*, выделенных
с моркови и овощного гороха**

Table 3

**Description of aggressive isolates of the genus *Fusarium* isolated
from infected plants of carrot and peas**

Признак	Изолят 26 – Морковь с листьев	Изолят 30 – Морковь с корнеплода во время хранения	Изолят 53 – Горох с корневой системы	Изолят 54 – Горох с бобов
Цвет мицелия	Бело-серый	Белый	Серый	Белый
Край мицелия	Неровные	Ровный	Неровный	Неровные
Поверхность мицелия	Неоднородная	Ровная	Пористая	Неоднородная, точечная
Профиль мицелия	Очень пушистый	Войлочный (плотный)	Опушенный	Войлочный (тугой)
Реверс	Белый	Белый	Белый	Белый
Структура колонии	Однородная	Однородная	Однородная	Неоднородная
Форма конидий	Овально- серповидные	Овальный	Овально- серповидные	Овальные
Размер конидий	2–11 мкм	8–10 мкм	3–9 мкм	2–4 мкм
Число перегородок у конидии, шт.	От 2 до 8	От 2 до 6	От 2 до 4	От 1 до 3
Фото мицелия				
Фото макро и микроконидий				

Результаты ПЦР-анализа с видоспецифичными маркерами в изолятах *Fusarium*

Table 4

Results of the PCR analysis of *Fusarium* isolates using species-specific markers

Вид фузариума	№ изолята и происхождение								
	10 Капуста лист	12 Свекла корнеплод	13 Капуста с корневой системы	16 Огурец с корневой системы	19 Томат с корневой системы	26 Морковь с листьев	30 Морковь корнеплода	53 Горох с корневой системы	54 Горох с бобов
<i>F. oxysporum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>F. culmorum</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>F. sambucinum</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>F. equiseti</i>	+	–	+	+	+	+	+	+	–
<i>F. avenaceum</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>F. graminearum</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>F. poae</i>	–	–	–	–	+	+	+	+	–
<i>F. sporotrichioides</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–

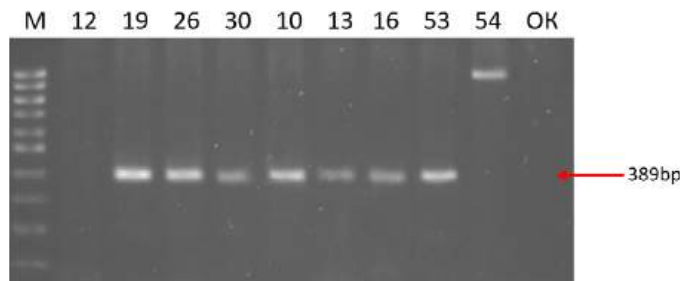


Рис. 1. Результаты амплификации с праймерами FEF1-FER1 на *F. equiseti*, длина целевого фрагмента – 389 bp.:

М – маркер молекулярного веса 100 bp.; номера изолята: 12 – свекла; 19 – томат; 26 – морковь; 30 – морковь; 10 – капуста белокочанная (лист); 13 – капуста белокочанная (корневая система); 16 – огурец; 53 – горох (корневая система); 54 – горох (бобы); ОК – отрицательный контроль

Figure 1. Results of amplification with primers FEF1 – FER1 on *F. equiseti*, target fragment length is 389bp.:

М – molecular weight marker, 100bp.; isolate numbers: 12 – red beet; 19 – tomato; 26 – carrot; 30 – carrot; 10 – white cabbage (leaf); 13 – white cabbage (root system); 16 – cucumber; 53 – pea (root system); 54 – pea (beans); ОК – negative control

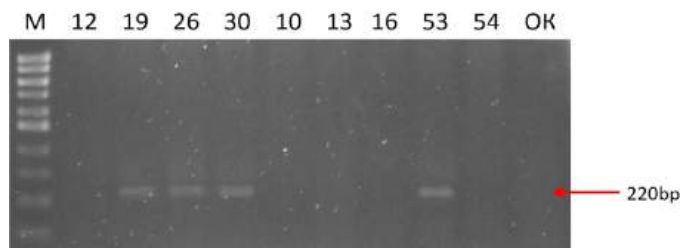


Рис. 2. Результаты амплификации с праймерами Fp82F-Fp82R на *F. poae*, длина ожидаемого фрагмента – 220 бп.:

М – маркер молекулярного веса 100 бп.; номера изолятов: 12 – свекла; 19 – томат; 26 – морковь; 30 – морковь; 10 – капуста белокочанная (лист); 13 – капуста белокочанная (корневая система); 16 – огурец; 53 – горох (корневая система); 54 – горох (бобы); ОК – отрицательный контроль

Figure 2. Results of amplification with primers Fp82F – Fp82R on *F. poae*, target fragment length is 220bp.:

М – molecular weight marker, 100bp.; isolate numbers: 12 – red beet; 19 – tomato; 26 – carrot; 30 – carrot; 10 – white cabbage (leaf); 13 – white cabbage (root system); 16 – cucumber; 53 – pea (root system); 54 – pea (beans); ОК – negative control

Таблица 5

Характеристика токсикогенной активности штаммов *Fusarium* при проращении семян редьки Тамбовчанка

Table 5

Characterization of toxicogenic activity of *Fusarium* strains during germination of Tambovchanka radish seeds

№ изолята	Всхожесть семян, %	Средняя длина побега, см	Средняя длина корня, см	Отношение длины побега к контролю, %	Отношение длины корня к контролю, %	Степень токсичности
Вода (контроль)	93	3,1±1,2	5,0±2,9	–	–	–
№ 10 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i>	70	1,1±0,4*	1,0±0,8*	35,0	19,7	Т
№ 12 <i>F. oxysporum</i>	70	0,8±0,3*	0,4±0,1*	25,4	7,3	Т
№ 13 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i>	90	3,1±1,0	3,1±0,8*	97,7	61,6	СТ
№ 16 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i>	55	1,1±0,4*	0,9±0,6*	34,4	17,8	Т
№ 19 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	90	2,1±1,9*	2,2±1,2*	68,2	44,0	УТ
№ 26 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	90	1,5±0,6*	2,1±1,0*	47,7	41,7	УТ
№ 30 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	70	1,4±0,7*	1,8±0,7*	44,0	37,1	УТ
№ 53 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	85	1,9±1,1*	2,0±1,2*	61,6	39,9	УТ
№ 54 <i>F. oxysporum</i>	55	0,7±0,3*	0,3±0,2*	23,7	7,0	Т
НСР	–	0,7	1,2	–	–	–

*Статистически значимые различия по сравнению с контролем на уровне значимости P=0.05.



Рис. 3. Проростки редьки Тамбовчанка при проращивании в воде (сверху) и на ф.к.ж. слаботоксичного изолята № 13 (снизу)

Figure. 3. Tambovchanka radish seedlings when germinated in water (top) and on culture liquid filtrate of weakly toxic isolate No. 13 (bottom)



Рис. 4. Проростки редьки Тамбовчанка при проращивании в воде (сверху) и на ф.к.ж. сильнотоксичного изолята № 16 (снизу)

Figure. 4. Tambovchanka radish seedlings when germinated in water (top) and on culture liquid filtrate of strong toxic isolate No 16 (bottom)

Т. Тилахун с соавт. (2024) отмечает, что кроме изменчивости под влиянием генетических и экологических факторов, даже изоляты одного вида, выделенные в пределах одной географической зоны, могут иметь разные морфологические характеристики, поэтому подтверждение видовой принадлежности с молекулярно-генетических методов является неотъемлемой частью современных исследований [22]. В наших исследованиях идентификация видов *Fusarium* в агрессивных изолятах, выделенных с овощных культур с помощью цитологических и молекулярно-генетических методов, показала, что в условиях Московской области во всех изученных изолятах присутствует *F. Oxysporum*. Кроме того, в 7 из 9 изученных изолятов присутствовал *F. equiseti*, в 4 изолятах обнаружен *F. poae*. О выделении *F. oxysporum*

из пораженных растений овощных культур сообщают многие исследователи из разных стран [14, 24]. В последние годы исследователи ряда стран сообщали о патогенности *F. equiseti* на огурце [20], томате [13], капусте белокочанной [10], моркови [8]. В наших исследованиях *F. equiseti* присутствовал в изолятах, полученных с пораженных растений огурца, томата, капусты белокочанной, моркови, а также в изоляте, выделенном с овощного гороха, о поражении которых *F. equiseti* не сообщалось. ДНК *F. poae* присутствовало в изолятах, выделенных с томата, моркови и гороха овощного. В мировой практике о поражении томата *F. poae* сообщали С.А. Стеглейн и соавт. [21], о поражении гороха овощного – Дж. Марцинковска [17], о поражении моркови – Л.М. Соколова [7].

Т.М. Коломиец и соавт. (2022) отмечают, что фитотоксические свойства могут отличаться как между видами патогенов, так и в пределах одного вида. В наших исследованиях при проращивании семян редьки масличной на ф.к.ж. слабую токсичность проявлял изолят № 13, изоляты № 19, № 26, № 30, № 53 были умеренно токсичными, изоляты № 10, № 12, № 16, № 54 – высокотоксичными. Высокотоксичными были как изоляты, представленные одним видом (№ 12 и № 54), так и изоляты, представленные двумя видами (№ 10 и № 16).

Выводы Conclusions

В условиях Московской области, Раменский район, где поля расположены в центральной части поймы реки Москва Быковского расширения, наибольший ущерб овощным культурам во все годы исследований наносили фузариозное увядание и гнили. В результате проведенных исследований наиболее агрессивных изолятов фузариозного увядания, выделенных за годы исследований, идентифицированы виды *F. oxysporum*, *F. equiseti*, *F. poae*. Показано, что агрессивные изоляты фузариума значительно различаются по фитотоксической активности. Высокой фитотоксичностью обладали как изоляты, представленные одним видом (№ 12, № 54), так и изоляты, представленные двумя видами (№ 10, № 16).

Список источников

1. Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Панкратова Л.Ф. и др. Особенности видового состава патогенных грибов рода *Fusarium* в биоценозах кукурузы Воронежской области // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022. Т. 26, № 6. С. 583-592. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>
2. Монахос С.Г., Воронина А.В., Байдина А.В., Зубко О.Н. Селекция растений на устойчивость – основа защиты от болезней в органическом земледелии // *Картофель и овощи*. 2019. № 6. С. 38-40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>
3. Назаров П.А., Балеев Д.Н., Иванова М.И., Соколова Л.М. и др. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы в защите растений // *Acta Naturae*. 2020. Т. 12, № 3 (46). С. 46-59. <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>
4. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. *Определитель патогенных и условно патогенных грибов*: Пер. с англ. Москва: Мир, 2001. 486 с.
5. Соколова Л.М. Проявление фузариоза на овощных культурах // *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2019. № 2 (12). С. 42-47. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>

6. Соколова Л.М., Егорова А.А. Экспресс-оценка устойчивости моркови столовой к грибным болезням pp. *Alternaria* и *Fusarium* на фильтрат культуральной жидкости // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 3 (173). С. 36-42. EDN: JKSBPR.
7. Соколова Л.М., Егорова А.А., Ховрин А.Н. Определение видовой принадлежности грибов рода *Fusarium* молекулярным методом // *Аграрная наука*. 2021. № 9. С. 118-124. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-118-124>
8. Тимина Л.Т., Енгальчева И.А. Комплекс патогенов на овощных культурах в условиях Центрального региона РФ // *Овощи России*. 2015. № 3-4. С. 123-129. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-123-129>
9. Чистякова Л.А., Соколова Л.М., Бакланова О.В., Егорова А.А. Оценка штаммов гриба рода *Fusarium* на поражение растений огурца // *Картофель и овощи*. 2020. № 3. С. 32-36. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>
10. Afroz T., Jee S., Choi H. – W., Kim J.H. et al. First Report of *Fusarium* wilt Caused by *Fusarium equiseti* on Cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) in Korea // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105, № 4. P. 1198. <https://doi.org/10.1094/pdis-06-20-1278-pdn>
11. Aslam S., Ghazanfar M.U., Munir N., Hamid M.I. Managing *Fusarium* wilt of Pea by Utilizing Different Application Methods of Fungicides // *Pakistan Journal of Phytopathology*. 2019. Vol. 31, № 1. Pp. 81-88. <https://doi.org/10.33866/phytopathol.031.01.0482>
12. Bahadur A. Current Status of *Fusarium* and Their Management Strategies // In: *Mirmajlessi S.-M.* (ed.). *Fusarium – An Overview of the Genus*. Belgium: IntechOpen, 2022. 110 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95213>
13. Beltran Beache M., Delgado Ortiz J.C., Valdivia Flores A.G., Hernandez Juárez A. et al. First Report of *Fusarium equiseti* Causing Root and Crown Rot in Tomato in Mexico // *Plant Disease*. 2023. Vol. 107, № 8. Art. 2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>
14. Cabral C.S., Gonçalves A.M., Fonseca M.E.N., Urben A.F. et al. First Detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici* across Major Tomato-producing Regions in Brazil // *Phytoparasitica*. 2020. Vol. 48, № 4. Pp. 545-553. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00824-5>
15. Kuzdraliński A., Szczerba H., Tofil K., Filipiak A. et al. Early PCR-based Detection of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. poae* on Stem Bases of Winter Wheat throughout Poland // *European Journal of Plant Pathology*. 2014. Vol. 140. Pp. 491-502. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0483-9>
16. Leunov V.I., Sokolova L.M., Beloshapkina O.O., Khovrin A.N. Resistance of Carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and Factors Influencing It // In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 624, № 1. P. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>
17. Marcinkowska J. Micromycetes on *Pisum sativum* var. *arvense* // *Acta Mycologica*. 1997. Vol. 32, № 1. Pp. 31-39. DOI: <https://doi.org/10.5586/am.1997.004>
18. Mishra P.K., Fox R.T.V., Culham A. Development of a PCR-based assay for rapid and reliable identification of pathogenic *Fusaria* // *FEMS Microbiology Letters*. 2003. Vol. 218, № 2. Pp. 329-332. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2003.tb11537.x>
19. Murray M.G., Thompson W. Rapid Isolation of High Molecular Weight Plant DNA // *Nucleic Acids Research*. 1980. Vol. 8, № 19. Pp. 4321-4326. <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
20. Shukla A., Sharma D., Sharma M., Tarafdar A. et al. First Report of *Fusarium equiseti* Causing Crown and Root Rot of Cucumber in India // *Journal of Plant Pathology*. 2022. Vol. 104, № 2. Art. 875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>

21. Stenglein S.A., Barreto D., Nicholson P., Chandler E. et al. First Report of *Fusarium poae* on Tomato in Argentina // *Plant Pathology*. 2009. Vol. 58. Art. 401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01973.x>
22. Tilahun T., Abate S., Tilahun T., Taye M. Morphological Variability of *Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici* (FOC) Isolates Infecting Pepper (*Capsicum annum* L.) Landraces in West Gojjam Zone, Ethiopia // *Cogent Food & Agriculture*. 2024. Vol. 10, № 1. Art. 2322782. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2322782>
23. Vetrova S., Alyokhina K., Engalycheva I., Kozar E. et al. Identification and Pathogenicity of *Fusarium* Species Associated with Onion Basal Rot in the Moscow Region of Russian Federation // *Journal of Fungi*. 2024. Vol. 10, № 5. P. 331. <https://doi.org/10.3390/jof10050331>
24. Yu F., Zhang C.-W., Wang S., Wang H. et al. Genome Sequence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*, the Etiological Agent of Cabbage Fusarium wilt // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2021. Vol. 34, № 2. Pp. 210-213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>
25. Zehra A., Aamir M., Dubey M.K., Ansari W.A. et al. Enhanced Protection of Tomato against Fusarium wilt through Biopriming with *Trichoderma harzianum* // *Journal of King Saud University-Science*. 2023. Vol. 35, № 2. Art. 102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>

References

1. Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Pankratova L.F., Elizarova S.A. A characteristic of the species composition of pathogenic fungi of the genus *Fusarium* in corn biocenoses of the Voronezh Region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(6):583-592. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>
2. Monakhos S.G., Voronina A.V., Baidina A.V., Zubko O.N. Plant breeding for disease resistance is a base of plant protection in organic farming. *Potato and Vegetables*. 2019;6:38-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>
3. Nazarov P.A., Baleev D.N., Ivanova M.I., Sokolova L.M., Karakozova M.V. Infectious plant diseases: etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta Naturae*. 2020;12(3(46)):46-59. (In Russ.) <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>
4. Sutton D., Fothergill A., Rinaldi M. *Identifier of pathogenic and opportunistic fungi*. Trans. from English. Moscow, Russia: Mir, 2001:486. (In Russ.)
5. Sokolova L.M. The manifestation of fusarium wilt on vegetable crops. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentralnoy Rossii*. 2019;2(12):42-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>
6. Sokolova L.M., Egorova A.A. Rapid evaluation of garden carrot resistance to fungal diseases of genera *Alternaria* and *Fusarium* on culture liquid filtrate. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;3(173):36-42. (In Russ.)
7. Sokolova L.M., Egorova A.A., Hovrin A.N. Determination of the species of fungi of the genus *Fusarium* by molecular method. *Agrarian science*. 2021;(9):118-124. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-118-124>
8. Timina L.T., Engalicheva I.A. Complex of pathogenes on vegetable crops in condition of Central Region of Russia. *Vegetable Crops of Russia*. 2015;3-4:123-129. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-123-129>
9. Chistyakova L.A., Sokolova L.M., Baklanova O.V., Egorova A.A. Evaluation of *Fusarium* fungus strains on affection of cucumber plants. *Potato and Vegetables*. 2020;3:32-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>

10. Afroz T., Jee S., Choi H. – W., Kim J.H. et al. First Report of Fusarium wilt Caused by Fusarium equiseti on Cabbage (Brassica oleracea var. capitata) in Korea. *Plant Disease*. 2021;105(4):1198. <https://doi.org/10.1094/pdis-06-20-1278-pdn>
11. Aslam S., Ghazanfar M.U., Munir N., Hamid M.I. Managing Fusarium wilt of Pea by Utilizing Different Application Methods of Fungicides. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 2019;31(1):81-88. <https://doi.org/10.33866/phytopathol.031.01.0482>
12. Bahadur A. Current Status of Fusarium and Their Management Strategies. In: *Mirmajlessi S.-M. (ed.). Fusarium – An Overview of the Genus*. Belgium: IntechOpen, 2022:110. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95213>
13. Beltran Beache M., Delgado Ortiz J.C., Valdivia Flores A.G., Hernandez Juárez A. et al. First Report of Fusarium equiseti Causing Root and Crown Rot in Tomato in Mexico. *Plant Disease*. 2023;107(8):2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>
14. Cabral C.S., Gonçalves A.M., Fonseca M.E.N., Urben A.F. et al. First Detection of Fusarium oxysporum f. sp. Radicis-lycopersici across Major Tomato-producing Regions in Brazil. *Phytoparasitica*. 2020;48(4):545-553. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00824-5>
15. Kuzdraliński A., Szczerba H., Tofil K., Filipiak A. et al. Early PCR-based Detection of Fusarium culmorum, F. graminearum, F. sporotrichioides and F. poae on stem bases of winter wheat throughout Poland. *European Journal of Plant Pathology*. 2014;140:491-502. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0483-9>
16. Leunov V.I., Sokolova L.M., Beloshapkina O.O., Khovrin A.N. Resistance of Carrots to Alternaria sp., Fusarium sp. and Factors Influencing It. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624(1):012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>
17. Marcinkowska J. Micromycetes on Pisum sativum var. arvense. *Acta Mycologica*. 1997;32(1):31-39. <https://doi.org/10.5586/am.1997.004>
18. Mishra P.K., Fox R.T.V., Culham A. Development of a PCR-based Assay for Rapid and Reliable Identification of Pathogenic Fusaria. *FEMS Microbiology Letters*. 2003;218(2):329-332. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2003.tb11537.x>
19. Murray M.G., Thompson W. Rapid Isolation of High Molecular Weight Plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 1980;8(19):4321-4326. <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
20. Shukla A., Sharma D., Sharma M., Tarafdar A. et al. First Report of Fusarium equiseti Causing Crown and Root Rot of Cucumber in India. *Journal of Plant Pathology*. 2022;104(2):875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>
21. Stenglein S.A., Barreto D., Nicholson P., Chandler E. et al. First Report of Fusarium poae on Tomato in Argentina. *Plant Pathology*. 2009;58:401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01973.x>
22. Tilahun T., Abate S., Tilahun T., Taye M. Morphological Variability of Fusarium oxysporum f. sp. capsici (FOC) Isolates Infecting Pepper (Capsicum annum L.) Landraces in West Gojjam Zone, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*. 2024;10(1):2322782. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2322782>
23. Vetrova S., Alyokhina K., Engalycheva I., Kozar E. et al. Identification and Pathogenicity of Fusarium Species Associated with Onion Basal Rot in the Moscow Region of Russian Federation. *Journal of Fungi*. 2024;10(5):331. <https://doi.org/10.3390/jof10050331>
24. Yu F., Zhang C.-W., Wang S., Wang H. et al. Genome Sequence of Fusarium oxysporum f. sp. conglutinans, the Etiological Agent of Cabbage Fusarium wilt. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2021;34(2):210-213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>

25. Zehra A., Aamir M., Dubey M.K., Ansari W.A. et al. Enhanced Protection of Tomato against Fusarium wilt through Biopriming with *Trichoderma harzianum*. *Journal of King Saud University-Science*. 2023;35(2):102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>

Сведения об авторах

Анастасия Васильевна Вишнякова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9160-1164>

Михаил Алексеевич Никитин, инженер-исследователь, Селекционно-семеноводческий центр овощных культур, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Пасечная, 5; e-mail: ser-mixail-nikitin@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0007-5557-1192>

Анастасия Алексеевна Александрова, аспирант кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: nastya445577@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8802-6454>

Любовь Михайловна Соколова, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник сектора селекции и семеноводства корнеплодных культур, д-р с.-х. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства»; 140153, Российская Федерация, Московская область, д. Верея; e-mail: lsokolova74@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>

Information about the authors

Anastasiia V. Vishnyakova, Csc (Ag), Associate Professor at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9160-1164>

Mikhail A. Nikitin, Research Engineer at the Selection and Seed Center for Vegetable Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: ser-mixail-nikitin@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0007-5557-1192>

Anastasia A. Aleksandrova, postgraduate student of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: nastya445577@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8802-6454>

Lyubov M. Sokolova, DSc (Ag), Leading Research Associate at the Breeding and Seed Center, All-Russian Research Institute of Vegetable Production – Branch of Federal Scientific Vegetable Center; v. Vereya, Moscow Region, 140153, Russian Federation; e-mail: lsokolova74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

**Изучение устойчивости побегов винограда к низким температурам
при обработке абсцизовой кислотой**

**Галина Константиновна Киселёва[✉], Юрий Федорович Якуба,
Валерий Семёнович Петров, Ирина Анатольевна Ильина,
Наталья Михайловна Запорожец, Анна Александровна Хохлова**

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: galina-kiseleva-1960@mail.ru

Аннотация

Исследования проводили на участках ампелографической коллекции Анапской зональной опытной станции виноградарства и виноделия, г. Анапа, в 2023–2024 гг. Цель исследований – изучить устойчивость побегов винограда сорта Дмитрий к низким отрицательным температурам зимнего периода при обработке абсцизовой кислотой (АБК) различной концентрации с добавлением сульфата магния. Растения обрабатывали в конце вегетации. Использовали 4 варианта обработки: 1) 50 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния; 2) 100 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния; 3) 200 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния; 4) контроль – обработка водопроводной водой. В январе, в период проявления максимальной устойчивости к низким температурам, обработанные побеги подвергали искусственному промораживанию в климатической камере СМ-30/100–120 при температурах: –15°C; –20°C; –25°C. Обработка АБК различной концентрации позволила увеличить жизнеспособность почек, но максимальный эффект получен при использовании концентрации АБК 200 мМ + 42 мМ/л раствор сульфата магния. При этой обработке процент жизнеспособных почек увеличился при воздействии температурой –15°C на 16,1%; при температуре –20°C – на 32,8%; при температуре –25°C – на 75,3%, в результате чего жизнеспособность почек увеличилась до 96,2–98,2%. Установлено, что обработка повышает содержание гликолей, выступающих в роли криопротекторов, а также снижает уязвимость клеточных мембран к повреждениям, стабилизирует их, снижая выход ионов калия и кальция. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования АБК для осенней обработки винограда с целью повышения устойчивости к низким отрицательным температурам зимой.

Ключевые слова

Виноград, абсцизовая кислота, морозостойкость, искусственное промораживание, гликоли, кальций, калий

Для цитирования

Киселёва Г.К., Якуба Ю.Ф., Ильина И.А. и др. Изучение устойчивости побегов винограда к низким температурам при обработке абсцизовой кислотой // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 124–136.

**Study of resistance of grape shoots to low temperatures
when treated with abscisic acid**

**Galina K. Kiseleva[✉], Yuri F. Yakuba, Valery S. Petrov,
Irina A. Ilyina, Natalya M. Zaporozhets, Anna A. Khokhlova**

North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture, Krasnodar, Russia

[✉]**Corresponding author:** kiseleva-1960@mail.ru

Abstract

The studies were conducted on the plots of the ampelographic collection of the Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking in 2023–2024. The aim of the research is to study the resistance of Dmitry grape shoots to low negative temperatures during the winter period when treated with abscisic acid (ABA) of various concentrations with the addition of magnesium sulfate. The plants were treated at the end of the growing season. Four treatment options were used: 1) 50 mM ABA + 42mM/l magnesium sulfate solution; 2) 100 mM ABA + 42mM/l magnesium sulfate solution; 3) 200 mM ABA + 42mM/l magnesium sulfate solution; 4) control – treatment with tap water. In January, during the period of maximum resistance to low temperatures, the treated shoots were artificially frozen in a CM-30/100–120 climate chamber at the temperatures of –15°C, –20°C, –25°C. Treatment with ABA at different concentrations increased the viability of the buds, but the maximum effect was obtained when using an ABA concentration of 200 mM + 42mM/l magnesium sulfate solution. This treatment increased the percentage of viable buds at –15°C by 16.1%; at –20°C by 32.8%; at –25°C by 75.3%, resulting in an increase in bud viability to 96.2–98.2%. It was found that the treatment increases the content of glycols, which act as cryoprotectors, and also reduces the vulnerability of cell membranes to damage, stabilizing them and reducing the release of potassium and calcium ions. The data obtained indicate the possibility of using ABA for autumn treatment of grapes to increase resistance to low negative temperatures in winter.

Keywords

grapes, abscisic acid, frost resistance, artificial freezing, glycols, calcium, potassium

For citation

Kiseleva G.K., Yakuba Yu.F., Petrov V.S., Ilyina I.A. et al. Study of resistance of grape shoots to low temperatures when treated with abscisic acid. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 124–136.

**Введение
Introduction**

Виноград (*Vitis vinifera* L.) – важная сельскохозяйственная культура, издавна возделываемая в Краснодарском крае как для производства вина, соков, изюма, так и для потребления в свежем виде. За последние годы наблюдается положительная динамика увеличения объемов его производства за счет использования современных агрономических технологий и возделывания наиболее адаптивных для данного региона сортов. Так, с 2018 по 2022 гг. урожайность винограда увеличилась на 20%, валовой сбор возрос на 42% – до 889,6 тыс. т в год [1, 2].

Несмотря на положительную динамику нарастающего производства винограда, отмечается рост последствий неблагоприятных глобальных изменений климата

на его урожайность и адаптивность – в частности, на устойчивость к низким температурам. В результате уровень реализации потенциала хозяйственной продуктивности используемых сортов варьирует в диапазоне от 36% до 86% и составляет в среднем 60% [3]. Поэтому увеличение морозостойкости винограда продолжает оставаться одной из наиболее актуальных проблем виноградарства.

В настоящее время в условиях Краснодарского края во избежание подмерзания слабовзимостойкие сорта возделывают в укрывной культуре, используя для этого агроволокно, растительные материалы (сухую траву, опилки), пленку [3–5]. За рубежом также используют разнообразные укрывные материалы для защиты виноградников от мороза [6–8]. Например, в Италии [9, 10] в качестве защиты виноградного куста от зимних неблагоприятных условий используют покрытие органического происхождения (из сахаров) и соломы.

Помимо укрытия на зиму, правильно подобранная агротехника, своевременное внесение азотных удобрений способствуют повышению морозоустойчивости виноградной лозы. По данным румынских исследователей [11], виноградная лоза, обработанная осенью, до опадения листьев, медным купоросом, накапливает больше запасных веществ, вследствие чего становится более морозостойкой. Иранские и китайские виноградары [12–14] использовали обработку виноградной лозы абсцизовой кислотой (АБК) в конце вегетационного периода для увеличения ее морозостойкости. Установлено, что обработка АБК сдерживала рост побегов, ускоряла опадение листьев и развитие перидермы, таким образом способствуя адаптации растений к низким отрицательным температурам. Обработка изменяла водный режим растений, процессы дыхания и фотосинтеза, метаболизм липидов и стабилизации клеточных мембран.

Некоторые зарубежные исследователи [15, 16] для повышения потенциала устойчивости виноградной лозы к вымерзанию в качестве внекорневой подкормки использовали сульфат калия. В этом случае увеличивалось содержание абсцизовой кислоты, фенольных соединений, растворимых сахаров, полиаминов и других осмопротекторов, защищающих растительные клетки от повреждений низкими температурами. Однако влияние обработки АБК на морозостойкость виноградной лозы в отечественной литературе не изучалось, а роль этого соединения в формировании механизмов устойчивости к низким температурам изучена недостаточно.

Цель исследований: изучение устойчивости побегов винограда к низким отрицательным температурам зимнего периода при обработке абсцизовой кислотой различной концентрации с добавлением сульфата магния.

Методика исследований **Research method**

Материал для исследований отобран на участках ампелографической коллекции Анапской зональной опытной станции виноградарства и виноделия (АЗОС-ВиВ) – в филиале Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (ФГБНУ СКФНЦСВВ), г. Анапа. Почва опытного участка – западно-предкавказские выщелоченные черноземы на лессовидных суглинках. Климат – умеренно континентальный. По данным метеорологической станции г. Анапы, среднегодовая температура воздуха на данном участке исследований составляет +12,5°C. Минимальная температура зимой опускается до –24... –26°C, летом максимальная температура воздуха повышается до +38°C; сумма активных температур – 3800–4000°C. Годовая сумма атмосферных осадков составляет 550–600 мм.

Объект исследований – технический сорт винограда Дмитрий (Варусет × Гранатовый) селекции СКФНЦСВВ. Это сорт позднего срока созревания, урожайность высокая,

стабильная (145–150 ц/га). Средняя масса грозди составляет 178 г, средняя масса ягоды – 1,5 г. Сорт используется для приготовления красных столовых и ликерных вин с интенсивной темно-рубиновой окраской с вишневым оттенком и ароматом с черносмородиновыми и ежевичными тонами, а также соков, отличающихся полным мягким гармоничным вкусом. Отличается средней поражаемостью милдью, оидиумом и серой гнилью, устойчив к антракнозу. Повреждаемость филлоксерой корневой формы выше средней.

В задачи исследований входили: 1) оценка влияния обработки АБК различной концентрации с добавлением сульфата магния на сохранность побегов и почек после искусственного промораживания при разных температурах; 2) оценка влияния обработки АБК различной концентрации с добавлением сульфата магния на содержание гликолей, ионов калия и кальция в вытяжке из замороженных тканей побегов.

Опытные растения – 2008 г. посадки, подвой Кобер 5ББ. Формировка – высокоштамбовый двуплечий кордон, без зимнего укрытия. Схема посадки: 3×1,5 м. Обработку растений проводили в ноябре 2023 г. раствором абсцизовой кислоты (АБК) различной концентрации с добавлением 42 мМ/л раствора сульфата магния с помощью пульверизатора.

Используемые варианты обработки:

- 50 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния;
- 100 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния;
- 200 мМ АБК + 42 мМ/л сульфата магния.

На каждый вариант были обработаны по 3 растения. В январе 2024 г., в период проявления максимальной морозостойкости, побеги, имеющие по 8–10 почек, были срезаны для искусственного промораживания и проведения анализов. Далее их хранили в холодильнике, неплотно завернутыми в смоченную водой ткань из мешковины при температуре +5°C. Искусственное промораживание побегов проводили в климатической камере СМ-30/100–120 в течение суток при температурах: –15°C; –20°C; –25°C, с последующим выдерживанием (оттаиванием) при комнатной температуре в течение 4 ч согласно методике [3], после чего использовали для анализа.

Анализ повреждений однолетних побегов и почек проводили при помощи стереоскопического микроскопа Микромед МС2 Zoom 2А при увеличении ×3 по 6-балльной шкале: 0 – луб ярко-зеленый, древесина светло-зеленая (здоровая лоза); 1 – единичные участки побуревших луба и древесины; 2 – побуревшие участки луба и древесины занимают 1/3 поверхности побега, 3 – побуревшие участки луба и древесины занимают 1/2 поверхности побега; 4 – побуревшие участки луба и древесины занимают более 1/2 поверхности побега; 5 – сплошное побурение луба и древесины [3]. Измерения проводили в 3-кратной аналитической повторности.

Анализ вытяжки виноградной лозы для определения содержания гликолей проводили методом газовой хроматографии по методике Я.И. и А.Я. Яшиных [17] с использованием хроматографа «Кристалл-2000М», оборудованного капиллярной колонкой HP FFAP длиной 50 м, внутренним диаметром 0,32 мм и детектором ионизации в пламени. Содержание ионов калия и кальция в водно-спиртовом экстракте (10%-ный этанол) коры побегов определяли методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель 105М» по методике, основанной на получении электрофореграммы с помощью косвенного детектирования непоглощающих компонентов пробы [18]. Использовалось приборное обеспечение Центра коллективного пользования технологичным оборудованием ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Статистическую обработку данных производили с использованием программы Microsoft Office Excel 2010 по методике Б.А. Доспехова. Выполняли расчет средних значений ($\bar{X}_{cp}$), ошибки средних ($S_{\bar{x}}$), наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$) с использованием t-критерия Стьюдента [19].

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Сорт винограда Дмитрий может выдерживать отрицательные температуры до -25°C , но устойчивость зависит от многих факторов: условий среды, состояния растений, агротехники. Особое значение имеют предшествующие температуры и длительность их воздействия [3, 20, 21].

Анализ метеорологических условий осенне-зимнего периода 2023–2024 гг. В течение осенне-зимнего периода среднемесячные температуры воздуха понижались с $+21,8^{\circ}\text{C}$ в сентябре до $+4,6^{\circ}\text{C}$ в январе. Период характеризовался повышенной среднемесячной температурой воздуха по сравнению со средними многолетними значениями на $+1,2...+2,3^{\circ}\text{C}$. Зимой отмечены резкие перепады температуры: максимальные температуры воздуха составляли в декабре $+16^{\circ}\text{C}$, в январе $+15^{\circ}\text{C}$; минимальные – в декабре -1°C , в январе -9°C . Количество атмосферных осадков в сентябре-ноябре варьировало от 4,3 до 223 мм, в декабре-феврале – от 23 до 124 мм, будучи близким к условной норме (рис. 1).

Поскольку низкие критические температуры (-25°C) в данном регионе наблюдаются нечасто, для оценки повреждающего действия низких отрицательных температур на побеги и почки винограда использовали метод искусственного промораживания.

Влияние обработки АБК различной концентрации с добавлением сульфата магния на сохранность побегов и почек после искусственного промораживания при разных температурах. Микроскопический анализ тканей побегов показал, что при промораживании при -15°C во всех вариантах опыта повреждения побегов не отмечены. Повреждения получили однолетние побеги в контрольном варианте опыта без обработки, замороженные при температурах -20°C и -25°C . Эти повреждения оценены на 2 и 3 баллов соответственно. При температуре -20°C побуревшие участки луба и древесины занимают 1/3 поверхности побега, при -25°C – 1/3 поверхности побега.

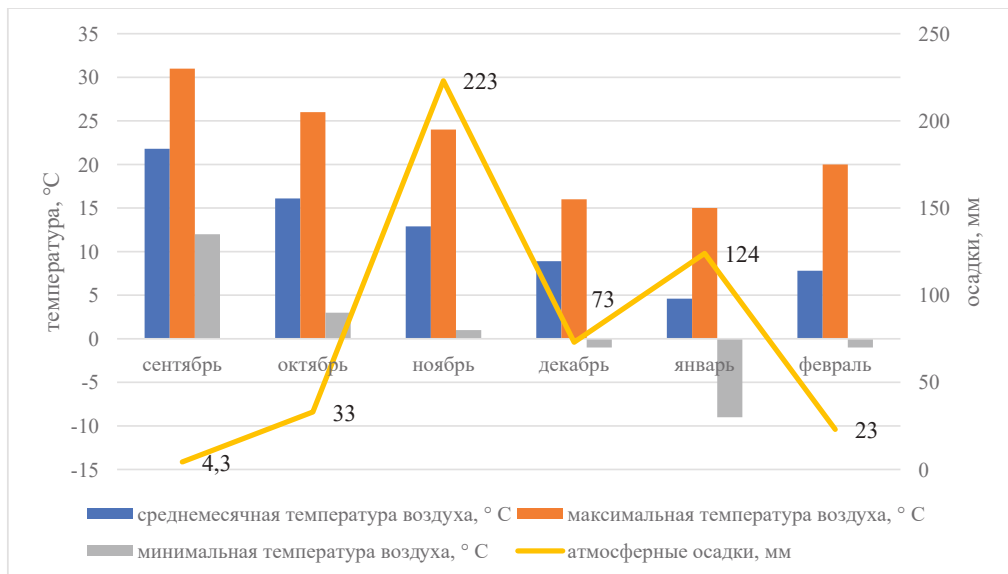


Рис. 1. Метеорологические условия на участке исследований в осенне-зимний период 2023–2024 гг. (АЗОСВиВ, г. Анапа)

Figure 1. Meteorological conditions at the research site in the autumn-winter period of 2023–2024 (AZOSViV, Anapa)

В варианте обработки 50 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния имеются незначительные повреждения, оцененные в 1 балл, то есть побурели единичные участки тканей луба и древесины. При обработке раствором АБК большей концентрации – 100 и 200 мМ – повреждений нет (табл. 1).

Обработка АБК различной концентрации позволила увеличить жизнеспособность почек, но максимальный эффект получен при использовании концентрации АБК 200 мМ. При этой обработке процент жизнеспособных почек увеличился при воздействии температурой –15°С на 16,1%; при температуре –20°С – на 32,8%; при температуре –25°С – на 75,3%. Таким образом, при обработке АБК в концентрации 200 мМ жизнеспособные почки составляли 96,2–98,2% (табл. 2).

Таблица 1

**Степень повреждения однолетних побегов
после искусственного промораживания**

Table 1

Degree of damage to annual shoots after artificial freezing

Вариант обработки	Повреждение однолетних побегов, балл		
	температура, °С		
	–15	–20	–25
Вода (контроль)	0	2	3
50 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния	0	1	1
100 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния	0	0	0
200 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния	0	0	0

Таблица 2

Сохранность живых почек после искусственного промораживания

Table 2

Preservation of living buds after artificial freezing

Вариант обработки	Живые почки, %		
	Температура, °С		
	–15	–20	–25
Вода (контроль)	82,1	65,3	20,9
50 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния	84,3	79,6	78,7
100 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния	89,6	80,9	80,4
200 мМ АБК + 42 мМ/л раствор сульфата магния	98,2	98,1	96,2

По утверждению многих исследователей, механизм действия АБК на устойчивость к низким температурам заключается в следующем: «...накапливающаяся в тканях АБК увеличивает проницаемость мембран для воды и водоотдачу клеток». В результате клетка обезвоживается, и лед образуется не в клетке, а в межклеточном пространстве [8, 15, 20].

Влияние обработки АБК различной концентрации с добавлением сульфата магния на содержание гликолей (криопротекторов) в вытяжке из замороженных тканей. Образование внеклеточного льда и отток воды из клеток обеспечиваются также криопротекторами – веществами, повышающими внутриклеточное осмотическое давление и понижение температуры замерзания цитоплазмы клетки. Общеизвестными криопротекторами являются гликоли [20, 22].

Суммарное содержание гликолей (бутилен-гликоль, рацемат; бутилен-гликоль, мезоформа, 1,2-пропиленгликоль) определяли в вытяжке из тканей, замороженных при -25°C . В контрольном варианте опыта без обработки суммарное содержание гликолей составляло 169,9 мкг/г сырого веса. При обработке в варианте с концентрацией АБК 50 мМ содержание гликолей составляло 240,3 мкг/г сырого веса, при обработке с концентрацией АБК 100 мМ – 553,0 мкг/г сырого веса (рис. 2).

Максимальное накопление гликолей – 767,1 мкг/г сырого веса – отмечено в варианте при обработке концентрацией АБК 200 мМ. В этом варианте содержание гликолей увеличилось в 4,5 раза по сравнению с контролем.

Итак, установлено, что обработка повышает содержание гликолей. Увеличение содержания этих криопротекторов, обусловленное влиянием АБК, способствовало меньшему повреждению тканей побегов при низких температурах.

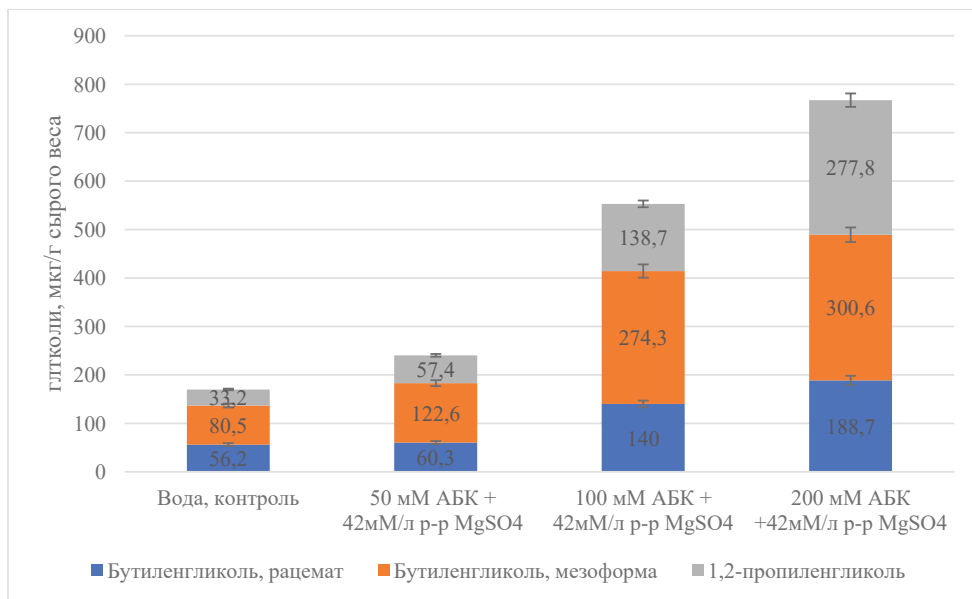


Рис. 2. Накопление гликолей в вытяжке побегов винограда в различных вариантах обработки

Примечание. На столбиках отмечены средние значения и ошибки средних ($X_{cp} \pm S_x$).

НСР_{0,5}: бутиленгликоль, рацемат – 12,7;
бутиленгликоль, мезоформа – 16,6; 1,2-пропиленгликоль – 16,7.
Различия между вариантами обработки существенны.

Figure 2. Accumulation of glycols in the extract of grape shoots in different treatment options

Влияние обработки АБК различной концентрации с добавлением сульфата магния на содержание ионов калия и кальция в вытяжке из замороженных тканей. Согласно мнению китайских исследователей «...повреждение растений от воздействия низких температур начинается с нарушений структуры и функций клеточных мембран. Нарушение активного транспорта ионов через мембраны приводит к усилению пассивного выхода из клеток ионов (преимущественно калия и кальция) и сахаров. По содержанию ионов калия и кальция в вытяжке из замороженных и оттаявших клеток можно судить о степени их повреждения» [23]. Обнаружено, что у более морозостойких сортов винограда после искусственного промораживания содержание ионов калия и кальция увеличивалось в меньшей степени в сравнении с неморозостойкими [4].

В проведенных нами исследованиях в контрольном варианте опыта обнаружен максимальный выход (утечка) катионов калия (1100,2 мкг/г сырого веса) и кальция (224,5 мкг/г сырого веса) (рис. 3).

При обработке, особенно в вариантах с концентрациями АБК 100 и 200 мМ, снижалось содержание катионов кальция в 1,3–1,8 раз и калия в 1,6–2,1 раз в сравнении с контролем.

Итак, обработка АБК снижает уязвимость клеточных мембран к повреждениям, стабилизирует их, снижая выход ионов при действии низких отрицательных температур.

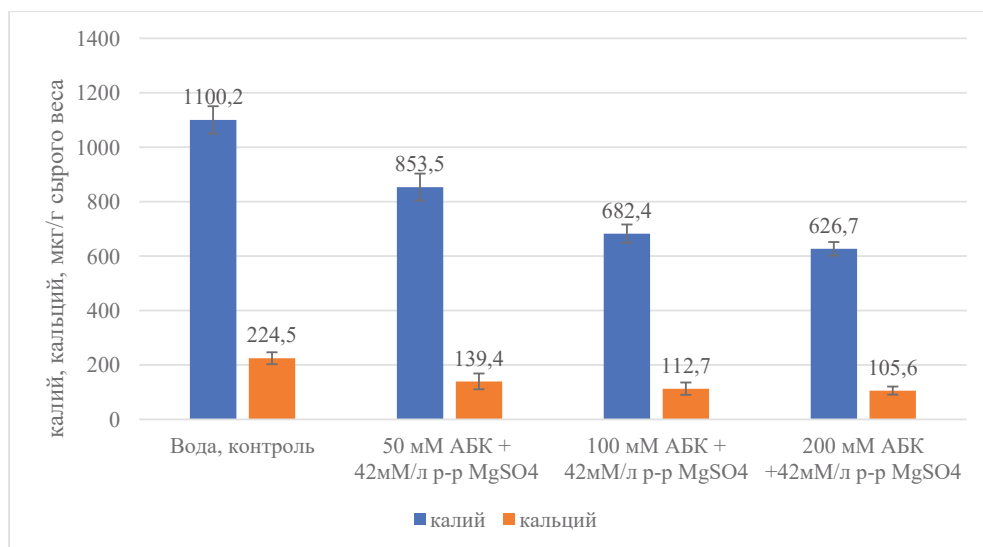


Рис. 3. Содержание ионов калия и кальция в вытяжке коры винограда при различных вариантах обработки

Примечание. На столбиках отмечены средние значения и ошибки средних ($\bar{X}_{cp} \pm S_{\bar{X}}$). НСР_{0,5}: калий – 23,2; кальций – 11,7. Различия между вариантами обработки существенны.

Figure 3. Content of potassium and calcium ions in grape bark extract under different treatment options

Выводы Conclusions

Выявлено положительное влияние осенней обработки АБК различной концентрации с добавлением сульфата магния на сохранность побегов и почек после искусственного промораживания при температурах: -15°C ; -20°C ; -25°C . Наиболее

выраженное воздействие на устойчивость к низким температурам оказал вариант обработки с концентрацией АБК 200 мМ + 42мМ/л раствор сульфата магния. Установлено, что обработка повышает содержание гликолей, выступающих в роли криопротекторов. Выявлено, что обработка АБК снижает уязвимость клеточных мембран к повреждениям, стабилизирует их, снижая выход ионов калия и кальция при действии низких отрицательных температур. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования АБК для осенней обработки винограда в целях повышения морозостойкости.

Список источников

1. Кузнецова И.Б., Макаров С.С. Особенности клонального микроразмножения культурного винограда (*Vitis vinifera* L.) на этапах «введение в культуру» и «собственно микроразмножение» // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. № 4 (90). С. 72-75. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-72-75>
2. Площади, валовой сбор и урожайность многолетних насаждений в Российской Федерации в 2023 году: *Бюллетень*. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 12.09.2024).
3. Егоров Е.А., Серпуховитина К.А., Петров В.С., Панкин М.И. и др. Адаптивный потенциал винограда в условиях стрессовых температур зимнего периода: *Методические рекомендации*. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2006. 156 с. EDN: QKYUOV.
4. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Ильина И.А., Петров В.С. и др. Морозостойкость сортов винограда различного эколого-географического происхождения // *Садоводство и виноградарство*. 2021. № 4. С. 37-42. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-4-37-42>
5. Lepeshkina S., Yakuba Yu. Protection of Vine from Winter Stress with the Use of Silicate. *International Journal of Pharmacy and Chemistry*. 2023;9(3):28-31. <https://doi.org/11648/j.ijpc.20230903.11>
6. Ghali M., Jaballah M.B., Arfa N.B., Sigwalt A. Analysis of Factors that Influence Adoption of Agroecological Practices in Viticulture. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*. 2022;103:179-209. <https://doi.org/10.1007/s41130-022-00171-5>
7. Kaya Ö., Yilmaz T., Ates F. Improving Organic Grape Production: the Effects of Soil Management and Organic Fertilizers on Biogenic Amine Levels in *Vitis vinifera* cv. «Royal» Grapes. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2024;11:38. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00564-2>
8. Wan N., Yang B., Yin D., Ma T. et al. Overwintering Covered with Soil or Avoiding Burial of Wine Grapes under Cold Stress: Chinese Wine Industry's Past and Future, Challenges and Opportunities. *Stress Biology*. 2023;3(1):40. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
9. Frota de Albuquerque Landi F., Di Giuseppe A., Gambelli A.M., Palliotti A. et al. Life Cycle Assessment of an Innovative Technology against Late Frosts in Vineyard. *Sustainability*. 2021;13:5562. <https://doi.org/10.3390/su13105562>
10. Giuseppe A., Gambelli A., Rossi F., Nicolini A. et al. Natural Organic Coating to Control and Minimize Late Frost Damages on Wine Shoots. *Heat*. 2020;51(18):1625-1635. <https://doi.org/10.1615/HeatTransRes.2020034721>
11. Lixandru M., Fendrihan S. Improvement of Frost Resistance of Grapevine. *Romanian Journal for Plant Protection*. 2020;13:28-30. <http://www.doi.org/10.54574/RJPP.13.04>
12. Karimi R., Ershadi A. Role of Exogenous Abscissic Acid in Adapting of 'Sultana' Grapevine to Low-temperature Stress. *Acta Physiol. Plant*. 2015;37:151. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1902-z>

13. Wang H., Blakeslee J.J., Jones M.L., Chapin L.J. et al. Exogenous Absciscic Acid Enhances Physiological, Metabolic, and Transcriptional Cold Acclimation Responses in Greenhouse-grown Grapevines. *Plant Science*. 2020;293:110437. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110437>
14. Wang H., Dami I.E. Evaluation of Budbreak-delaying Products to Avoid Spring Frost Injury in Grapevines // *American Journal of Enology and Viticulture*. 2020;71(3):181-190. <https://doi.org/10.5344/ajev.2020.19074>
15. Karimi M. Potassium-induced Freezing Tolerance is Associated with Endogenous Absciscic Acid, Polyamines and Soluble Sugars Changes in Grapevine. *Scientia Horticulturae*. 2017;215:184-194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.018>
16. Sarikhani H., Haghi H., Ershadi A., Esna-Ashari M. et al. Foliar Application of Potassium Sulphate Enhances the Cold-hardiness of Grapevine (*Vitis vinifera* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2014;89(2):141-146. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513060>
17. Yashin Ya.I., Yashin A.Ya. Analytical Chromatography. *Methods, Instrumentation and Applications*. *Russ. Chem. Rev.* 2016;75(4):329-340. <https://doi.org/10.1070/RC2006v075n04ABEH003607>
18. Melicherova N., Reminek R., Foret F. Application of Capillary Electrophoretic Methods for the Analysis of Plant Phloem and Xylem Saps Composition: A Review. *Separation Science*. 2020;43(1):271-284. <https://doi.org/10.1002/jssc.201900844>
19. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. Москва: Альянс, 2011. 351 с. EDN: QLCQEP.
20. Dami I., Zhang Y. Variations of Freezing Tolerance and Sugar Concentrations of Grape Buds in Response to Foliar Application of Absciscic Acid. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1084590. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1084590>
21. Kaya Ö. Bud Death and Its Relationship with Lateral Shoot, Water Content and Soluble Carbohydrates in Four Grapevine Cultivars Following Winter Cold. *Erwerbs-Obstbau*. 2020;62(1):43-50. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00495-w>
22. Кошкин Е.И. *Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур*: Учебник. Москва: Дрофа, 2010. 638 с. EDN: SDTWVB.
23. Luo D., Huang T., Kou X., Zhang Y. et al. MeJA Enhances Antioxidant Activity and Reduces Membrane Lipid Degradation by Maintaining Energy Charge Levels in Crystal Grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 2024;216:113078. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113078>

References

1. Kuznetsova I.B., Makarov S.S. Features of Clonal Micropropagation of Cultivated Grapes (*Vitis vinifera* L.) at the stages of “introduction to culture” and “micropropagation proper”. *Izvestiya of Orenburg State Agrarian University*. 2021;4:72-75. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-72-75> (In Russ.)
2. Bulletin “Area, gross harvest and yield of perennial plantings in the Russian Federation in 2023”. (In Russ.) URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (accessed: September 12, 2024).
3. Egorov E.A., Serpukhovitina K.A., Petrov V.S., Pankin M.I. et al. *Adaptive potential of grapes under stressful temperatures of the winter period: methodological recommendations*. Krasnodar, Russia: SKZNIISiV, 2006:156. (In Russ.)

4. Nenko N.I., Kiseleva G.K., Ilyina I.A., Petrov V.S. et al. Cold hardiness in grapevines of various ecological and geographical origin. *Horticulture and viticulture*. 2021;4:37-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-4-37-42>
5. Lepeshkina S., Yakuba Yu. Protection of Vine from Winter Stress with the Use of Silicate. *International Journal of Pharmacy and Chemistry*. 2023;9(3):28-31. <https://doi.org/11648/j.ijpc.20230903.11>
6. Ghali M., Jaballah M.B., Arfa N.B., Sigwalt A. Analysis of Factors that Influence Adoption of Agroecological Practices in Viticulture. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*. 2022;103:179-209. <https://doi.org/10.1007/s41130-022-00171-5>
7. Kaya Ö., Yilmaz T., Ates F. Improving Organic Grape Production: the Effects of Soil Management and Organic Fertilizers on Biogenic Amine Levels in *Vitis vinifera* cv. 'Royal' Grapes. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2024;11:38. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00564-2>
8. Wan N., Yang B., Yin D., Ma T. et al. Overwintering Covered with Soil or Avoiding Burial of Wine Grapes under Cold Stress: Chinese Wine Industry's Past and Future, Challenges and Opportunities. *Stress Biology*. 2023;3(1):40. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
9. Frota de Albuquerque Landi F., Di Giuseppe A., Gambelli A.M., Palliotti A. et al. Life Cycle Assessment of an Innovative Technology against Late Frosts in Vineyard. *Sustainability*. 2021;13:5562. <https://doi.org/10.3390/su13105562>
10. Giuseppe A., Gambelli A., Rossi F., Nicolini A. et al. Natural Organic Coating to Control and Minimize Late Frost Damages on Wine Shoots. *Heat*. 2020;51(18):1625-1635. <https://doi.org/10.1615/HeatTransRes.2020034721>
11. Lixandru M., Fendrihan S. Improvement of Frost Resistance of Grapevine. *Romanian Journal for Plant Protection*. 2020;13:28-30. <http://www.doi.org/10.54574/RJPP.13.04>
12. Karimi R., Ershadi A. Role of Exogenous Absciscic Acid in Adapting of 'Sultana' Grapevine to Low-temperature Stress. *Acta Physiol. Plant*. 2015;37:151. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1902-z>
13. Wang H., Blakeslee J.J., Jones M.L., Chapin L.J. et al. Exogenous Absciscic Acid Enhances Physiological, Metabolic, and Transcriptional Cold Acclimation Responses in Greenhouse-grown Grapevines. *Plant Science*. 2020;293:110437. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110437>
14. Wang H., Dami I.E. Evaluation of Budbreak-delaying Products to Avoid Spring Frost Injury in Grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2020;71(3):181190. <https://doi.org/10.5344/ajev.2020.19074>
15. Karimi M. Potassium-induced Freezing Tolerance is Associated with Endogenous Absciscic Acid, Polyamines and Soluble Sugars Changes in Grapevine. *Scientia Horticulturae*. 2017;215:184-194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.018>
16. Sarikhani H., Haghi H., Ershadi A., Esna-Ashari M. et al. Foliar Application of Potassium Sulphate Enhances the Cold-hardiness of Grapevine (*Vitis vinifera* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2014;89(2):141-146. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513060>
17. Yashin Ya.I., Yashin A.Ya. Analytical Chromatography. Methods, Instrumentation and Applications. *Russ. Chem. Rev.* 2016;75(4):329-340. <https://doi.org/10.1070/RC2006v075n04ABEH003607>
18. Melicherova N., Reminek R., Foret F. Application of Capillary Electrophoretic Methods for the Analysis of Plant Phloem and Xylem Saps Composition: A Review. *Separation Science*. 2020;43(1):271-284. <https://doi.org/10.1002/jssc.201900844>

19. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment* (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Russia: Al'yans, 2014:351. (In Russ.)
20. Dami I., Zhang Y. Variations of Freezing Tolerance and Sugar Concentrations of Grape Buds in Response to Foliar Application of Abscissic Acid. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1084590. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1084590>
21. Kaya Ö. Bud Death and Its Relationship with Lateral Shoot, Water Content and Soluble Carbohydrates in Four Grapevine Cultivars Following Winter Cold. *Erwerbs-Obstbau*. 2020;62(1):43-50. <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00495-w>
22. Koshkin E.I. *Physiology of crop resistance: a textbook*. Moscow, Russia: Drofa, 2010:638. (In Russ.)
23. Luo D., Huang T., Kou X., Zhang Y. et al. MeJA Enhances Antioxidant Activity and Reduces Membrane Lipid Degradation by Maintaining Energy Charge Levels in Crystal Grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 2024;216:113078. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113078>

Сведения об авторах

Галина Константиновна Киселёва, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7583-1261>

Юрий Федорович Якуба, доктор химических наук, доцент, заведующий информационно-аналитической лабораторией, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: uriteodor@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2711-2419>

Валерий Семёнович Петров, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: Petrov_53@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0856-7450>

Ирина Анатольевна Ильина, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: kubansad@kubannet.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4615-3331>

Наталья Михайловна Запорожец, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: nat_zaporozhec@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5932-5526>

Анна Александровна Хохлова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»; 350901, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39; e-mail: anemona2009@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6047-2040>

Information about the authors

Galina K. Kiseleva, CSc (Bio), Associate Professor, Senior Research Associate, North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture; 39 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: galina-kiseleva-1960@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7583-1261>

Yuriy F. Yakuba, DSc (Chem), Associate Professor, Head of Information and Analytical Laboratory, North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture; 39 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: uriteodor@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2711-2419>

Valeriy S. Petrov, DSc (Ag), Associate Professor, Leading Research Associate, North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture; 39 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: Petrov_53@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0856-7450>

Irina A. Ilyina, DSc (Tech), Professor, Deputy Chief for Science North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture; 39 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: kubansad@kubannet.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4615-3331>

Natalia M. Zaporozhets, CSc (Ag), Scientific Secretary, North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture; 39 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: nat_zaporozhec@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5932-5526>

Anna A. Khokhlova, CSc (Bio), Research Associate, North Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture; 39 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, 350901, Russia; e-mail: anemona2009@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6047-2040>

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

Стабильность накопления фенольных соединений как видовая особенность представителей семейства Яснотковые (*Lamiaceae*)

**Елена Львовна Маланкина, Елена Николаевна Еремеева[✉],
Вера Ивановна Терехова**

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: e.tkacheva@rgau-msha.ru

Аннотация

Содержание вторичных метаболитов в растениях сильно варьирует в зависимости от погодно-климатических условий. Поэтому актуальными проблемами лекарственного растениеводства являются оценка таксонов по стабильности содержания целевых соединений в разные по погодным условиям годы и выявление наиболее предсказуемых по этому параметру видов. Проведена оценка 14 хозяйственно значимых видов из семейства Яснотковые (*Lamiaceae*). Многие представители семейства Яснотковые относятся к востребованным лекарственным, эфирномасличным и пряно-ароматическим культурам благодаря содержанию биологически активных веществ с многофункциональным действием. Целью работы является сравнительная оценка представителей семейства Яснотковые по стабильности состава сырья в зависимости от погодно-климатических условий года. Для достижения поставленной цели было определено содержание фенольных соединений в изучаемых видах и приведена их сравнительная характеристика. Содержание фенольных соединений отражает суммарное количество различных групп вторичных метаболитов: это и простые фенолы, и флавоноиды, и дубильные вещества, и фенолкарбоновые кислоты. В результате 4-летних наблюдений как стабильные по содержанию фенольных соединений при различных погодно-климатических условиях следует отметить следующие виды: чабер садовый (коэффициент вариации – 3,48%), душица обыкновенная (коэффициент вариации – 4,11%), иссоп лекарственный (коэффициент вариации – 5,59%), тимьян обыкновенный (коэффициент вариации – 8,21%), монарда дудчатая (коэффициент вариации – 9,5%) и змееголовник молдавский (коэффициент вариации – 9,71%). Следовательно, именно у этих культур будут наиболее предсказуемыми показатели содержания фенольных соединений и, соответственно, качество сырья для дальнейшего применения и переработки.

Ключевые слова

Фенольные соединения, фенолы, Яснотковые, чабер садовый, душица обыкновенная, иссоп лекарственный, тимьян обыкновенный, монарда дудчатая, змееголовник молдавский, мята перечная

Для цитирования

Маланкина Е.Л., Еремеева Е.Н., Терехова В.И. Стабильность накопления фенольных соединений как видовая особенность представителей семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 137–149.

**Stability of phenolic compound accumulation as a species feature
of the *Lamiaceae* family**

Elena L. Malankina, Elena N. Ereemeeva[✉], Vera I. Terekhova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[✉]**Corresponding author:** e.tkacheva@rgau-msha.ru

Abstract

The content of secondary metabolites in plants varies greatly depending on weather and climate conditions, therefore, an urgent problem in medicinal plant breeding is the assessment of taxa for the stability content of target compounds in different weather years and the identification of the most predictable species by this parameter. The work assesses 14 economically significant species from the *Lamiaceae* family. Many species of the *Lamiaceae* family are considered as popular medicinal, essential oil and spice-aromatic plants due to the content of biologically active compounds with multifunctional action. The aim of the work is a comparative assessment of *Lamiaceae* family representatives in terms of the stability of the raw material composition depending on the weather and climatic conditions of the year. To achieve this, the content of phenolic compounds in the studied species was determined and their comparative characteristics were provided. The content of phenolic compounds reflects the total amount of different groups of secondary metabolites. They include simple phenols, flavonoids, tannins, and phenolic carboxylic acids. As a result of 4-year observations, the following species should be noted as stable in terms of phenolic compound content under various weather and climate conditions: *Satureja hortensis* (coefficient of variation 3.48%), *Origanum vulgare* (coefficient of variation 4.11%), *Hyssopus officinalis* (coefficient of variation 5.59%), *Thymus vulgaris* (coefficient of variation 8.21%), *Monarda fistulosa* (coefficient of variation 9.5%) and *Dracocephalum moldavica* (coefficient of variation 9.71%). Consequently, these plants will have the most predictable indicators of phenolic compound content and raw material quality for further use and processing.

Keywords

Phenolic compounds, phenols, *Lamiaceae*, *Satureja hortensis*, *Origanum vulgare*, *Hyssopus officinalis*, *Thymus vulgaris*, *Monarda fistulosa*, *Dracocephalum moldavica*, *Mentha piperita*

For citation

Malankina E.L., Ereemeeva E.N., Terekhova V.I. Stability of phenolic compound accumulation as a species feature of the *Lamiaceae* family. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 137–149.

**Введение
Introduction**

Накопление и состав вторичных метаболитов определяются как наследственными факторами, так и в значительной степени – условиями среды. Каждая группа фармакологически значимых соединений характеризуется определенными параметрами, необходимыми для синтеза в растении. Это прежде всего такие абиотические факторы, как температура, долгота дня, спектральный состав света, соотношение доступных элементов питания в почве и даже пораженность вредителями и болезнями. Исходя из этого их содержание будет сильно изменяться в зависимости от зоны

выращивания и условий года. Однако для каждого вида и даже сорта характерен свой диапазон нормы реакции. Следует также учитывать большое число соединений, синтезируемых в растении. Так, только фенольных соединений, по данным М.Н. Запрометова, насчитывается больше 5 тыс. Они представлены как достаточно простыми по структуре фенолами и фенолкарбоновыми кислотами, так и более сложными танинами и флавоноидами [1]. Соответственно их динамика накопления и соотношение зависят не только от наследственных факторов, определяющих прежде всего перечень соединений [2].

Влияние абиотических условий – таких, как температура, влажность воздуха, осадки, состав почвы, а также географические факторы, в частности, высота над уровнем моря, широтность и связанная с ней инсоляция, число солнечных дней и интенсивность ультрафиолетовой части спектра, – могут определять качественные показатели сырья [3–7]. По наблюдениям ряда авторов, на овощных культурах повышение температуры увеличивает накопление фенольных соединений у ряда растений – таких, как *Phaseolus vulgaris* [8], салат [9] и томат [10]. На содержание фенольных соединений оказывает влияние и фаза развития растений [6, 11]. Относительно накопления фенольных соединений в литературе встречается мнение о том, что во многих случаях они являются реакцией на стресс [12]. Стрессовые температуры могут влиять на метаболизм растений несколькими способами включая выработку фенольных соединений [13], создавая их запас в ответ на изменение макро- и микроэкологических условий [14, 15]. Биосинтез этой группы значительная доля исследователей считает адаптивной способностью растений справляться с фитопатогенами и вредителями [16–18].

Таким образом, стабильность содержания фармакологически значимых соединений в сырье является важным показателем, определяющим качество сырья и экономические показатели его производства. Оценка видов по стабильности содержания фармакологически значимых соединений является актуальной проблемой лекарственного растениеводства и позволит прогнозировать результат.

Среди представителей семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) много лекарственных, эфирномасличных и пряно-вкусовых культур. Они содержат как терпеноиды (эфирные масла), так и фенольные соединения (дубильные вещества, флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, компоненты эфирных масел), а также другие вещества с антиоксидантной активностью [19–23]. Однако по нашим многолетним наблюдениям, показатели содержания этих соединений сильно варьировали по годам.

Цель исследований: сравнительная оценка представителей семейства Яснотковые по стабильности состава сырья в зависимости от условий года.

Методика исследований

Research method

В наших опытах все растения выращивались в одной географической точке, на опытном поле Учебно-научно-производственного центра садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и, соответственно, в одинаковых условиях. Почва участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, хорошо оструктуренная с глубиной пахотного горизонта 20–22 см. Содержание гумуса – 2,9%, подвижного фосфора P_2O_5 –240 мг/кг, подвижного калия K_2O – 180 мг/кг, рН – 6,6. В качестве объектов исследований были выбраны 14 видов, сырьем которых является надземная часть: душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.), змееголовник молдавский (*Dracocephalum moldavica* L.), иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.), котовник крупноцветковый (*Nepeta grandiflora* Bieb.), лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), многоколосник фенхельный (*Agastache*

foeniculum L.), Melissa лекарственная (*Melissa officinalis* L.), монарда дудчатая (*Monarda fistulosa* L.), мята перечная (*Mentha × piperita* L.), тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.), тимьян лимонный (*Thymus × citriodorus* (Pers.) Schreb.), тимьян ползучий (*Thymus. serpyllum* L.), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), чабер садовый (*Satureja hortensis* L.). Срезку сырья производили в период технической спелости, который у данных растений наступает в фазе массового цветения. Урожайность определяли в 4-кратной повторности, размер учетной делянки – 0,66 м² (1 пог. м при междурядьях 60 см). Содержание суммы фенольных соединений и дубильных веществ определяли модифицированным методом Фолина-Чокальтеу для анализа суммарного содержания полифенолов в сухих растительных экстрактах в пересчете на галловую кислоту. Масса навески сухого сырья составляла 0,5 г, объем растворителя (50%-ный этанол) – 50 мл, время экстракции на кипящей водяной бане – 30 мин. Затем раствор процеживали и определяли сумму фенольных соединений при длине волны 765 нм [24]. Статистическая обработка полученных результатов произведена с использованием программы Microsoft Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение Results and discussion

Показатель урожайности для большинства культур может варьировать в широких пределах, определяясь как условиями, так и уровнем агротехники. На рисунке 1 представлена урожайность изучаемых видов в фазе технической спелости, то есть массового цветения для всех, кроме Melissa лекарственной, которую убирали чуть раньше, до начала цветения. Как следует из данных рисунка, сбор сырья с единицы площади у изучаемых видов был ниже, чем указывается для южных регионов (Черноземье, Краснодарский край), но соответствовал таковому для Московской области [25] и других регионов Северо-Запада и Центральной России. У некоторых видов отмечены весьма существенные колебания этого показателя по годам.

Из данных рисунка 1 следует, что урожайность многолетников не всегда увеличивалась с возрастом растения, а в значительной степени зависела от погодных условий. При этом следует отметить, что наиболее благоприятные годы у разных видов были разными. Так, 2016 год был очень благоприятным для таких культур, как змееголовник (490 против 440 г/м² в контроле), лофант (390 и 345 г/м² соответственно), монарда (410 и 350 г/м² соответственно) и чабер (320 и 280 г/м² соответственно). В 2017 г. были холодными май и начало июня, что не позволило посеять однолетники в оптимальные сроки, а появившиеся всходы развивались медленно и недружно. С точки зрения накопления урожая это оказалось критичным, но в то же время для многолетних культур холодное и влажное начало лета было достаточно благоприятным, хотя у некоторых из них отмечены более поздние цветение и плодоношение. Урожайность в 2017 г. была выше средней многолетней у душицы, иссопа, котовника, мяты перечной и шалфея лекарственного.

При проведении анализа коэффициента вариации для всех культур (рис. 2) выявлено, что он находился в пределах от 5,6% у тимьяна лимонного до 18,4% у чабера садового. Однако в большинстве случаев независимо от культуры он укладывался в диапазон 11...18%.

Варьирование считается слабым при $C_v \leq 10\%$. В наших исследованиях таким коэффициентом вариации характеризовались 3 культуры: тимьян лимонный (5,6%), шалфей лекарственный (9,4%), лофант анисовый (9,9%). Это говорит о стабильности данных видов по показателю урожайности. Средним коэффициентом вариации (C_v от 11 до 25%) характеризовались все остальные культуры.

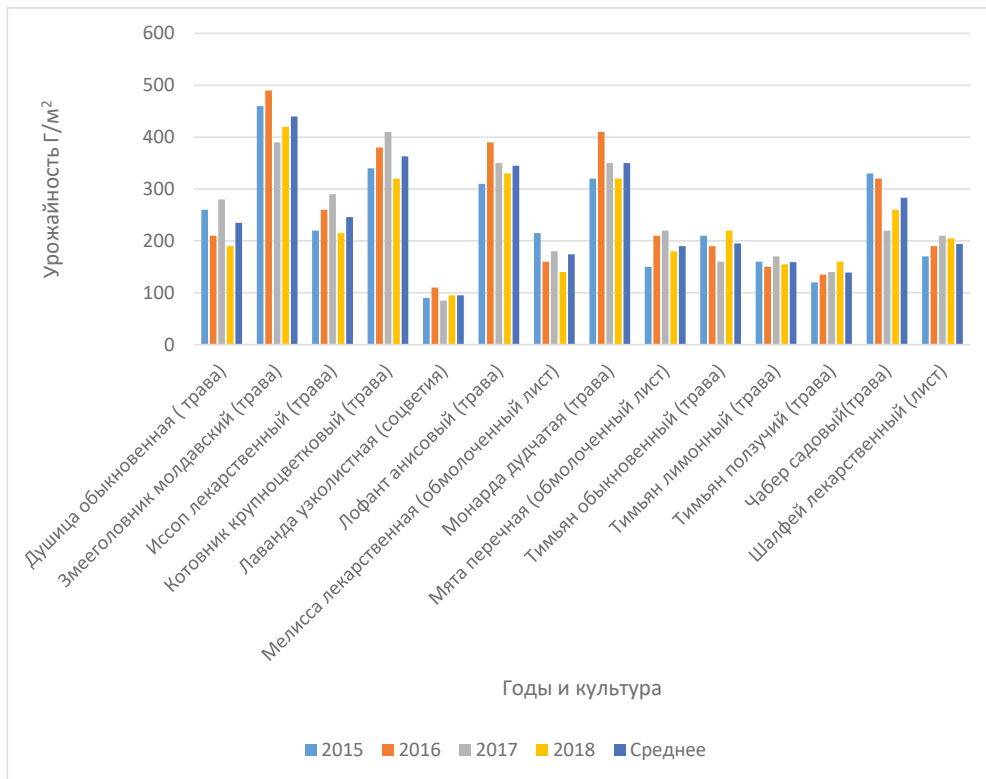


Рис. 1. Урожайность сырья изучаемых видов в фазу технической спелости
Figure 1. Yield of the raw materials of the studied species in the phase of technical maturity

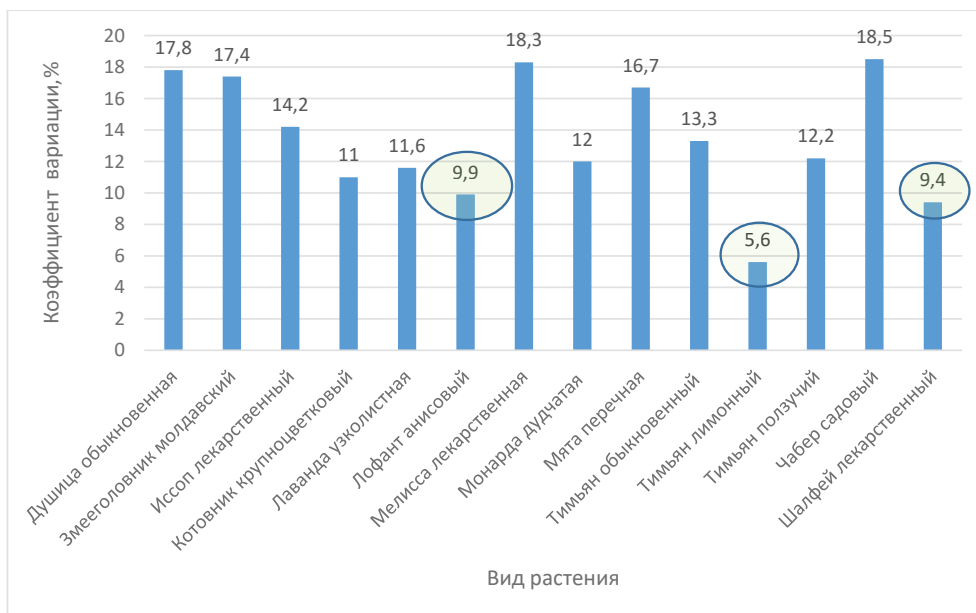


Рис. 2. Коэффициент вариации урожайности по годам, %
Figure 2. Variation coefficient of the yield by years, %

В комплекс фенольных соединений входят, как сказано выше, простые фенолы, флавоноиды и танины. Полученные результаты представлены в таблице. Вероятно, в связи с тем, что фенолы представлены в растении столь разнообразно, данные по условиям, влияющим на их накопление фенольных соединений, довольно противоречивы. Как сказано выше, их содержание во многих случаях было выше при экстремальных погодных условиях. Предполагается, что повышенный биосинтез вторичных метаболитов в стрессовых условиях защищает клеточные структуры от оксидативного стресса [26]. Следовательно, антиоксидантная активность сырья растений также будет существенно зависеть от условий роста и развития растений [27, 28].

Предшественником фенольных соединений является аминокислота фенилаланин, из которой далее по шикиматному пути происходит синтез фенольных соединений. На разных этапах этот процесс контролируется определенными ферментами и требует различных условий. Встречающиеся в литературе работы часто посвящены изучению сырья, собранного в различных регионах, что приводит к искаженной оценке при сравнении содержания фармакологически значимых соединений. Видимо, по этой причине имеющиеся сведения являются довольно противоречивыми.

Таблица

Сумма полифенолов в сырье изучаемых видов в фазе технической спелости, %

Table

**Sum of polyphenols in the raw materials of the studied species
in the phase of technical maturity, %**

Культура	По годам				Среднее много- летнее значение по культуре
	2015	2016	2017	2018	
Душица обыкновенная	7,05±0,06	6,82±0,0,3	7,11±0,03	13,06±0,06	<u>8,51</u> ±3,04
Мята перечная	7,90±0,06	7,43±0,04	7,07±0,08	11,90±0,06	<u>8,58</u> ±2,24
Мелисса лекарственная	6,60±0,05	7,02±0,05	7,77±0,04	11,27±0,14	<u>8,16</u> ±2,13
Тимьян ползучий	6,45±0,04	6,35±0,04	6,68±0,04	8,46±0,03	6,98±0,99
Тимьян обыкновенный	6,63±0,08	6,45±0,05	6,98±0,05	7,74±0,04	6,95±0,571
Тимьян лимонный	7,35±0,05	5,87±0,05	6,25±0,05	7,82±0,04	6,83±0,92
Чабер садовый	6,23±0,05	6,36±0,05	6,57±0,06	6,74±0,04	6,48±0,23
Змееголовник молдавский	5,62±0,05	5,77±0,05	5,68±0,06	6,85±0,05	5,98±0,58
Монарда дудчатая	5,60±0,07	5,00±0,04	5,43±0,04	6,28±0,05	5,58±0,53
Шалфей лекарственный	4,60±0,07	5,85±0,05	5,35±0,03	5,88±0,05	5,42±0,59
Котовник крупноцветковый	4,50±0,06	5,82±0,04	7,29±0,06	4,05±0,03	5,41±1,46
Иссоп лекарственный	5,51±0,036	4,81±0,032	5,26±0,038	5,16±0,05	5,19±0,29
Лофант анисовый	4,21±0,059	4,05±0,051	4,17±0,099	3,10±0,13	3,88±0,53
Лаванда узколистная	2,90±0,061	3,04±0,049	1,92±0,046	2,23±0,04	2,52±0,54
Среднее значение по году	5,80	5,76	5,97	7,18	—

В работе было определено суммарное содержание фенольных соединений как интегральный показатель, который будет определять антиоксидантную активность сырья у растений, выращенных в одинаковых условиях, что позволяет провести сравнительную оценку стабильности видов по накоплению полифенолов. Как следует из данных таблицы, сумма фенольных соединений в изучаемых видах колеблется от 5 до 8,5%, за исключением лобанга и лаванды, у которых содержание полифенолов в среднем за 4 года составило всего 3,88 и 2,52% соответственно. У трех культур, а именно у душицы обыкновенной, мяты перечной и Melissa лекарственной, среднее значение за 4 года превысило 8%. Следует отметить 2018 год как наиболее благоприятный для накопления полифенолов: среднее значение для 14 культур составило 7,18%, в то время как, например, в 2016 г. – только 5,76%, то есть на 1,5% выше.

Из данных рисунка 3 следует, что у таких культур, как душица обыкновенная, мята перечная, Melissa лекарственная, котовник крупноцветковый, наблюдались весьма большие различия по годам: например, у душицы разница составила 2 раза, то есть 6,82 и 13,06%, в зависимости от года. В то же время иссоп лекарственный и чабер садовый отличались стабильным содержанием фенольных соединений в сырье, значения максимально приближены друг к другу на диаграмме. По данным литературы, их содержание может находиться в пределах 7...12% [29]. Это говорит о том, что полученные в условиях Московской области значения укладываются в средние показатели, указанные другими авторами. В литературе встречаются данные о значительном увеличении содержания фенолов в растении под действием тех или иных факторов [30, 31], но, вероятно, подобная реакция все же является видоспецифичной.

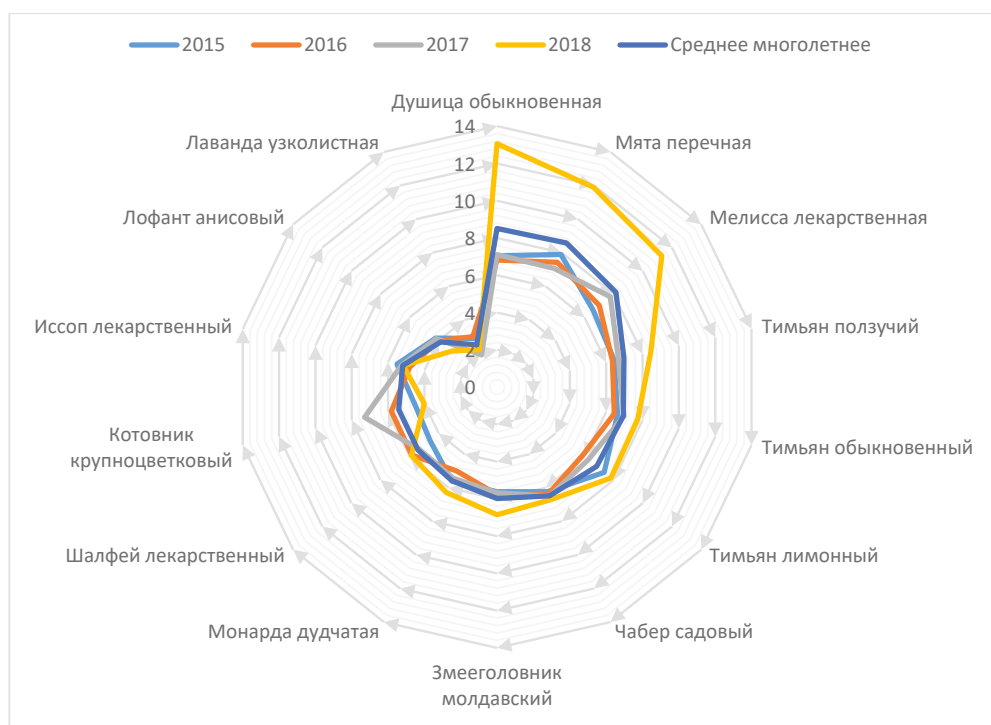


Рис. 3. Вариабельность суммы фенольных соединений у изучаемых видов в зависимости от года
Figure 3. Variability of the sum of phenolic compounds in the studied species depending on the year

Вероятнее всего, изменение содержания фенольных соединений в сырье связано с погодными условиями, и прежде всего – суммой осадков и среднесуточными температурами. Период уборки в зависимости от культуры приходился на последнюю декаду июня (все виды тимьяна и мелисса), вторую декаду июля (остальные культуры, кроме чабера садового, уборка которого приходилась на первую декаду августа). В 2015 и 2016 гг. этот период характеризовался высокими среднесуточными температурами (+21,6...+21,9°C) на фоне отсутствия осадков в 2015 г. и большим количеством осадков в 2016 г. В 2017 г. среднесуточные температуры в этот период были ниже +20°C, а сумма осадков за декаду превышала 40 мм. 2018 год по своим параметрам приближался к средним многолетним показателям для Москвы.

Стабильность содержания фенолов хорошо отражена коэффициентом вариации (рис. 4).

Как следует из диаграммы (рис. 4), по показателю содержания фенольных соединений в сырье 6 видов имеют слабое варьирование ($C_v \leq 10\%$), 5 видов – среднее варьирование (C_v от 11 до 25%), и только 3 вида характеризовались сильным варьированием ($C_v > 25\%$): котовник крупноцветковый, мята перечная и мелисса лекарственная.

По результатам четырехлетних исследований можно предположить, что у представителей семейства Яснотковые реакция на погодные условия является видоспецифичной, но для большинства изучаемых видов для накопления суммы фенольных соединений в сырье предпочтительны среднесуточные температуры +21,5...+22°C и среднее количество осадков около 40 мм за предшествующие две декады. Как избыточно высокие, так и слишком низкие среднесуточные температуры отрицательно влияли на суммарное накопление фенольных соединений [32].

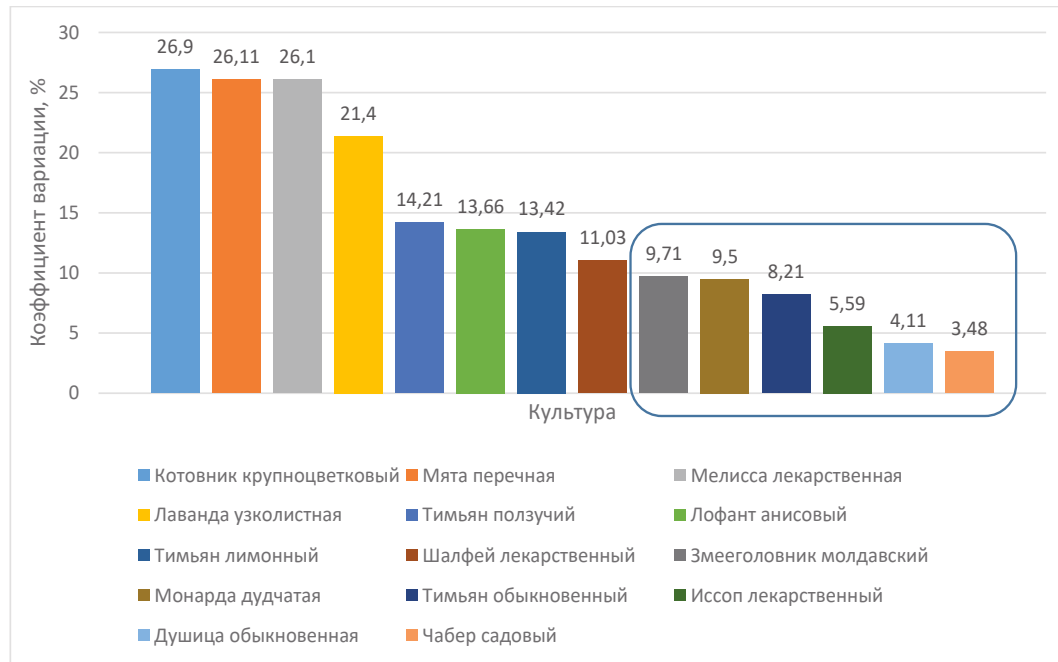


Рис. 4. Коэффициент вариации показателя «Содержание фенольных соединений» в зависимости от культуры

Fig. 4. Variation coefficient of the indicator “phenolic compound content” depending on the crop

Выводы Conclusions

Как стабильные по содержанию фенольных соединений при различных погод-но-климатических условиях, следует отметить виды: чабер садовый (коэффициент вариации – 3,48%); душица обыкновенная (коэффициент вариации – 4,11%); иссоп лекарственный (5,59%); тимьян обыкновенный (8,21%); монарда дудчатая (9,5%); змееголовник молдавский (9,71%). Следовательно, именно у этих культур будут наиболее предсказуемыми показатели содержания фенольных соединений в сырье.

Список источников

1. Запрометов М.Н. *Фенольные соединения и их роль в жизни растения*. М.: Наука, 1996. 45 с.
2. Антоненко М.С., Меснянкина В.С., Маланкина Е.Л. Вариабельность содержания фенольных соединений в листьях кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) в зависимости от условий произрастания // *Овощи России*. 2024. № 3. С. 36-44. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-36-44>
3. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M., Hemmerich I., Rauh C., et al. Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hortic.* 2018;239:193-204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>
4. Mykhailenko O., Gudžinskas Z., Kovalyov V., Desenko V., Ivanauskas L., Bezruk I. et al. Effect of Ecological Factors on the Accumulation of Phenolic Compounds in Iris Species from Latvia, Lithuania and Ukraine. *Phytochem. Anal.* 2020;31(5):545-563. <https://doi.org/10.1002/pca.2918>
5. Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Макаров П.М., Гулакова Н.М., Кузнецова И.Б. Особенности размножения эстрагона (*Artemisia dracunculus* L.) в культуре in vitro и ex vitro // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 3 (101). С. 77-83. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>
6. Макаров С.С., Макарова Т.А., Бердышева Е.А. *Способы получения растительного сырья кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.) в условиях таежной зоны Западной Сибири*: Монография. Москва: Колос-с, 2023. 72 с. EDN: BYXSCF.
7. Макаров П.Н., Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Гулакова Н.М. Микрклональное размножение наперстянки пурпурной (*Digitalis purpurea* L.) и адаптация регенерантов методом гидропоники // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 4. С. 53-69. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>
8. Ampofo J., Ngadi M., Ramaswamy H.S. The Impact of Temperature Treatments on Elicitation of the Phenylpropanoid Pathway, Phenolic Accumulations and Antioxidative Capacities of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Sprouts. *Food. Bioprocess. Technol.* 2020;13(9):1544-1555. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02496-9>
9. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M., Hemmerich I., Rauh C., et al. (2018). Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hortic.* 239, 193-204. Doi: 10.1016/j.scienta.2018.05.020.
10. Alhathloul H.A.S., Galal F.H., Seufi A.M. Effect of Extreme Temperature Changes on Phenolic, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *PeerJ*. 2021;9: e11193. <https://doi.org/10.7717/peerj.11193>
11. Жукова О.Л., Абрамов А.А., Даргаева Т.Д., Маркарян А.А. Изучение фенольного состава подземных органов сабельника болотного // *Вестник МГУ. Серия «Химия»*. 2006. Т. 47, № 5. С. 342-345. EDN: JVHDQN.

12. Isah T. Stress and Defense Responses in Plant Secondary Metabolites Production. *Biological Research*. 2019;52 (1):39. <https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>
13. Morison J.I., Lawlor D.W. Interactions between Increasing CO₂ Concentration and Temperature on Plant Growth. *Plant Cell Environment*. 1999;22(6):659-682. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00443.x>
14. Shohael A.M., Ali M.B., Yu K.W., Hahn E.J., Paek K.Y. Effect of Temperature on Secondary Metabolites Production and Antioxidant Enzyme Activities in *Eleutherococcus senticosus* Somatic Embryos. *Plant Cell Tissue Organ Culture*. 2006;85(2):219-228. <https://doi.org/10.1007/s11240-005-9075-x>
15. Berini J.L., Brockman S.A., Hegeman A.D., Reich P.B., Muthukrishnan R., Montgomery R.A., Forester J.D. Combinations of Abiotic Factors Differentially Alter Production of Plant Secondary Metabolites in Five Woody Plant Species in the Boreal-temperate Transition Zone. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1257. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01257>
16. Kim Y.S., Choi Y.E., Sano H. Plant Vaccination: Stimulation of Defense System by Caffeine Production in *Planta*. *Plant Signal Behavior*. 2010;5(5):489-493. <https://doi.org/10.4161/psb.11087>
17. De Luca V., Salim V., Atsumi S.M., Yu F. Mining the Biodiversity of Plants: a Revolution in the Making. *Science*. 2012;336(6089):1658-1661. <https://doi.org/10.1126/science.1217410>
18. Wurtzel E.T., Kutchan T.M. Plant Metabolism, the Diverse Chemistry Set of the Future. *Science*. 2016;353(6305):1232-1236. <https://doi.org/10.1126/science.aad2062>
19. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR
20. Макаров П.Н., Макаров С.С., Чудецкий А.И., Зайцев А.Л. *Биологические особенности роста и развития растений рода Монарда (Monarda L.) в условиях закрытого и открытого грунта: Монография*. Москва: Колос-с, 2023. 74 с. EDN: IGRLRE.
21. Маланкина Е.Л., Ткачёва Е.Н., Козловская Л.Н. Лекарственные растения семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) как источники флавоноидов // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2018. Т. 21, № 1. С. 30-35. <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-01-06>
22. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Kuzmenko A.N., Zaychik B.T., Ruzhitskiy A.O., Evgrafova S.L. Some specific features of the biochemical composition of the raw material of mint (*Mentha spicata* var. *crispa* L.). *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2022;77(6):342-346. <https://doi.org/10.3103/S0027131422060050>
23. Маланкина Е.Л., Солопов С.Г., Романова Н.Г. Взаимосвязь между биохимическими показателями и фенотипическими признаками чабера садового (*Satureja hortensis* L.) // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2023. Т. 26, № 4. С. 10-15. <https://doi.org/10.29296/25877313-2023-04-02>
24. Тутельян В.А. *Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи* / Под ред. В.А. Тутельяна, К.И. Эллера. М., 2010. 180 с.
25. Воронина Е.П., Горбунов Ю.Н., Горбунова Е.О. *Новые ароматические растения для Нечерноземья*. М.: Наука, 2001. 172 с.
26. Kumar I., Sharma R.K. Production of Secondary Metabolites in Plants under Abiotic Stress: an Overview. Significances Bioeng. *Biosci*. 2018;2:196-200. <https://doi.org/10.31031/sbb.2018.02.000545>
27. Ksouri R., Megdiche W., Falleh H., Trabelsi N., Boulaaba M., Smaoui A. et al. Influence of Biological, Environmental and Technical Factors on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Tunisian Halophytes. *C.R. Biol*. 2008;331:865-873. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.07.024>
28. Kumari B., Tiwari B.K., Hossain M.B., Rai D.K., Brunton N.P. Ultrasound-assisted Extraction of Polyphenols from Potato Peels: Profiling and Kinetic Modelling. *Int. J. Food Sci. Technol*. 2017;52:1432-1439. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13404>

29. Marshall H., Scora R. A New Chemical Race of *Monarda fistulosa* (Labiatae). *Canadian Journal of Botany*. 1972;50(9):1845-1849.
30. Janicsák G., Máthé I., Miklóssy-Vári V. Comparative Studies of the Rosmarinic and Caffeic Acid Contents of *Lamiaceae* Species. *Biochemical Systematics and Ecology*. 1999;27(7):733-738.
31. Berezina E., Brilkina A., Veselov A. Content of Phenolic Compounds, Ascorbic Acid, and Photosynthetic Pigments in *Vaccinium macrocarpon* Ait. Dependent on Seasonal Plant Development Stages and Age (the Example of Introduction in Russia). *Scientia Horticulturae*. 2017;218:139-146. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.020>
32. Ткачёва Е.Н. Особенности накопления полифенолов в сырье лекарственных растений из семейства Яснотковые // V научно-практическая конференция «Современные аспекты использования растительного сырья и сырья природного происхождения в медицине». 15 марта 2017 г. Москва: Изд-во Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, 2017. С. 217-219. EDN: YJJPQL.

References

1. Zaprometov M.N. *Phenolic compounds and their role in plant life*. Moscow, Russia: Nauka, 1996:45. (In Russ.)
2. Antonenko M.S., Mesnjankina V.S., Malankina E.L. Variety of active ingredients in leaves and flowers of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., depending on type of natural population. *Vegetable Crops of Russia*. 2024;(3):36-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-36-44>
3. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M. et al. Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hortic*. 2018;239:193-204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>
4. Mykhailenko O., Gudžinskas Z., Kovalyov V., Desenko V. et al. Effect of Ecological Factors on the Accumulation of Phenolic Compounds in Iris Species from Latvia, Lithuania and Ukraine. *Phytochem. Anal.* 2020;31(5):545-563. <https://doi.org/10.1002/pca.2918>
5. Makarov S.S., Makarova T.A., Samoylenko Z.A., Makarov P.M. et al. Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) In Vitro and Ex Vitro propagation features. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;3:77-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>
6. Makarov S.S., Makarova T.A., Berdysheva E.A. Methods for obtaining plant materials of medicinal burnet (*Sanguisorba officinalis* L.) in the conditions of the Taiga zone of Western Siberia: a monograph. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:72. (In Russ.)
7. Makarov P.N., Makarov S.S., Makarova T.A., Samoylenko Z.A., Gulakova N.M. Microclonal reproduction of *Digitalis purpurea* L. and adaptation of regenerants in hydroponics. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;4:53-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>
8. Ampofo J., Ngadi M., Ramaswamy H.S. The Impact of Temperature Treatments on Elicitation of the Phenylpropanoid Pathway, Phenolic Accumulations and Antioxidative Capacities of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Sprouts. *Food. Bioprocess. Technol.* 2020;13(9):1544-1555. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02496-9>
9. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M. et al. Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hortic*. 2018;239:193-204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>
10. Alhathloul H.A.S., Galal F.H., Seufi A.M. Effect of Extreme Temperature Changes on Phenolic, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *PeerJ*. 2021;9: e11193. <https://doi.org/10.7717/peerj.11193>

11. Zhukova O.L., Abramov A.A., Dargaeva T.D., Markaryan A.A. Study of the phenolic composition of the *Camarum Polustre* soil covered organs. *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2006;47(5):342-345. (In Russ.)
12. Isah T. Stress and Defense Responses in Plant Secondary Metabolites Production. *Biological Research*. 2019;52(1):39. <https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>
13. Morison J.I., Lawlor D.W. Interactions between Increasing CO₂ Concentration and Temperature on Plant Growth. *Plant Cell Environment*. 1999;22(6):659-682. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00443.x>
14. Shohael A.M., Ali M.B., Yu K.W., Hahn E.J., Paek K.Y. Effect of Temperature on Secondary Metabolites Production and Antioxidant Enzyme Activities in *Eleutherococcus senticosus* Somatic Embryos. *Plant Cell Tissue Organ Culture*. 2006;85(2):219-228. <https://doi.org/10.1007/s11240-005-9075-x>
15. Berini J.L., Brockman S.A., Hegeman A.D., Reich P.B. et al. Combinations of Abiotic Factors Differentially Alter Production of Plant Secondary Metabolites in Five Woody Plant Species in the Boreal-temperate Transition Zone. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1257. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01257>
16. Kim Y.S., Choi Y.E., Sano H. Plant Vaccination: Stimulation of Defense System by Caffeine Production in *Planta*. *Plant Signal Behavior*. 2010;5(5):489-493. <https://doi.org/10.4161/psb.11087>
17. De Luca V., Salim V., Atsumi S.M., Yu F. Mining the Biodiversity of Plants: a Revolution in the Making. *Science*. 2012;336(6089):1658-1661. <https://doi.org/10.1126/science.1217410>
18. Wurtzel E.T., Kutchan T.M. Plant Metabolism, the Diverse Chemistry Set of the Future. *Science*. 2016;353(6305):1232-1236. <https://doi.org/10.1126/science.aad2062>
19. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. (In Russ.) EDN: CBVVAR
20. Makarov P.N., Makarov S.S., Chudetsky A.I., Zaitsev A.L. *Biological features of growth and development of plants of the genus Monarda L. in closed and open ground conditions*. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:74. (In Russ.)
21. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Kozlovskaya L.N. Medicinal plants of the Lamiaceae family as flavonoids sources. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2018;21(1):30-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-01-06>
22. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Kuzmenko A.N., Zaychik B.T., Ruzhitskiy A.O., Evgrafova S.L. Some specific features of the biochemical composition of the raw material of mint (*Mentha spicata* var. *crispa* L.). *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2022;77(6):342-346. <https://doi.org/10.3103/S0027131422060050>
23. Malankina E.L., Solopov S.G., Romanova N.G. Relationship between biochemical parameters and phenotypical features of garden savory (*Satureja hortensis* L.). *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2023;26(4):10-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877313-2023-04-02>
24. Tutelyan V.A. *Methods of analysis of minor biologically active substances of food*. Ed. by V.A. Tutelyan, K.I. Eller. Moscow, Russia: 2010:180. (In Russ.)
25. Voronina E.P., Gorbunov Yu.N., Gorbunova E.O. *New aromatic plants for the Non-Black Earth region*. Moscow, Russia: Nauka, 2001:172. (In Russ.)
26. Kumar I., Sharma R.K. Production of Secondary Metabolites in Plants under Abiotic Stress: an Overview. *Significances Bioeng. Biosci*. 2018;2:196-200. <https://doi.org/10.31031/sbb.2018.02.000545>
27. Ksouri R., Megdiche W., Falleh H., Trabelsi N. et al. Influence of Biological, Environmental and Technical Factors on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Tunisian Halophytes. *C.R. Biol*. 2008;331:865-873. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.07.024>

28. Kumari B., Tiwari B.K., Hossain M.B., Rai D.K., Brunton N.P. Ultrasound-assisted Extraction of Polyphenols from Potato Peels: Profiling and Kinetic Modelling. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2017;52:1432-1439. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13404>
29. Marshall H., Scora R. A New Chemical Race of *Monarda fistulosa* (Labiatae). *Canadian Journal of Botany.* 1972;50(9):1845-1849.
30. Janicsák G., Máthé I., Miklóssy-Vári V. Comparative Studies of the Rosmarinic and Caffeic Acid Contents of *Lamiaceae* Species. *Biochemical Systematics and Ecology.* 1999;27(7):733-738.
31. Berezina E., Brilkina A., Veselov A. Content of Phenolic Compounds, Ascorbic Acid, and Photosynthetic Pigments in *Vaccinium macrocarpon* Ait. Dependent on Seasonal Plant Development Stages and Age (the Example of Introduction in Russia). *Scientia Horticulturae.* 2017;218:139-146. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.020>
32. Tkacheva E.N. Features of polyphenol accumulation in raw materials of medicinal plants from the Lamiaceae family. *V nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Sovremennyye aspekty ispolzovaniya rastitelnogo syrya i syrya prirodnogo proiskhozhdeniya v meditsine'.* March 15, 2017. Moscow, Russia: Perviy Moskovskiy gosudarstvenniy meditsinskiy universitet imeni I.M. Sechenova, 2017;217-219. (In Russ.)

Сведения об авторах

Елена Львовна Маланкина, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–56–17; e-mail: malankina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0646-6904>

Елена Николаевна Еремеева, кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель кафедры овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–56–17; e-mail: e.tkacheva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0000-8038-7564>

Вера Ивановна Терехова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–56–17; e-mail: v_terekhova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8867-6539>

Information about the authors

Elena L. Malankina, DSc (Ag), Professor, Professor at the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–56–17; e-mail: malankina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0646-6904>

Elena N. Eremeeva, CSc (Ag), Lecturer at the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–56–17; e-mail: e.tkacheva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0000-8038-7564>

Vera I. Terekhova, CSc (Ag), Associate Professor, Acting Head of the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–56–17; e-mail: v_terekhova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8867-6539>

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Линейная оценка коров по облаку точек

**Илья Дмитриевич Забарин¹✉, Денис Викторович Шилин¹,
Алексей Николаевич Васильев²**

¹Национальный исследовательский университет МЭИ, Москва, Россия

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** ZabarinID@mpei.ru

Аннотация

В статье анализируются значимость и актуальность внедрения технологии 3D-камер в аграрный сектор, особенно в области сельского хозяйства и животноводства. Основное внимание уделяется сложности и трудоемкости существующего процесса линейной оценки коров на фермах, который в настоящее время не автоматизирован и требует значительных усилий. В качестве потенциального решения этой проблемы предлагается использование 3D-камеры Intel RealSense D435 в сочетании с разработанными алгоритмами для эффективного извлечения и обработки информации из облака точек коровы. Во введении статьи представлен анализ существующих научных исследований и разработок по рассматриваемой проблеме, что подчеркивает важность и своевременность темы. Далее авторы переходят к описанию методики сбора трехмерных данных крупы коровы с использованием упомянутой 3D-камеры, обосновывая выбор данного оборудования для решения поставленной задачи. В ходе исследований были разработаны и адаптированы алгоритмы для выполнения фильтрации, предварительной обработки облака точек, полученного с коров, с последующей сегментацией и измерением линейных параметров животных. Эти алгоритмы были подвергнуты тестированию в лабораторных условиях на специально созданном макете крупы коровы. Целью испытаний было сравнение результатов, полученных как с помощью ручных измерений, так и в результате автоматизированного процесса. По итогам лабораторных испытаний установлено, что средняя ошибка измерений, выполненных алгоритмом, составляет 3,5%, тогда как максимальная ошибка не превысила 9,2%. Также было проведено тестирование алгоритма непосредственно на ферме. Этот этап позволил проверить работоспособность и эффективность предложенного решения в реальных условиях. Результаты тестирования подтвердили высокую применимость и потенциал внедрения разработанной системы. Таким образом, предлагается инновационное решение, которое может улучшить текущий подход в измерении линейных параметров коровы.

Ключевые слова

3D-камера, линейная оценка коров, автоматизация в сельском хозяйстве, Intel RealSense D435, обработка облака точек, трехмерный сбор данных о коровах, алгоритмы, измерение коров

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Содействия Инновациям.

Для цитирования

Забарин И.Д., Шилин Д.В., Васильев А.Н. Линейная оценка коров по облаку точек // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 150–163.

Linear estimation of cows by the point cloud

Ilya D. Zabarin¹✉, Denis V. Shilin¹, Alexey N. Vasiliev²

¹Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

✉Corresponding author: ZabarinID@mpei.ru

Abstract

The article analyzes the importance and relevance of implementing 3D camera technology in the agribusiness sector, especially in the field of farming and animal husbandry. The focus is on the complexity and labor-intensive nature of the existing on-farm linear estimation process for cows, which is currently not automated and requires considerable effort. As a potential solution to this problem, the use of an Intel RealSense D435 3D camera in combination with developed algorithms for efficient extraction and processing of information from the cow point cloud is proposed. The introduction of the article analyzes the existing research and development on the problem at hand, which emphasizes the importance and timeliness of the topic. Furthermore, the authors describe the methodology of collecting 3D data of the cow croup using the mentioned 3D camera and justify the choice of this equipment for solving the task at hand. In the course of the work, algorithms were developed and adapted to perform filtering, preprocessing of the point cloud obtained from cows, followed by segmentation and measurement of linear parameters of the animals. These algorithms were subjected to laboratory tests on a specially designed cow croup model. The purpose of these tests was to compare the results obtained from both manual measurements and the automated process. Based on the results of the laboratory tests, it was found that the average error of the measurements made by the algorithm was 3.5%, while the maximum error did not exceed 9.2%. The algorithm was also tested directly on the farm. This stage allowed to verify the performance and efficiency of the proposed solution in real conditions. The test results confirmed the high applicability and implementation potential of the developed system. Thus, an innovative solution is proposed that can improve the current approach to measuring the linear parameters of the cow.

Keywords

3D camera, linear estimation of cows, automation in farming, Intel RealSense D435, point cloud processing, 3D collection of data about cows, algorithms, cow measurement

Acknowledgments

The work was supported by the Innovation Promotion Fund.

For citation

Zabarin I.D., Shilin D.V., Vasiliev A.N. Linear estimation of cows by the point cloud. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 150–163.

Введение Introduction

В современном мире технологии для получения трехмерных данных играют важную роль, проникая в разнообразные сферы жизни. Применение технологий 3D-сканирования помогает получить данные о форме объекта и о его внешнем виде. Они находят применение во многих областях. Одними из ключевых факторов,

обеспечивающих доступ к трехмерным данным, являются методы и технологии их получения. Различные методы и технологии имеют свои возможности, особенности и применимость в различных областях.

Для увеличения производительности молочных ферм необходимо осуществлять постоянный контроль физиологического состояния животных. На сегодняшний день наряду с молочной продуктивностью большое значение имеет конституция коров. Однако в настоящее время линейная оценка экстерьера коров на большинстве ферм производится вручную с использованием измерительной ленты и визуального осмотра. Стоит отметить, что результаты измерений вручную записываются в подготовленный бланк, после чего вручную заносятся в информационную систему. Этот процесс остается неавтоматизированным в хозяйствах, вследствие чего целью работы явилась разработка программно-аппаратного комплекса для автоматизации процесса линейной оценки экстерьера коров.

Необходимость внедрения цифровых технологий и тенденции развития мирового АПК рассматриваются в статье академика Ю.А. Иванова «Цифровое животноводство: перспективы развития» [1]. В этой работе приведен пример значительного повышения эффективности фермерского хозяйства за счет внедрения инновационных технологий. Также внедрение новых технологий для автоматизации процессов может привести к облегчению труда, повышению качества продукта и обеспечению полной прослеживаемости на всех этапах производства молочной продукции. Автор отмечает, что необходимо уделить внимание не только модернизации действующих фермерских хозяйств, но и созданию высокотехнологичных инновационных производств.

Инновационные технологии с использованием 3D-камеры успешно подходят под решение разных задач. В статье Д.В. Шилина и др. «Identification of the cow's nipples using a 3D camera with ToF technology» [2] рассматривается применение ToF-камеры для идентификации всех сосков коровы с целью дальнейшего анализа и формирования точек позиционирования рабочих органов доильного робота. По результатам проведенных исследований и разработок авторам удалось успешное нахождение точек позиционирования в 97,5% случаев. Это доказывает эффективность использования 3D-камер в решении задач анализа экстерьера животного.

В статье «Бесконтактная оценка упитанности молочных коров с использованием ToF-технологии» Д.Ю. Павкин и соавт. [3] предложили методику сбора натуральных данных об упитанности коров с использованием RGB-D камеры Kinect V2. Проводился эксперимент разработанного алгоритма анализа изображений в среде Matlab с использованием сверточных нейронных сетей. Камера была установлена практически перпендикулярно полу. По результатам эксперимента точность выставления оценки упитанности коровы превысила 90%, что доказывает высокую эффективность применения камеры глубины в оценке экстерьера.

Для автоматизации процесса оценки экстерьера коров предлагается использовать программно-аппаратный комплекс с камерой глубины, с помощью которого можно получить облако точек коровы в трехмерной системе координат и провести оценку по полученным с камеры данным.

Методика исследований Research method

Оценка экстерьера коров является важной процедурой в животноводстве, поскольку внешние признаки животного могут раскрыть множество информации об их здоровье, продуктивности и потенциале для размножения. Экстерьер коровы

отражает не только ее текущее состояние, но и возможности приспособиться к условиям содержания, продуктивность в плане молочности или мясной отдачи и способность передавать свои генетические качества потомкам [4].

Экстерьерные оценки проводятся обычно по стандартизированным методикам, включающим в себя оценку множества характеристик, среди которых особое место занимает оценка крупа (задней части животного). Выбор и разведение животных с хорошим экстерьером имеют важное значение для повышения качества стада, увеличения продуктивности и улучшения экономической эффективности животноводческого предприятия [5].

В качестве параметров для линейной оценки экстерьера коровы были выбраны следующие характеристики:

- высота в крестце;
- высота в пояснице;
- высота в маклоке;
- высота в седалищном бугре;
- угол крестца (разница между высотой в маклоке и высотой в седалищном бугре);
- длина крестца (расстояние от маклока до седалищного бугра);
- ширина крестца (расстояние между седалищными буграми);
- ширина в маклоках.

В качестве технологии для получения 3D-данных с камеры глубины выбрана технология RealSense от компании Intel. При выборе камеры рассматривались модели D415 и D435. Это обосновано тем, что более старые модели рассчитаны на большие расстояния считывания информации. Для текущей задачи с динамическим объектом и съемкой на близком расстоянии достаточно рекомендованного для этих камер расстояния от 0,3 (для D435)/0,5 (для D415) до 3 м. При таком расстоянии заявленная погрешность получения глубины составляет <2%. Обе камеры могут использоваться как в помещении, так и на улице, а также имеют одинаковые характеристики по разрешению [6, 7].

У камеры D435 более широкое поле зрения, что важно при съемке большого объекта на близком расстоянии. Также у камеры D435 реализовано считывание глубины с помощью глобального затвора, что позволяет считывать всю матрицу глубины единым снимком, в то время как у D415 считывание матрицы глубины происходит построчно. Важно учитывать этот факт при выборе камеры для съемки динамического объекта, так как при построчном считывании матрицы глубины во время движения объекта могут наблюдаться искажения, что приведет к ошибкам при дальнейшем анализе.

Таким образом, для реализации задач по данной работе выбрана камера Intel RealSense D435 как наиболее сбалансированное и подходящее решение. Но важно отметить, что разрабатываемые алгоритмы могут использоваться с любой из камер, так как для всей линейки RealSense используется единый SDK [8].

В лабораторных условиях была разработана установка, состоящая из штатива высотой 2,1 м, поворотным шарниром, двухплоскостного гидростатического (пузырькового) уровня и крепления для него, а также камеры RealSense D435 [9–11].

Конструкция для снятия трехмерных данных крупа коровы представлена на рисунке 1.

В ходе съемки коровы под разными ракурсами было выявлено, что наиболее информативный и полный снимок получается при съемке, когда плоскость YZ координат камеры проходит через позвоночник (рис. 2).

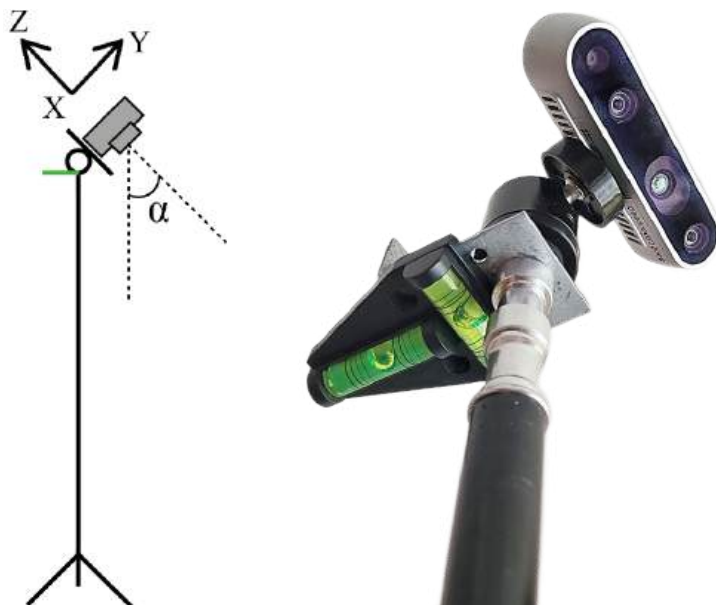


Рис. 1. Конструкция для съятия трехмерных данных крупы коровы

Figure 1. Construction for taking 3D data of a cow croup



Рис. 2. Схематичное представление съемки макета коровы

Figure 2. Schematic representation of shooting a cow model

Эмпирическим путем было выявлено, что оптимальный угол съемки (угол между штативом и осью Z в направлении объекта) находится в пределах от 25 до 40 град. На рисунке 3 изображено облако точек, полученное при найденном оптимальном расположении камеры (слева – фотография макета, справа – полученное с камеры облако точек с выделенными интересующими точками).

Для работы с камерой Intel RealSense необходимо использовать комплект для разработки программного обеспечения, который предоставляется производителем. Данный комплект для разработки был загружен в виде библиотеки Python. Также для разработки данного модуля использовалась библиотека OpenCV для обработки и визуализации данных.

После считывания данных с камеры глубины на снимке присутствует не только объект интереса в виде коровы, но и бокс с окружающей средой. Поэтому для дальнейшего анализа необходимо выделить на сцене только корову, убрав посторонние точки в облаке.

В текущей задаче всегда известны угол и высота съемки, а также геометрические размеры бокса, в котором располагается корова. Благодаря информации о геометрии бокса и взаимном расположении

камеры, можно оставить в облаке лишь те точки, которые лежат внутри бокса [12–14]. В качестве объекта исследований рассматривается снимок реальной коровы с фермы. На рисунке 4 представлено поэтапное изменение данных.

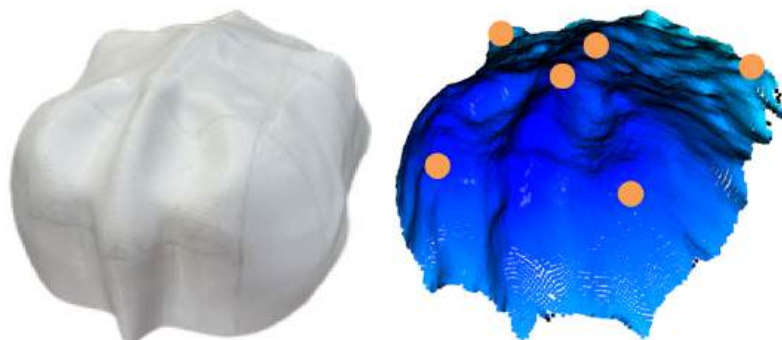


Рис. 3. Макет и облако точек макета с ключевыми точками

Figure 3. Model and the model point cloud with key points

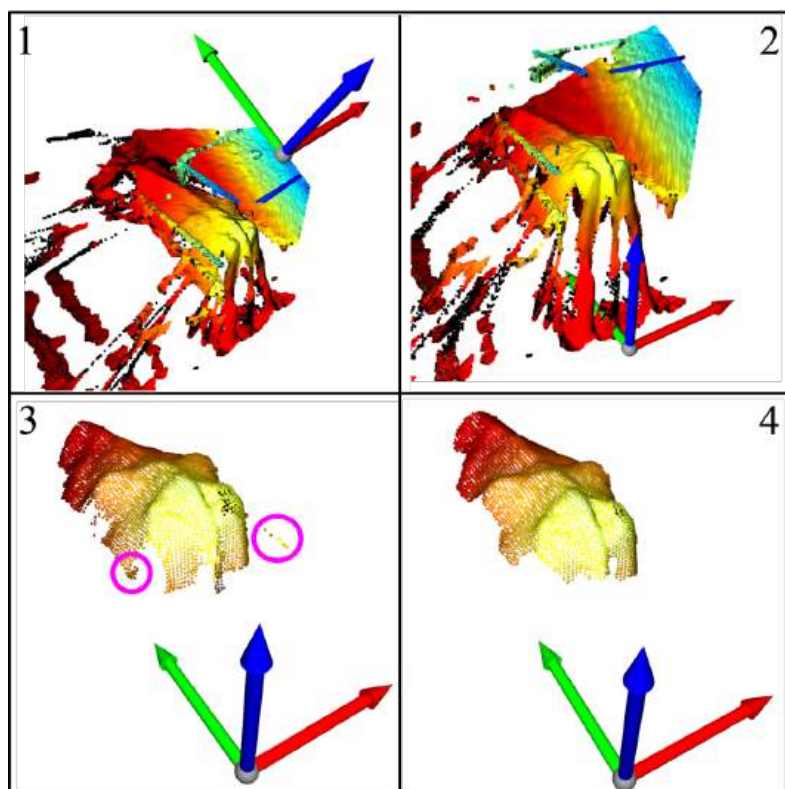


Рис. 4. Поэтапное преобразование облака точек

Figure 4. Step-by-step point cloud transformation

После подготовки объекта исследований, применив алгоритмы для выделения области интереса, фильтрации и определения текущей ориентации, можно приступить к сегментации для последующего извлечения признаков. В рамках текущей задачи необходимо определить на задней части коровы следующие ключевые точки:

- крестец;
- маклоки;
- поясницу;
- седалищные бугры.

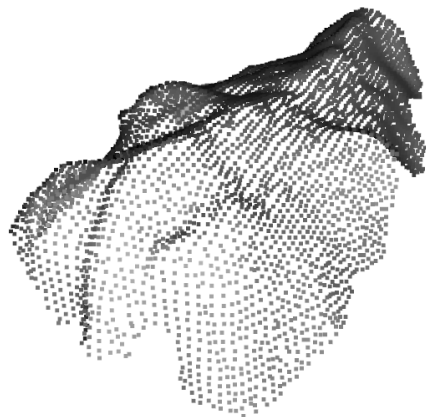


Рис. 5. Облако точек коровы в едином цвете

Figure 5. Cow point cloud in single color

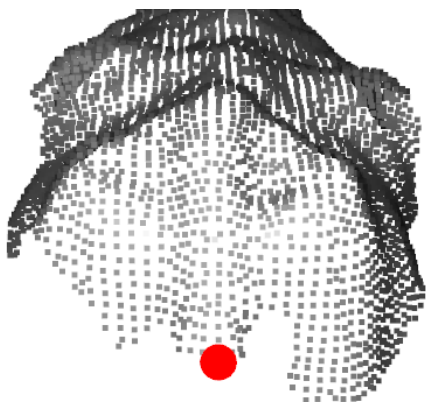


Рис. 6. Облако точек коровы с отмеченной точкой на хвосте

Figure 6. Point cloud of a cow with a marked point on its tail



Рис. 7. Облако точек зоны крестца с отмеченной максимальной по оси Z точкой

Figure 7. Point cloud of the sacrum area with the maximum marked point along the Z axis

Для определения ключевых точек необходимо произвести сегментацию коровы для определения интересующих областей.

Далее пошагово представлены основные действия согласно коду рассматриваемого модуля:

1. Происходит инициализация цвета всех точек путем задания единого темно-серого цвета (рис. 5).

2. Осуществляется определение точки хвоста между сиделищными буграми. Точка хвоста является минимальной точкой по оси Y (что визуально прослеживается сверху). Найденная точка на хвосте (рис. 6) помогает в определении крестца.

3. После определения точки на хвосте вырезается область, потенциально содержащая крестец животного. На этой области определяется максимальная по оси Z точка, которая и является максимальной точкой в крестце (рис. 7).

4. Поиск маклоков коровы производится в несколько этапов. Сначала на модели вырезается область за крестцом (если рассматривать от хвоста), потенциально содержащая маклоки. Последующие действия производятся на вырезанной области. Далее происходит вырезание верхней части облака точек сначала на 5 см и задается допустимая величина максимального среза верхней части точек для поиска маклоков. Код выполняет итерационный поиск маклоков путем поиска максимальной положительной и минимальной отрицательной точек по оси X и сравнения соотношения ширины найденных точек с максимальной шириной коровы. Также в итерационном поиске проверяется, что найденные точки лежат на одной линии с допустимой погрешностью. Если условия не выполняются, то точки не являются маклоками, и программа переходит к следующей итерации. Так продолжается до тех пор, пока не будут найдены маклоки или не будет достигнуто максимальное значение среза верхней части коровы. В случае достижения максимального значения среза код выводит предупреждение и прекращает процесс.

Такой итерационный поиск реализован по причине возможного нахождения маклоков на разном расстоянии от наивысшей точки. А при рассмотрении всей коровы поиск

может быть затруднен при наличии выпирающих боков или других частей. На рисунке 8 демонстрируется поиск маклоков для двух разных коров. У коровы слева (Корова 1) понадобилась одна итерация для нахождения маклоков, а у коровы справа (Корова 2) – две.

5. Для поиска поясничной зоны используются найденные координаты маклоков и крестца, так как поясница находится между ними.

6. В основе алгоритма поиска седалищных бугров лежит оценка нормалей в каждой точке. Зная координаты хвоста коровы, выполняем вырезание потенциально содержащей седалищные бугры области, а затем – деление этой области на правую и левую части (на рисунке 9 – синяя и зеленая части соответственно).

Далее удаляются точки, нормали которых отклоняются от оси Y более заданного угла. Таким образом, в облаке точек остается только область седалищных бугров (рис. 10).

На полученных областях седалищных бугров производится поиск правой верхней и левой верхней точек на правой и левой частях соответственно.

На полученном облаке точек используется метрическая система. Найденные расстояния между точками или между точкой и плоскостью пола переводятся в сантиметры и округляются до одного знака после запятой.

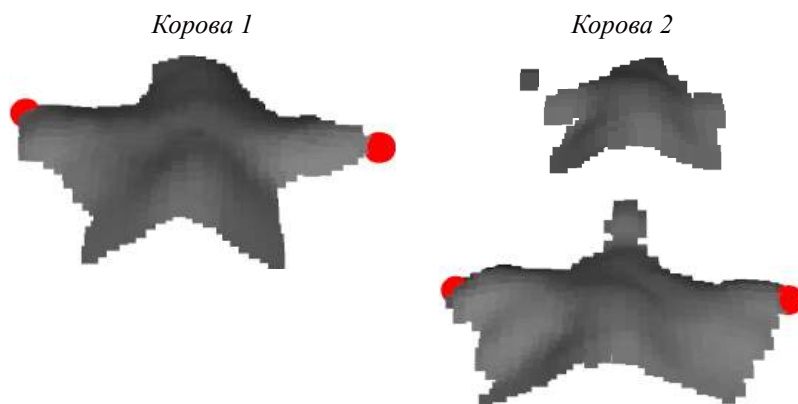


Рис. 8. Визуальная демонстрация поиска маклоков коровы

Figure 8. Visual demonstration of searching cow hips

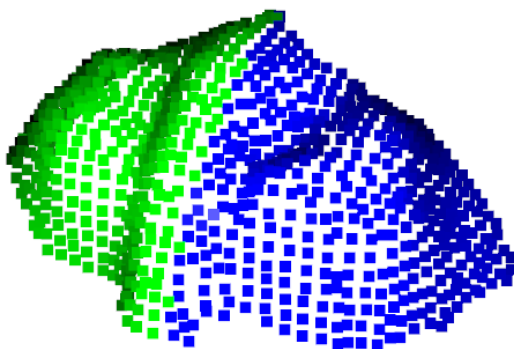


Рис. 9. Облако точек задней части коровы с визуальным разделением на левую (зеленый цвет) и правую (синий цвет) части

Figure 9. Point cloud of the cow rear part with visual division into left (green) and right (blue) parts

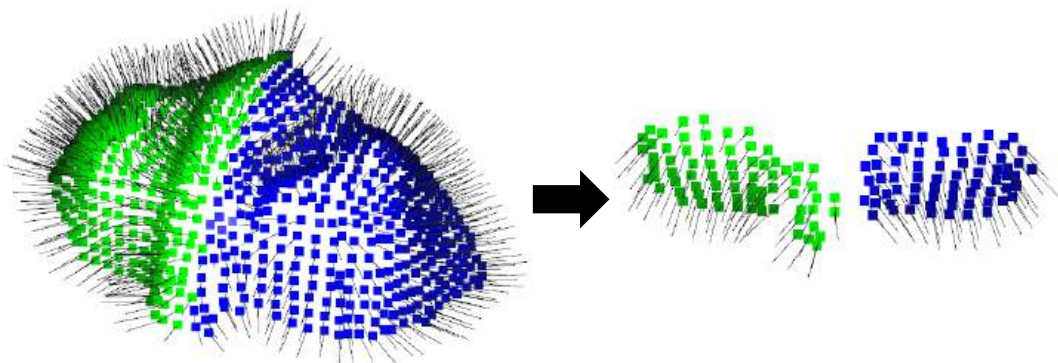


Рис. 10. Результат удаления точек, нормали которых отклоняются от оси Y более заданного угла
Figure 10. Result of removing points whose normals deviate from the Y axis by more than a given angle

Результаты и их обсуждение Results and discussion

При использовании класса для снятия данных с камеры RealSense можно визуально выводить кадры с помощью библиотеки OpenCV и контролировать захваченную сцену. Получаемое изображение представлено на рисунке 11.

В результате применения алгоритма сегментации крупа коровы получается облако точек с визуальным отображением характерных точек и измеряемых расстояний. На рисунке 12 сиреневой линией показано измеряемое расстояние между маклоками, желтой линией – между седалищными буграми (ширина таза), а зеленой – между маклоком и седалищным бугром.

Для определения высоты в крестце, пояснице, маклоке и седалищном бугре берется значение координаты соответствующей точки по оси Z, так как при предварительной обработке координатная система была выровнена с полом.

Линейная оценка облака точек анализируемого объекта может содержать ошибку в силу неточности считывания данных или неточной работы алгоритмов анализа облака точек. Для подсчета ошибки измерений был проведен эксперимент на 3D макете задней части коровы. В ходе эксперимента по визуальному осмотру макета коровы были определены ключевые точки, после чего с помощью измерительной ленты получены значения интересующих параметров. Далее к тому же макету применяется разработанный алгоритм для линейной оценки крупа коровы. Значения параметров ручного промера сравниваются со значениями параметров, полученных с помощью алгоритма (табл.).



Рис. 11. Данные с камеры RealSense D435
Figure 11. Data from the RealSense D435 camera

В результате сравнения измеренных линейных параметров с помощью измерительной ленты и с помощью разработанного алгоритма средняя ошибка алгоритма линейной оценки крупа коровы составила 3,5%. Наибольшая ошибка (9,2%) наблюдается при измерении ширины в маклоках. По полученным данным, наименьшие ошибки наблюдаются в измерении высот, а при измерении расстояний между найденными точками ошибка значительно больше. Это может быть связано с тем, что измеряемые расстояния между точками на порядок меньше, чем измеряемые значения высоты. Погрешность измерений может увеличиваться также ввиду того, что в случае высоты измеряется расстояние от поверхности, на которой стоит животное, до найденной точки (влияет погрешность в поиске одной точки), а в случае поиска расстояний между двумя найденными точками влияет погрешность нахождения обеих точек. Также не стоит исключать человеческий фактор и возможную ошибку в ручных измерениях.

По итогам выезда на ферму для 30 коров были получены снимки, которые проанализированы в модуле линейной оценки крупа коровы. На рисунке 13 представлены результаты работы алгоритма.

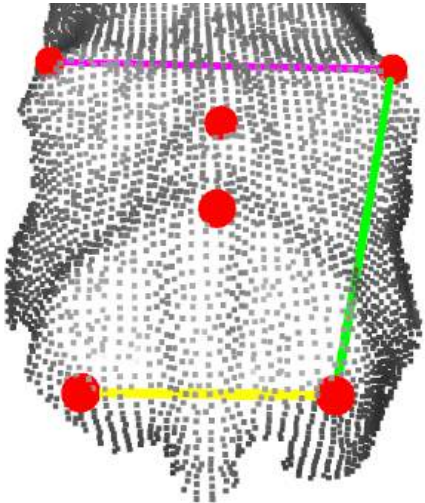


Рис. 12. Облако точек коровы с визуальным отображением измеряемых с помощью алгоритма параметров

Figure 12. Cow point cloud with visual representation of parameters measured by the algorithm

Таблица

Сравнение ручных измерений с результатами алгоритма

Table

Comparison of manual measurements with the results of the algorithm

Параметр	Лента, см	Алгоритм, см	Ошибка, %
Высота в крестце	146	144,8	0,8
Высота в пояснице	146	144,4	1,1
Высота в маклоке	138	137,4	0,4
Высота в седалищном бугре	133	132,1	0,7
Угол крестца	5	5,3	6,0
Длина крестца	51	46,7	8,4
Ширина крестца	29	28,5	1,7
Ширина в маклоках	50	45,4	9,2

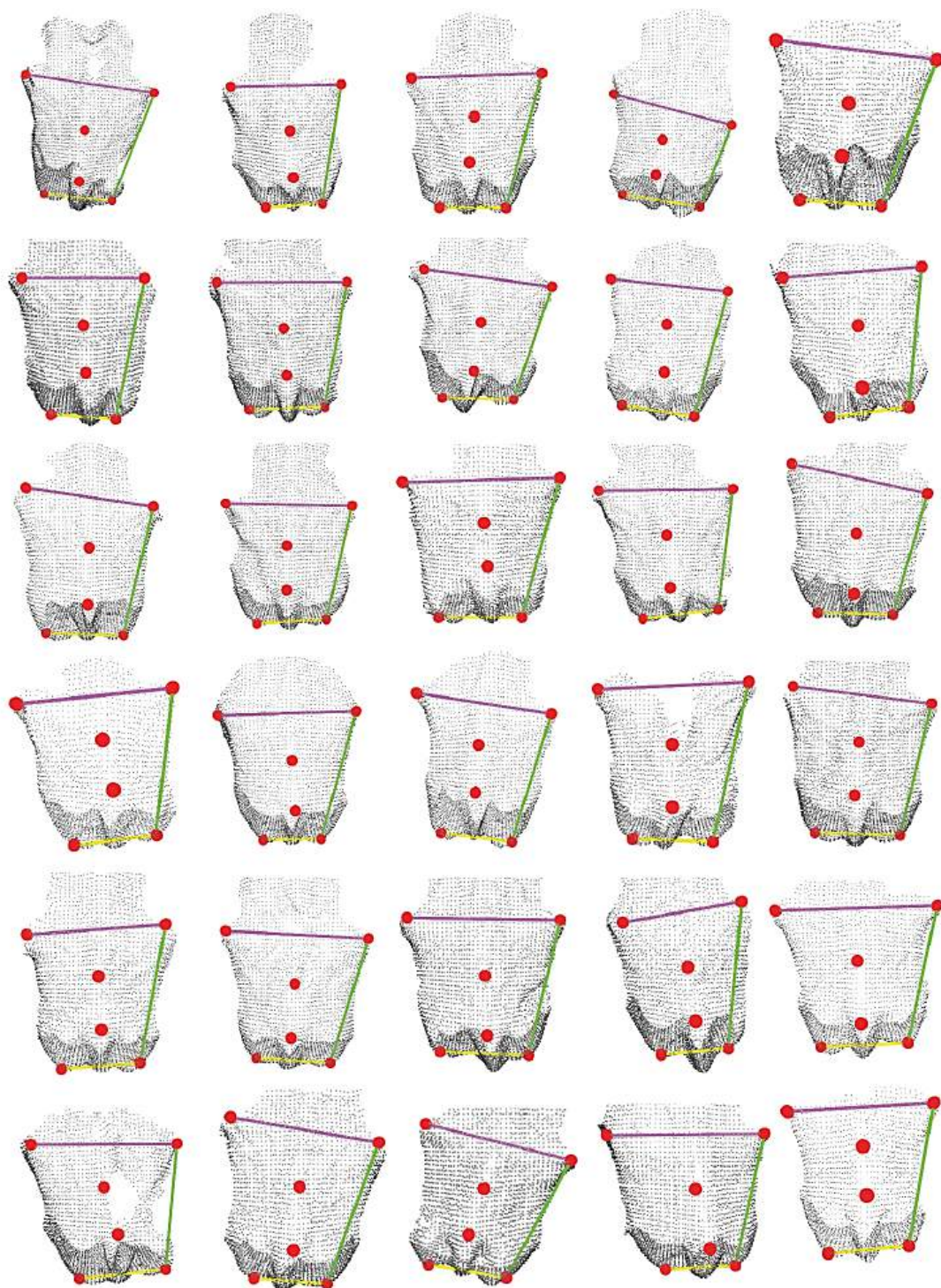


Рис. 13. Результат работы разработанного алгоритма
линейной оценки крупа коровы для 30 коров

Figure 13. Result of the developed algorithm for linear estimation
of 30 cow croups

По результатам работы алгоритма можно сделать вывод о том, что алгоритм отработал корректно и показал отличное определение ключевых параметров. При этом важно отметить, что в ходе данного эксперимента не все снимки получались ровными, а для некоторых сцен в отдельном файле конфигураций задавались индивидуальные параметры угла съемки и размеров зоны интереса. Это связано с тем, что съемка производилась со штатива с перемещением к каждой корове и расстояние от камеры до коровы могло различаться, животные двигались и поворачивались, что также приносило помехи. При этом видим, что даже в отношении неровно стоящих коров алгоритм справился и определил ключевые точки верно.

Выводы

Conclusions

В ходе выполнения работы проведен анализ объекта исследований, а также выбраны линейные параметры для оценки с помощью камеры глубины. С помощью сравнительного анализа камер с подходящей под задачу технологией была выбрана камера глубины Intel RealSense D435 как наиболее оптимальная и подходящая под решение поставленных задач модель из линейки RealSense. Найдено оптимальное расположение камеры для получения облака точек крупа коровы. Были разработаны алгоритмы для получения облака точек с камеры глубины Intel RealSense, для линейной оценки экстерьера крупа коровы и для управления базой данных. Средняя ошибка алгоритма линейной оценки крупа коровы составила 3,5%, а наибольшая – 9,2%. По результатам работы создан лабораторный образец программно-аппаратного комплекса с последующим испытанием на ферме. При выезде на ферму с помощью лабораторного образца программно-аппаратного комплекса была успешно осуществлена съемка и проведена оценка 30 коров. На протяжении всех экспериментов на ферме система работала стабильно.

Список источников

1. Иванов Ю.А. Цифровое животноводство: перспективы развития // *Техника и технологии в животноводстве*. 2019. № 1 (33). С. 4-7. EDN: ZAIQYH.
2. Shilin D., Ganin P., Shestov D., Novikov A. et al. Identification of the Cow's Nipples Using a 3D Camera with ToF Technology. *Annals of DAAAM & Proceedings*. 2022:77-85. <https://doi.org/10.2507/33rd.daaam.proceedings.012>
3. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Шилин Д.В., Рузин С.С. Бесконтактная оценка упитанности молочных коров с использованием ToF-технологии // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 39-44. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-39-44>
4. Иванов Ю.А., Зарикеев А.Р. Использование искусственного интеллекта при оценке экстерьера КРС // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. № 4 (44). С. 6-10. <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-6>
5. Цой Ю.А., Баишева Р.А. Технологические аспекты создания «умной» молочной фермы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. Т. 20, № 2. С. 192-199. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199>
6. Tadic V., Toth A., Vizvari Z., Klincsik M. et al. Perspectives of Realsense and Zed Depth Sensors for Robotic Vision Applications. *Machines*. 2022;10(3):183. <https://doi.org/10.3390/machines10030183>
7. Zhou Q.Y., Park J., Koltun V. Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing. ArXiv preprint arXiv:1801.09847. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.09847>

8. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Матвеев В.Ю. Сравнительный анализ и подбор систем технического зрения в молочном животноводстве // *Вестник НГИЭИ*. 2019. № 1 (92). С. 69-79. EDN: YWLXUL.
9. Han X.F., Jin J.S., Wang M.J., Jiang W. et al. A Review of Algorithms for Filtering the 3D Point Cloud. *Signal Processing: Image Communication*. 2017;57:103-112. <https://doi.org/10.1016/j.image.2017.05.009>
10. He Y., Chen S. Recent Advances in 3D Data Acquisition and Processing by Time-of-flight Camera. *IEEE Access*. 2019;7:12495-12510. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891693>
11. Keselman L., Iselin Woodfill J., Grunnet-Jepsen A., Bhowmik A. Intel Realsense Stereoscopic Depth Cameras. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2017. Pp. 1-10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.05548>
12. Lazaros N., Sirakoulis G.C., Gasteratos A. Review of Stereo Vision Algorithms: from Software to Hardware. *International Journal of Optomechatronics*. 2008;2(4):435-462. <https://doi.org/10.1080/15599610802438680>
13. Nagy S.A., Kilim O., Csabai I. et al. Impact Evaluation of Score Classes and Annotation Regions in Deep Learning-based Dairy Cow Body Condition prediction. *Animals*. 2023;13(2):194. <https://doi.org/10.3390/ani13020194>
14. O'Mahony N., Krpalkova L., Sayers G. et al. Two-and Three-dimensional Computer Vision Techniques for More Reliable Body Condition Scoring. *Dairy*. 2022;4(1):1-25. <https://doi.org/10.3390/dairy4010001>

References

1. Ivanov Yu.A. Digital farming: prospects of development. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2019;1(33):4-7. (In Russ.)
2. Shilin D., Ganin P., Shestov D., Novikov A. et al. Identification of the Cow's Nipples Using a 3D Camera with ToF Technology. *Annals of DAAAM & Proceedings*. 2022:77-85. <https://doi.org/10.2507/33rd.daaam.proceedings.012>
3. Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Shilin D.V., Ruzin S.S. Non-contact body condition score of dairy cows based on ToF-technology. *Agricultural Engineering*. 2021;2(102):39-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-39-44>
4. Ivanov Yu.A., Zarikeev A.R. Artificial intelligence at the cattle exterior evaluation using. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;4(44):6-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-6>
5. Tsoy Yu.A., Baisheva R.A. Technological aspects of smart dairy farm development. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(2):192-199. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199>
6. Tadic V., Toth A., Vizvari Z., Klincsik M. et al. Perspectives of Realsense and Zed Depth Sensors for Robotic Vision Applications. *Machines*. 2022;10(3):183. <https://doi.org/10.3390/machines10030183>
7. Zhou Q.Y., Park J., Koltun V. Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing. *ArXiv preprint arXiv:1801.09847*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.09847>
8. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Matveev V.Yu. Comparative analysis and selection of technical vision systems in dairy animal breeding. *Vestnik NGIEI*. 2019;1(92):69-79. (In Russ.)
9. Han X.F., Jin J.S., Wang M.J., Jiang W. et al. A Review of Algorithms for Filtering the 3D Point Cloud. *Signal Processing: Image Communication*. 2017;57:103-112. <https://doi.org/10.1016/j.image.2017.05.009>

10. He Y., Chen S. Recent Advances in 3D Data Acquisition and Processing by Time-of-flight Camera. *IEEE Access*. 2019;7:12495-12510. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891693>
11. Keselman L., Iselin Woodfill J., Grunnet-Jepsen A., Bhowmik A. Intel Realsense Stereoscopic Depth Cameras. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2017:1-10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.05548>
12. Lazaros N., Sirakoulis G.C., Gasteratos A. Review of Stereo Vision Algorithms: from Software to Hardware. *International Journal of Optomechatronics*. 2008;2(4):435-462. <https://doi.org/10.1080/15599610802438680>
13. Nagy S.A., Kilim O., Csabai I. et al. Impact Evaluation of Score Classes and Annotation Regions in Deep Learning-based Dairy Cow Body Condition Prediction. *Animals*. 2023;13(2):194. <https://doi.org/10.3390/ani13020194>
14. O'Mahony N., Krpalkova L., Sayers G. et al. Two-and Three-dimensional Computer Vision Techniques for More Reliable Body Condition Scoring. *Dairy*. 2022;4(1):1-25. <https://doi.org/10.3390/dairy4010001>

Сведения об авторах

Илья Дмитриевич Забарин, студент магистратуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»; 111250, Российская Федерация, г. Москва, вн. тер. гор. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, 14, стр. 1; e-mail: ZabarinID@mpei.ru

Денис Викторович Шилин, кандидат технических наук, доцент, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»; 111250, Российская Федерация, г. Москва, вн. тер. гор. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, 14, стр. 1; e-mail: ShilinDV@mpei.ru

Алексей Николаевич Васильев, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5; e-mail: vasilev-viesh@inbox.ru

Information about the authors

Ilya D. Zabarin, Master's Student, Moscow Power Engineering Institute; 14/1 Krasnokazarmennaya st., Lefortovo, Moscow, 111250, Russian Federation; e-mail: ZabarinID@mpei.ru

Denis V. Shilin, CSc (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor, Moscow Power Engineering Institute; 14/1 Krasnokazarmennaya st., Lefortovo, Moscow, 111250, Russian Federation; phone: (916) 319–94–91; e-mail: ShilinDV@mpei.ru

Alexey N. Vasiliev, DSc (Eng.), Professor, Chief Research Associate, Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5 Perviy Institutskiy Dr., Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: vasilev-viesh@inbox.ru

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

**Состав, выделение и идентификация микробиома
слепых отростков кишечника фазанов**

**Альбина Владимировна Лунева¹, Юрий Андреевич Лысенко^{1✉},
Марина Ивановна Селионова¹, Маргарита Геннадиевна Яковец²,
Евгений Юрьевич Марченко¹**

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Краснодар, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: yuraduban45@mail.ru

Аннотация

В статье описаны данные по изучению таксономического разнообразия микроорганизмов, обитающих в желудочно-кишечном тракте, а именно в слепых отростках кишечника одомашненных фазанов двух видов (кавказские, румынские). Кроме того, проведены выделение и идентификация доминирующих представителей рода *Lactobacillus* как перспективных представителей штаммов-пробионтов. Состав таксономических групп микроорганизмов в содержимом слепых отростков кишечника фазанов изучался современным бактериальным метагеномным исследованием. Выделение чистых культур преобладающих видов рода *Lactobacillus* из химуса слепых отростков кишечника фазанов осуществлялось классическими микробиологическими методами. Идентификация доминирующих лактобактерий проводилась масс-спектрометрически на MALDI-TOF MS. Полногеномное секвенирование доминирующих представителей рода *Lactobacillus* осуществляли согласно протоколам исследований на приборе MiSeq (Illumina). В результате бактериального метагеномного анализа выявлено, что в содержимом слепого отростка кишечника фазанов обоих видов на уровне «филы» преобладали представители *Proteobacteria* и *Firmicutes*, на уровне «класса» – *Gamma proteobacteria*, *Bacilli* и *Clostridia*, на уровне «отряда» – *Pseudomonadales*, а на уровне «рода» – *Psychrobacter*. При выделении и идентификации представителей рода *Lactobacillus* масс-спектрометрическими исследованиями на приборе MALDI-TOF MS установлено, что доминирующее превосходство заняли такие, как *Loigolactobacillus coryniformis*, *Lactobacillus johnsonii* и *Lactobacillus reuteri*. В результате полногеномного секвенирования ДНК чистых культур лактобактерий была подтверждена их видовая принадлежность, а также в геномах *Loigolactobacillus coryniformis* и *Lactobacillus johnsonii* были выявлены структуры, ответственные за выработку ряда бактериоцинов.

Ключевые слова

Фазаны, слепой отросток кишечника, микрофлора, бактериальный метагеномный анализ, выделение, MALDI-TOF MS, идентификация, лактобактерии, секвенирование, бактериоцины

Благодарности

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 25–26–00061; <https://rscf.ru/project/25–26–00061/>.

Для цитирования

Лунева А.В., Лысенко Ю.А., Селионова М.И., Яковец М.Г. и др. Состав, выделение и идентификация микробиома слепых отростков кишечника фазанов // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 164–181.

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

Composition, isolation and identification of the microbiome of the ceca of pheasants

Albina V. Luneva¹, Yury A. Lysenko^{1✉}, Marina I. Selionova¹,
Margarita G. Yakovets², Evgeniy Yu. Marchenko¹

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

²Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

✉Corresponding author: yuraduban45@mail.ru

Abstract

In the research, the authors describe data on the study of the taxonomic diversity of microorganisms inhabiting the gastrointestinal tract, namely the ceca of domesticated pheasants of two species (Caucasian, Romanian). In addition, the isolation and identification of dominant representatives of the genus *Lactobacillus* as promising representatives of probiont strains was carried out. The composition of taxonomic groups of microorganisms in the contents of the ceca of pheasants was studied by a modern bacterial metagenomic research. Isolation of pure cultures of dominant species of the genus *Lactobacillus* from the chyme of the ceca of pheasants was carried out by classical microbiological methods. Identification of the dominant lactobacilli performed by mass spectrometry using MALDI-TOF MS. Whole-genome sequencing of the dominant members of the genus *Lactobacillus* was performed according to the research protocols on the MiSeq device (Illumina). The conducted bacterial metagenomic analysis revealed that in the caecal contents of the pheasants of both breeds, representatives of *Proteobacteria* and *Firmicutes* predominated at the phylum level, *Gammaproteobacteria*, *Bacilli* and *Clostridia* at the class level, *Pseudomonadales* at the order level, and *Psychrobacter* at the genus level. When isolating and identifying representatives of the genus *Lactobacillus* by mass spectrometric studies on a MALDI-TOF MS device, it was found that the dominant superiority was occupied by such species as *Loigolactobacillus coryniformis*, *Lactobacillus johnsonii* and *Lactobacillus reuteri*. As a result of whole-genome DNA sequencing of pure cultures of lactobacilli, their species membership was confirmed, and structures responsible for the production of a number of bacteriocins were identified in the genome of *Lactobacillus coryniformis* and *Lactobacillus johnsonii*.

Keywords

Pheasants, cecum, microflora, bacterial metagenomic analysis, isolation, MALDI-TOF MS, identification, lactobacilli, sequencing, bacteriocins

Acknowledgments

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 25–26–00061, <https://rscf.ru/project/25–26–00061/>.

For citation

Luneva A.V., Lysenko Yu.A., Selionova M.I., Yakovets M.G. et al. Composition, isolation and identification of the microbiome of the ceca of pheasants. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 164–181.

Введение Introduction

В современном животноводстве одной из ключевых задач является повышение продуктивности и здоровья сельскохозяйственных животных, в том числе птицы. В этом контексте изучение и применение пробиотиков, основанных на микробиоме различных видов животных и птиц, становятся все более актуальными. Особое внимание уделяется микробиому слепых отростков кишечника, который играет важную роль в пищеварении и общем состоянии здоровья [1–3].

Фазаны как объект исследований представляют значительный интерес благодаря своим физиологическим особенностям и специфике микробиома кишечника. Слепые отростки фазанов могут содержать уникальные комбинации микроорганизмов, обладающих пробиотическими свойствами, которые способны улучшать пищеварение, укреплять иммунную систему и повышать устойчивость к заболеваниям. Их изучение позволяет выявлять новые штаммы бактерий для создания пробиотиков с высокой эффективностью и биобезопасностью [4].

Понимание и использование пробиотиков, полученных из микробиома фазанов, могут открыть новые горизонты в промышленном птицеводстве, способствуя созданию более эффективных и устойчивых агропромышленных систем.

Цель исследований: мониторинг различных таксономических групп микроорганизмов в слепых отростках кишечника фазанов разных видов, а также выделение и видовая идентификация доминирующих представителей рода *Lactobacillus* в качестве перспективных штаммов-пробионтов.

Методика исследований Research method

Микробиологические и молекулярно-генетические исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» и ООО «Синтол». Объектом исследований являлись образцы содержимого слепых отростков кишечника одомашненных румынского и кавказского фазанов.

Были поставлены следующие задачи исследований:

- изучить микробиоценоз слепых отростков кишечника фазанов различных видов;
- выделить и идентифицировать преобладающие виды рода *Lactobacillus*;
- провести полногеномный анализ ДНК, выделенных лактобактерий для выявления генов, ответственных за выработку антибиотических веществ (бактериоцинов).

Бактериальный метагеномный анализ химуса слепых отростков кишечника фазанов осуществляли согласно [5–8], и он включал в себя следующие этапы:

1. Подготовка библиотек.
2. Индексирование ДНК.
3. Оценка качества библиотек.
4. Секвенирование полученных библиотек ампликонов на секвенаторе MiSeq.
5. Биоинформатика.

Использование стандартных микробиологических методов позволило эффективно выделить преобладающие штаммы представителей рода *Lactobacillus*

из содержимого кишечника, полученного из слепых отростков кишечного тракта фазанов [5, 9–11].

Реализация процессов видовой идентификации лактобактерий осуществлялась на спектрометрическом устройстве VastoSCREEN посредством анализа с использованием времяпролетной масс-спектрометрии (MALDI-TOF MS) [5, 10, 12, 13].

Полное секвенирование генома ДНК, выделенных превалирующих чистых культур лактобактерий осуществляли согласно научным работам [5, 14–19], и оно включало в себя ряд этапов:

1. Выделение ДНК из чистой культуры.
2. Измерение концентрации ДНК на флуориметре после ее выделения.
3. Тагментация ДНК.
4. Очистка образцов после тагментации.
5. Амплификация тагментированной ДНК.
6. Очистка библиотек.
7. Пулирование библиотек.
8. Денатурация библиотек перед секвенированием.
9. Секвенирование пулированных ДНК библиотек на приборе MiSeq (Illumina).
10. Сборка геномов в программе UGENE после получения результатов прочтений при помощи встроенных алгоритмов SPAdes v.3.15.3 (для сборки *de novo*) и BWA (для выравнивания на референсный геном). Следующий этап исследований – установление таксономической классификации исследуемых штаммов посредством применения веб-службы Type (Strain) Genome Server (TYGS).

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Бактериальный метагеномный анализ содержимого слепых отростков кишечника фазанов. В результате проведения бактериального метагеномного анализа химуса слепых отростков кишечника фазанов были получены данные представленности таксономических категорий микроорганизмов и их соотношения в объектах исследований, продемонстрированные на рисунках 1–4.

В исследуемых образцах химуса слепых отростков кишечника обоих видов фазанов на уровне «филы» (рис. 1) преобладали *Proteobacteria* и *Firmicutes*, соотношение которых составило: у румынского – 54,3 и 33,4%, а у кавказского – 83,7 и 10,7% соответственно. При этом в содержимом слепых отростков кишечника у румынского фазана было выявлено незначительное количество представителей «филы» *Cyanobacteria* и *Actinobacteria* в соотношении 4,5 и 1,4% соответственно. Преобладающими «классами» (рис. 2) в обоих исследуемых образцах оказались *Gammaproteobacteria*, *Bacilli* и *Clostridia*: у кавказского фазана – 95,4; 4,8; 0,9%, а у румынского – 54,7; 37,8; 3,1% соответственно.

В соответствии с систематикой из «отряда» (рис. 3) превалировали у фазана кавказского: *Pseudomonadales* – 93,1%, *Bacillales* – 4,4%, *Turicibacterales* – 1,9%, *Lactobacillales* – 0,4%; у фазана румынского – *Pseudomonadales* (54,8%), *Lactobacillales* (36,8%) и *Bacillales* (9,1%). Из данных рисунка 4 следует, что на уровне «рода» в содержимом слепого кишечника кавказского фазана доминирующую позицию заняли представители *Psychrobacter* (95,2%), *Variovorax* (3,4%) и *Staphylococcus* (1,5%); у румынского фазана – *Psychrobacter* (51,1%), *Lactobacillus* (23,3%) и *Staphylococcus* (7,6%).

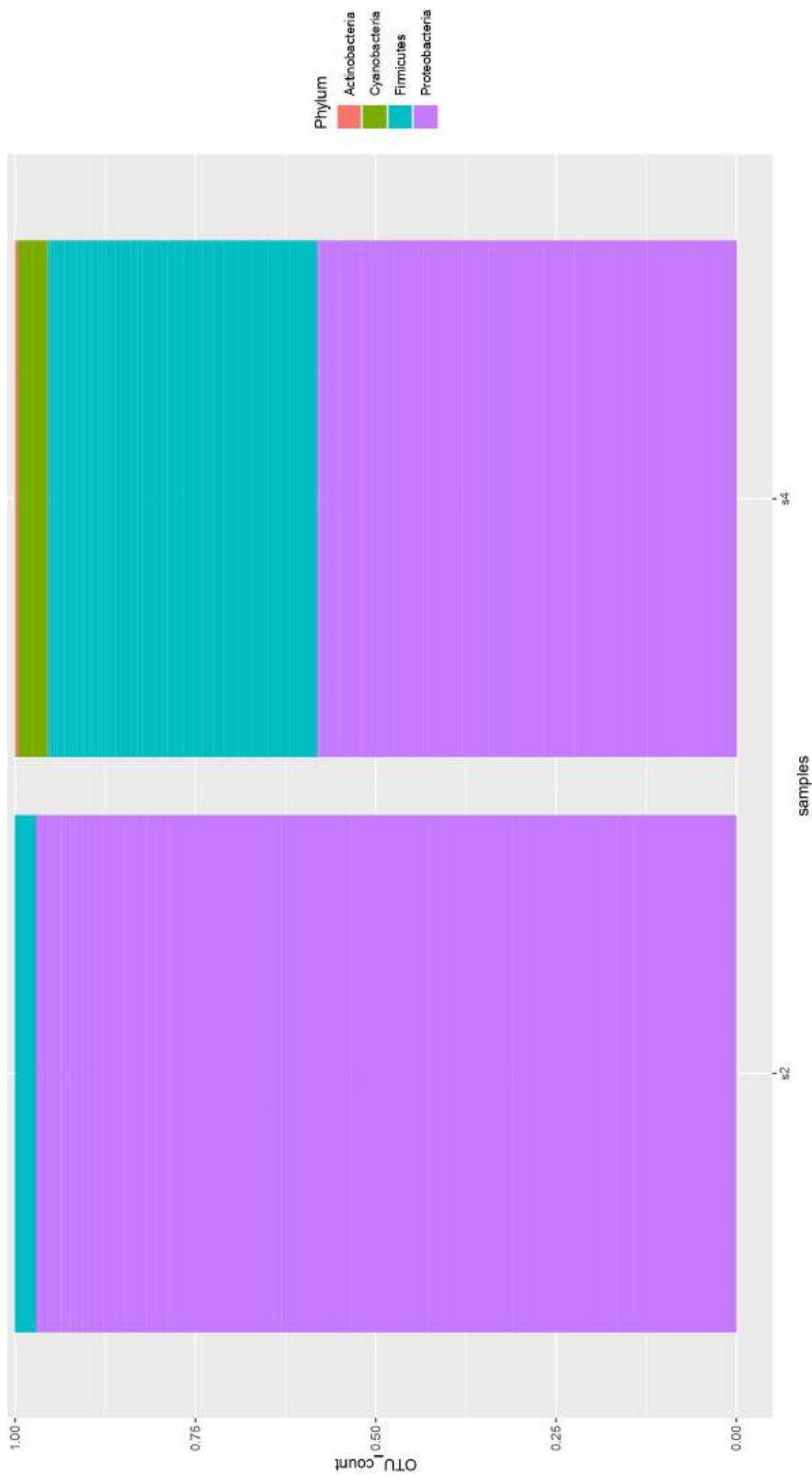


Рис. 1. Бактериальный состав химуса слепого отростка кишечника фазана (s2 – кавказский; s4 – румынский) на уровне филы

Figure 1. Bacterial composition of the cecum of the pheasant (s2 – Caucasian; s4 – Romanian) at the phylum level

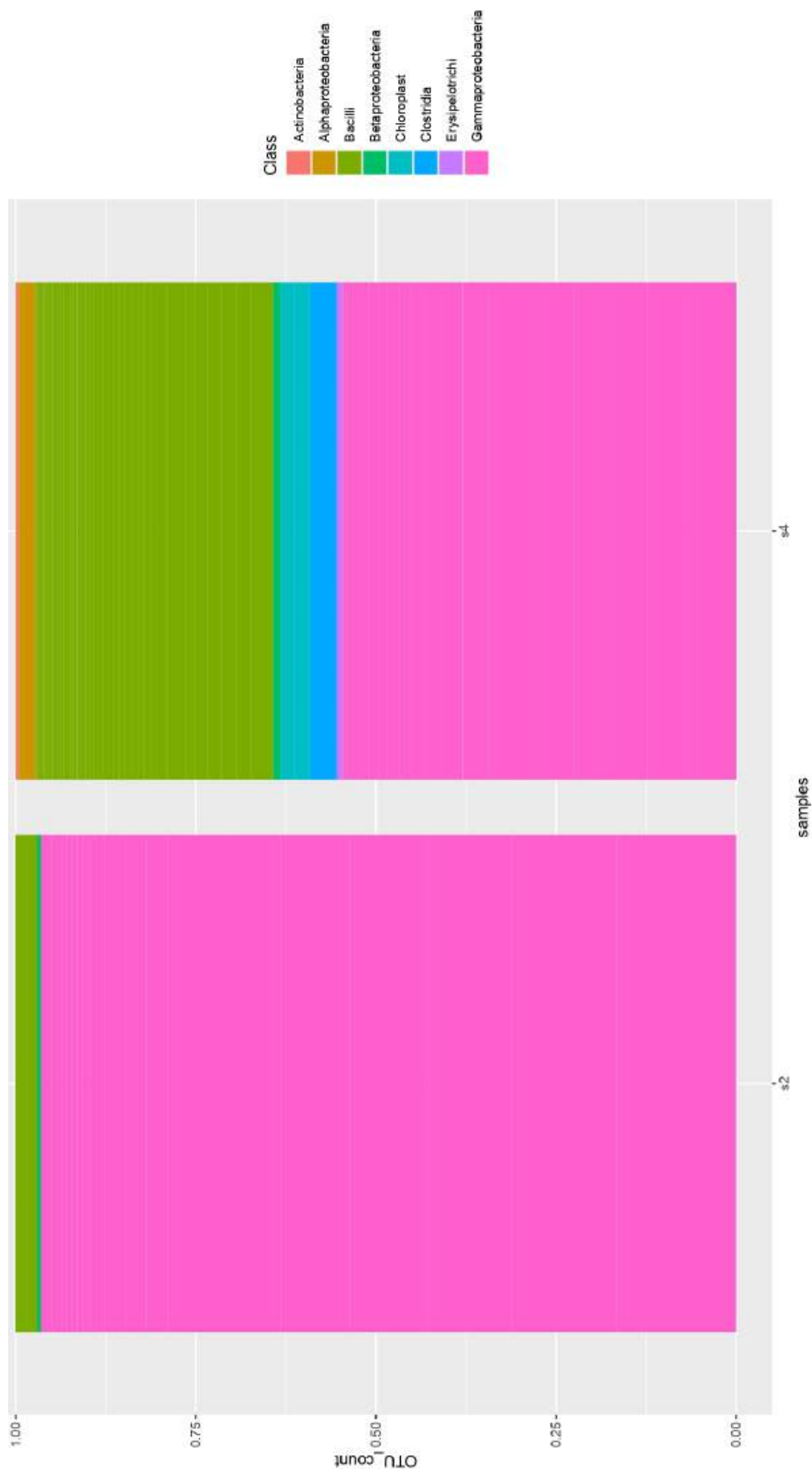


Рис. 2. Бактериальный состав химуса слепого отростка кишечника фазана (s2 – кавказский; s4 – румынский) на уровне класса

Figure 2. Bacterial composition of the chyme of the cecum of the pheasant (s2 – Caucasian; s4 – Romanian) at the class level

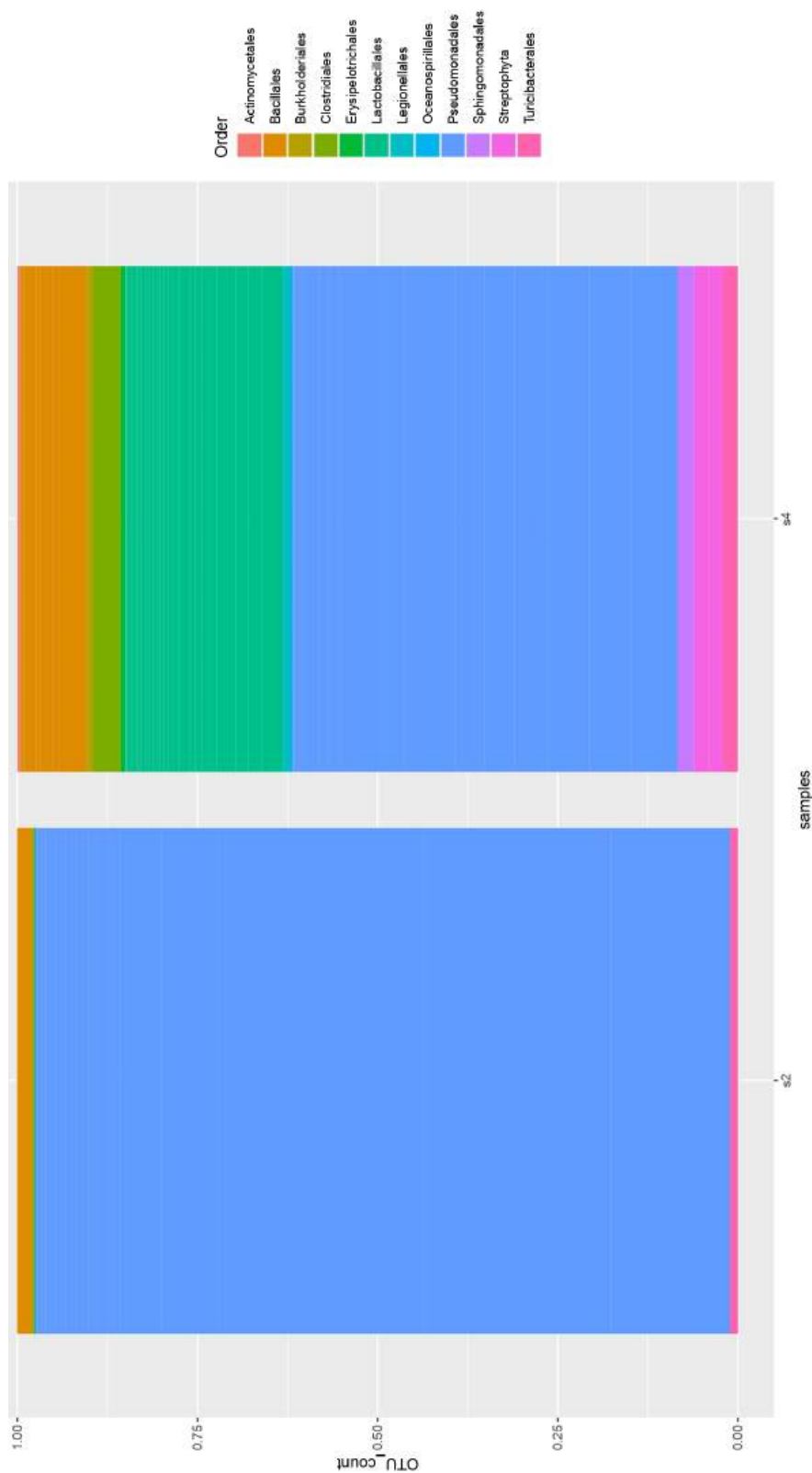


Рис. 3. Бактериальный состав химуса слепого отростка кишечника фазана (s2 – кавказский; s4 – румынский) на уровне отряда

Figure 3. Bacterial composition of the chyme of the cecum of the pheasant (s2 – Caucasian; s4 – Romanian) at the order level

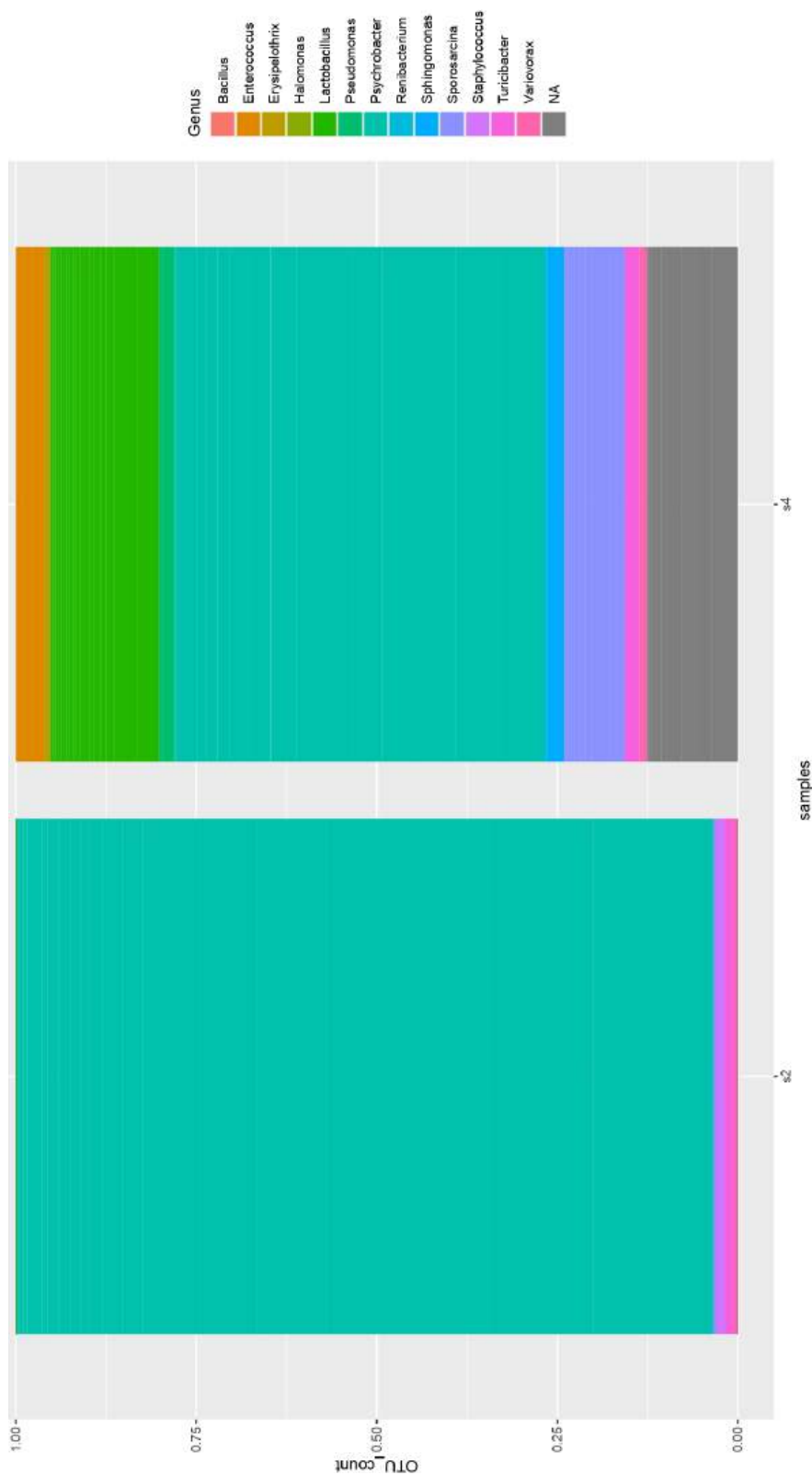


Рис. 4. Бактериальный состав химуса слепого отростка кишечника фазана (s2 – кавказский; s4 – румынский) на уровне рода
Figure 4. Bacterial composition of the cecum of the pheasant (s2 – Caucasian; s4 – Romanian) at the genus level

Выделение и идентификация доминирующих представителей рода Lactobacillus. В рамках исследований у выбранных фазанов двух групп (румынские и кавказские) определяли состав преобладающих штаммов лактобактерий в содержимом микробиома слепой кишки. Для анализа и выделения использовали 1,0 г кишечного содержимого, которое подвергалось гомогенизированию в 0,9%-м растворе NaCl в пропорции 1:9. Затем проводили десятикратное разведение полученной суспензии. Количественное определение исследуемых бактерий осуществляли культивированием на специализированных селективных питательных средах. Для подсчета молочнокислых бактерий применяли плотную питательную среду (MRS, Merck). Инкубация посевов проводилась при температуре +37...+38°C в течение 48 ч в атмосфере с концентрацией 8% CO₂, что обеспечило условия, максимально приближенные к физиологической микрофлоре кишечника птиц.

В ходе выполнения проведенного масс-спектрометрического анализа с использованием MALDI-TOF MS спектрометра VastoSCREEN и специализированного программного обеспечения были зарегистрированы белковые спектры следующих лактобактериальных видов: *Loigolactobacillus coryniformis*, *Lactobacillus johnsonii*, *Lactobacillus reuteri*. Превалирующее количество выделенных грамположительных палочковидных бактерий принадлежало первым двум видам.

Полное секвенирование генома лактобактерий. Согласно полученным данным штаммы лактобактерий были отнесены к следующим видам: *Loigolactobacillus coryniformis*, *Lactobacillus johnsonii* и *Lactobacillus reuteri*. На рисунках 5–7 представлены структуры геномов исследуемых представителей лактобактерий с открытыми рамками считывания.

Секвенированные последовательности молочнокислых бактерий были аннотированы с использованием NCBI Prokaryotic Genome Annotation Pipeline (PGAP) v.6.1 [17]. Геномы были исследованы на предмет наличия генов, кодирующих продуцирование бактериоцинов.

В результате исследований в штамме *Loigolactobacillus coryniformis* было найдено 5 последовательностей бактериоцинов (табл. 1) без названия: bacteriocin immunity protein (номера в GenBank – MCL5458578.1, MCL5459414.1, MCL5459586.1, MCL5459587.1, MCL5459860.1). В дальнейшем полученные последовательности были изучены через BLAST UniProt на совпадение с имеющимися генами в базе данных. Процент совпадения последовательностей не достигает высоких показателей (максимум 60%), что не может свидетельствовать о точной идентификации того или иного бактериоцина.

По итогам аналогичного поиска в штамме *Lactobacillus johnsonii* были найдены 3 бактериоцина без названия, которые и по результатам BLAST UniProt были идентифицированы как bacteriocin immunity protein. Также по результатам аннотации с использованием NCBI PGAP был найден ген, названный Blp family class II bacteriocin (номер в GenBank – MCL5444223.1). Пятый ген, найденный в геноме, был идентифицирован как class III bacteriocin системой NCBI PGAP, а веб-сервис BLAST UniProt отнес данный ген к helveticin-J, процент совпадения с которым составил 97,9% (табл. 2).

По результатам поиска генов, отвечающих за синтез бактериоцинов, в штамме *Lactobacillus reuteri* не обнаружено соответствующих генетических маркеров.

По итогам работы были секвенированы и аннотированы 3 геномные последовательности трех доминирующих штаммов рода *Lactobacillus*, отобранных из содержимого слепых кишок двух видов фазанов, выращиваемые в условиях интенсивного разведения. Данные штаммы были внесены в международную базу данных NCBI под идентификаторами: SAMN28099307, SAMN28100724, SAMN28100809.

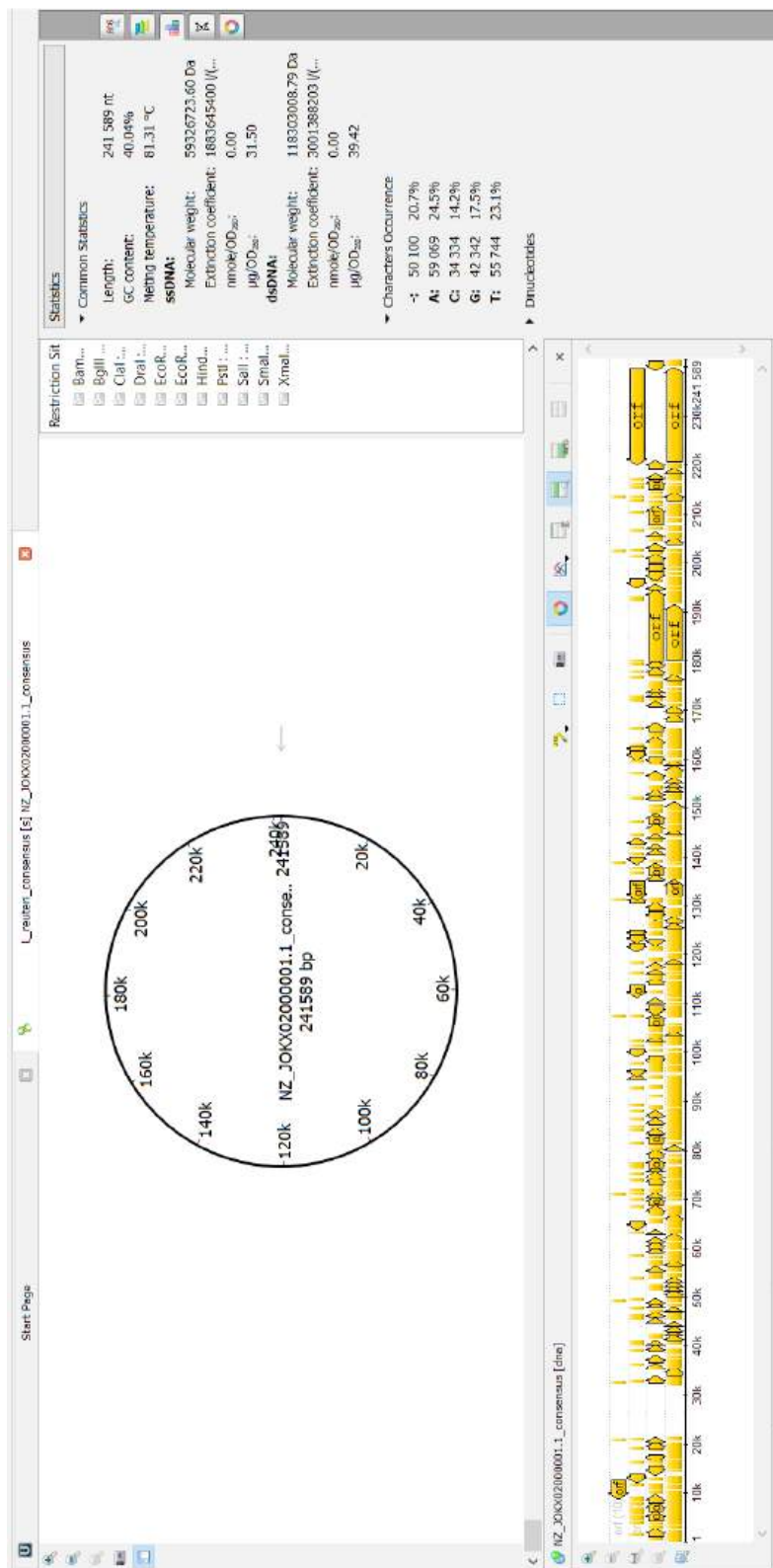


Рис. 5. Общее строение генома *Lactobacillus reuteri*
Figure 5. General structure of the *Lactobacillus reuteri* genome



Рис. 6. Общее строение генома *Lactobacillus johnsonii*
Figure 6. General structure of the *Lactobacillus johnsonii* genome

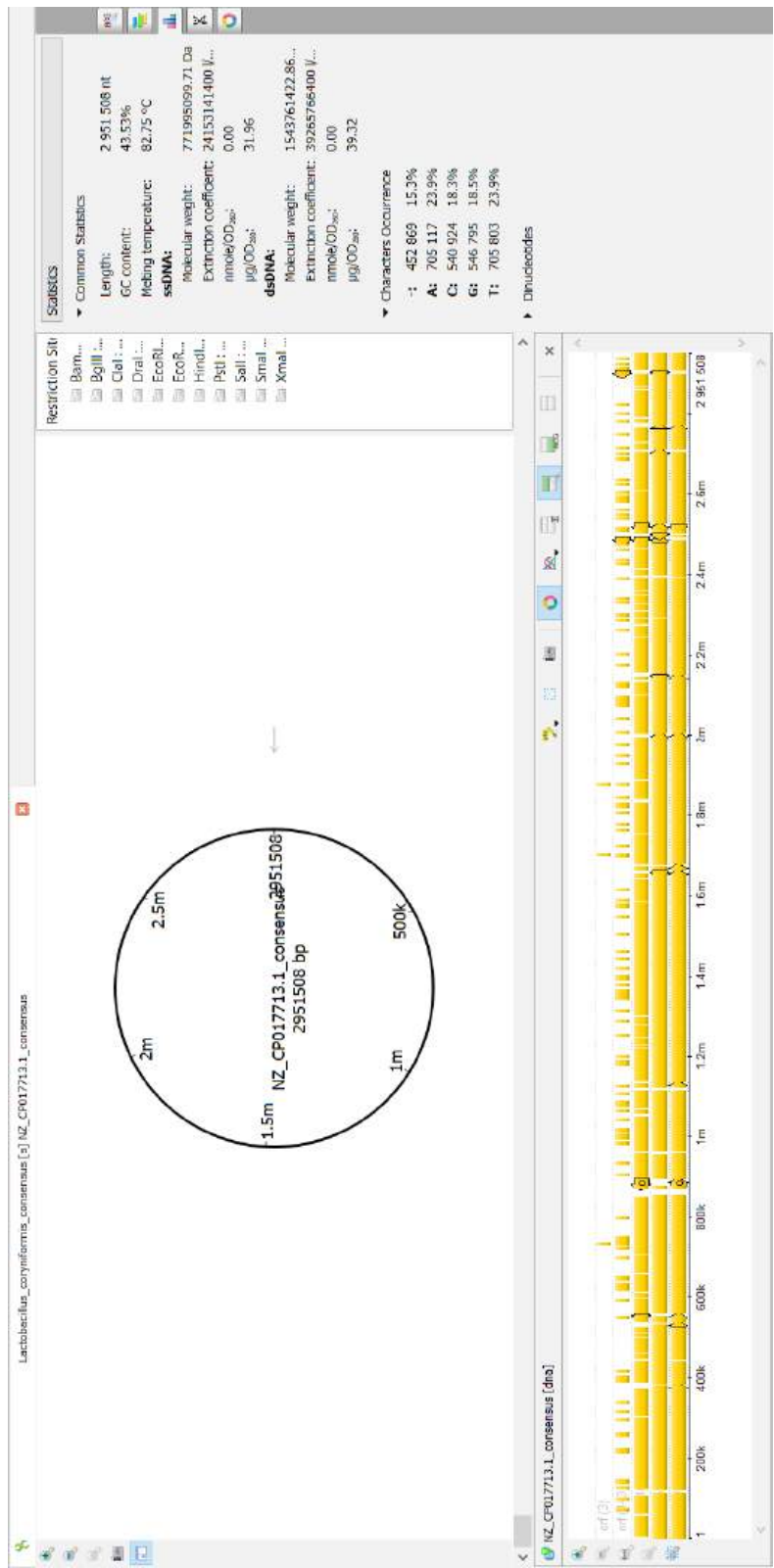


Рис. 7. Общее строение генома *Loigolactobacillus coryniformis*

Figure 7. General structure of the *Loigolactobacillus coryniformis* genome

Таблица 1

**Гены, кодирующие продуцирование бактериоцинов,
найденные в штамме *Loigolactobacillus coryniformis***

Table 1

**Genes encoding the production of bacteriocins found
in the *Loigolactobacillus coryniformis* strain**

NCBI				UniProt
Ген		Длина	Номер в GenBank	Ген
1	bacteriocin immunity protein	101	MCL5458578.1	Tetratricopeptide repeat protein
				Prebacteriocin
				Enterocin A Immunity protein
2	bacteriocin immunity protein	94	MCL5459414.1	Transcription regulator
				SakacinP immunity protein
				Putative SakacinP immunity protein
3	bacteriocin immunity protein	108	MCL5459586.1	Acriflavin resistance protein
				Aspartate-semialdehyde dehydrogenase
				Phage major capsid protein
4	bacteriocin immunity protein	103	MCL5459587.1	bacteriocin immunity protein
5	bacteriocin immunity protein	88	MCL5459860.1	bacteriocin immunity protein

Таблица 2

**Гены, кодирующие продуцирование бактериоцинов,
найденные в штамме *Lactobacillus johnsonii***

Table 2

Genes encoding the production of bacteriocins found in the *Lactobacillus johnsonii* strain

NCBI				UniProt
Ген		Длина	Номер в GenBank	Ген
1	bacteriocin immunity protein	98	MCL5443130.1	bacteriocin immunity protein
2	bacteriocin immunity protein	108	MCL5444037.1	bacteriocin immunity protein
3	bacteriocin immunity protein	143	MCL5444220.1	bacteriocin immunity protein
4	Blp family class II bacteriocin	69	MCL5444223.1	bacteriocin immunity protein
5	class III bacteriocin	331	MCL5444264.1	bacteriocin helveticin-J

Выводы Conclusions

Применение бактериального метагеномного анализа показало, что в содержимом слепых отростков кишечника кавказского и румынского фазанов на различных таксономических уровнях в большинстве случаев наблюдается одинаковое доминирование тех или иных групп микроорганизмов, однако у румынского фазана многообразие микробного фона более выражено.

Исследования по выделению и идентификации преобладающих представителей рода *Lactobacillus* из содержимого слепых кишок фазанов позволили получить чистые культуры доминирующих лактобактерий и определить их принадлежность до вида: *Loigolactobacillus coryniformis*, *Lactobacillus johnsonii* и *Lactobacillus reuteri*. В результате современных молекулярно-генетических методов были собраны и аннотированы 3 генома данных штаммов-пробионтов, а в структуре ДНК *Loigolactobacillus coryniformis* и *Lactobacillus johnsonii* были обнаружены последовательности, ответственные за продукцию бактериоцинов.

Таким образом, последние штаммы-пробионты были депонированы в ИБФМ РАН под номерами *Loigolactobacillus coryniformis* ВКМ В-3724Д и *Lactobacillus johnsonii* ВКМ В-3725Д.

Список источников

1. Корниенко Е.М., Швецов Н.Н. О пробиотиках в бройлерном птицеводстве // *Достижения и перспективы в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы II Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.Я. Горина*, пос. Майский, 28 января 2022 г. Майский: Белгородский ГАУ, 2022. С. 71-74. EDN: NGAYNY.
2. Лыско С.Б. Применение кормов с пробиотиком – экологичный способ профилактики кишечных инфекций цыплят-бройлеров // *Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 110-летию Пермского НИИ-ИСХ*, Пермь, 5-7 июля 2023 г. Пермь: Издательство «От и До», 2023. С. 434-440. EDN: BPNXWF.
3. Псахиева З.В., Каиров В.Р., Булацева С.В. Применение комплекса сорбента и пробиотика в птицеводстве // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 60-2. С. 70-76. https://doi.org/10.54258/20701047_2023_60_2_70
4. Яковец М.Г., Лысенко Ю.А., Шантыз А.Х. и др. Разработка и оценка эффективности использования кормовой добавки в рационе фазанов // *Ветеринария и кормление*. 2022. № 6. С. 75-78. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-6-20>
5. Лысенко Ю.А., Коцаев А.Г., Беяк В.А. и др. Анализ, выделение и идентификация микробиома из слепых отростков кишечника промышленных свиней // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 4. С. 168-183. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-168-183>
6. Ледашова А.С. Молекулярно-генетические исследования систематических групп микроорганизмов в кишечнике свиней // *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Материалы Международной научно-практической конференции*, Йошкар-Ола, 21-22 марта 2024 г. Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2024. С. 576-579. EDN: BVOZLL.

7. Лысенко Ю.А., Лунева А.В., Беляк В.А., Акчурина И.В. Генетический анализ микробиоты кишечника свиней // *Молодая аграрная наука: Материалы Международной научно-практической конференции*, Майкоп, 16 мая 2024 г. Майкоп: Издательство «Магарин Олег Григорьевич», 2024. С. 231-234. EDN: FFBTXX.
8. Устинова В.В., Смирнова Т.Г., Варламов Д.А. и др. Полногеномное секвенирование генома *Mycobacterium heckeshornense* // *Бактериология*. 2017. Т. 2, № 3. С. 108-109. EDN: ХОХМЕР.
9. Буряко И.А., Астапович Н.И., Стефанович Л.И., Сафонова М.Е. Выделение и отбор бактерий рода *Lactobacillus* – основы пробиотических препаратов // *Пробиотики, пребиотики, синбиотики и функциональные продукты питания. Современное состояние и перспективы: Материалы Международной конференции*, Москва, 2-4 июля 2004 г. Москва, 2004. С. 18-19.
10. Ковтун А.А., Беляк В.А. Исследование микробиома различных отделов ЖКТ индейки и их видовая идентификация // *Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича: Сборник статей*, Москва, 3-5 июня 2024 г. Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. С. 308-311. EDN: PVKUFG.
11. Лабинская А.С., Анкирская А.С., Бадлеева М.В. и др. *Частная медицинская микробиология с техникой микробиологических исследований: Учебное пособие*. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 608 с. EDN: FJENSW.
12. Попов Д.А., Овсенко С.Т., Вострикова Т.Ю. Применение метода MALDI-TOF MS в современной микробиологической лаборатории // *Поликлиника*. 2016. № 1-3. С. 53-56. EDN: VXENSB.
13. Васильев Д.А., Феоктистова Н.А., Мاستиленко А.В., Сульдина Е.В. Установление видовой принадлежности штаммов энтеробактерий методом MALDI-TOF MS // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 2 (42). С. 110-113. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-110-113>
14. Bankevich A., Nurk S., Antipov D. et al. A New Genome Assembly Algorithm and Its Applications to Single-cell Sequencing. *SPAdes: J. Comp. Biol.* 2012;19(5):455-477. <https://doi.org/10.1089/cmb.2012.0021>
15. Auch A.F., Mathias J., Klenk H., Göker M. Digital DNA-DNA Hybridization for Microbial Species Delineation by Means of Genome-to-genome Sequence Comparison. *Standards in Genomic Sciences*. 2010;2:117-134. <https://doi.org/10.4056/sigs.531120>
16. Meier-Kolthoff J.P., Goker M. TYGS is an Automated High-throughput Platform for State-of-the-art Genome-based Taxonomy. *Nature Communications*. 2019;10(1):2182. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10210-3>
17. Tatusova T., DiCuccio M., Badretdin A. et al. NCBI Prokaryotic Genome Annotation Pipeline. *Nucleic Acids Research*. 2016;44(14):6614-6624. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw569>
18. Gurevich A., Saveliev V., Vyahhi N., Tesler G. QUAST: Quality Assessment Tool for Genome Assemblies. *Bioinformatics*. 2013;29(8):1072-1075. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btt086>
19. Okonechnikov K., Golosova O., Fursov M. Unipro UGENE: a Unified Bioinformatics Toolkit. *Bioinformatics*. 2012;28(8):1166-1167. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts091>

References

1. Kornienko E.M., Shvetsov N.N. On probiotics in broiler poultry farming. *Vtoraya natsionalnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya V.Ya. Gorina 'Dostizheniya i perspektivy v sfere proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii'*. January 28, 2022. Maiskiy, Russia: Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, 2022:71-74. (In Russ.)
2. Lysko S.B. Use of feed with a probiotic is an environmentally friendly way to prevent intestinal infections in broiler chickens. *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 110-letiyu Permskogo NIISKh 'Razvitie sovremennykh sistem zemledeliya i zhivotnovodstva, obespechivayushchikh ekologicheskuyu bezopasnost okruzhayushchey sredy'*. July 5-7, 2023. Perm, Russia: Izdatelstvo "Ot i Do", 2023:434-440. (In Russ.)
3. Pskhatsieva Z.V., Kairov V.R., Bulatseva S.V. The use of a complex of sorbent and probiotics in poultry farming. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2023;60-2:70-76. (In Russ.) https://doi.org/10.54258/20701047_2023_60_2_70
4. Yakovets M.G., Lysenko Yu.A., Shantyz A.Kh., Luneva A.V. et al. Development and evaluation of the effectiveness of the use of feed additives in the diet of pheasants. *Veterinaria i Kormlenie*. 2022;6:75-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-6-20>
5. Lysenko Yu.A., Koshaev A.G., Belyak V.A., Luneva A.V., Marchenko E.Yu. Analysis, isolation and identification of the microbiome from the ceca of the intestines of industrial pigs. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;(4):168-183. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-168-183>
6. Ledyashova A.S. Molecular genetic studies of systematic groups of microorganisms in the intestine of pigs. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Aktualnye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva'*. March 21-22, 2024. Yoshkar-Ola, Russia: Mari State University, 2024:576-579. (In Russ.)
7. Lysenko Yu.A., Luneva A.V., Belyak V.A., Akchurina I.V. Genetic analysis of the intestinal microbiota of pigs. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Molodaya agrarnaya nauka'*. May 16, 2024. Maykop, Russia: Izdatelstvo "Magarin Oleg Grigorievich", 2024:231-234. (In Russ.)
8. Ustinova V.V., Smirnova T.G., Varlamov D.A., Larionova E.E. et al. Whole-genome sequencing of the *Mycobacterium heckeshornense* genome. *Bacteriology*. 2017;2(3):108-109. (In Russ.)
9. Buryako I.A., Astapovich N.I., Stefanovich L.I., Safonova M.E. Isolation and selection of bacteria of the genus *Lactobacillus* – the basis of probiotic preparations.: *Mezhdunarodnaya konferentsiya 'Probiotiki, prebiotiki, sinbiotiki i funktsionalnye produkty pitaniya. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy'*. July 2-4, 2004. Moscow, Russia, 2004:18-19. (In Russ.)
10. Kovtun A.A., Belyak V.A. Study of the microbiome of various sections of the turkey gastrointestinal tract and their species identification. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchonykh i spetsialistov, posvyashchonnaya 150-letiyu so dnya rozhdeniya A.Ya. Milovicha*. June 3-5, 2024. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2024:308-311. (In Russ.)
11. Labinskaya A.S., Ankirskaya A.S., Badleeva M.V., Blinkova L.P. et al. *Private medical microbiology with microbiological research techniques: a tutorial*. Saint Petersburg, Russia: Lan, 2022:608. (In Russ.)

12. Popov D.A., Ovseenko S.T., Vostrikova T.Yu. Application of the MALDI-TOF MS method in a modern microbiological laboratory. *Poliklinika*. 2016;1-3:53-56. (In Russ.)
13. Vasiliev D.A., Feoktistova N.A., Mastilenko A.V., Suldina E.V. Species identification of enterobacteria strains by means of MALDI-TOF MS. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;2(42):110-113. (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-110-113>
14. Bankevich A., Nurk S., Antipov D., Gurevich A. et al. A new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. *SPAdes: J. Comp. Biol.* 2012;19(5):455-477. <https://doi.org/10.1089/cmb.2012.0021>
15. Auch A.F., Mathias J., Klenk H., Göker M. Digital DNA-DNA hybridization for microbial species delineation by means of genome-to-genome sequence comparison. *Standards in Genomic Sciences*. 2010;2:117-134. <https://doi.org/10.4056/sigs.531120>
16. Meier-Kolthoff J.P., Goker M. TYGS is an automated high-throughput platform for state-of-the-art genome-based taxonomy. *Nature Communications*. 2019;10(1):2182. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10210-3>
17. Tatusova T., DiCuccio M., Badretdin A., Chetvernin V. et al. NCBI prokaryotic genome annotation pipeline. *Nucleic Acids Research*. 2016;44(14):6614-6624. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw569>
18. Gurevich A., Saveliev V., Vyahhi N., Tesler G. QUAST: quality assessment tool for genome assemblies. *Bioinformatics*. 2013;29(8):1072-1075. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btt086>
19. Okonechnikov K., Golosova O., Fursov M. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit. *Bioinformatics*. 2012;28(8):1166-1167. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts091>

Сведения об авторах

Альбина Владимировна Лунева, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной медицины, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: albina.luneva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4863-3590>

Юрий Андреевич Лысенко, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной медицины, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: yuraduban45@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2629-2334>

Марина Ивановна Селионова, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой разведения, генетики и биотехнологии животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: selionova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9501-8080>

Маргарита Геннадиевна Яковец, аспирант кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный

университет имени И.Т. Трубилина»; 350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. имени Калинина, 13; e-mail: margoyakovets@mail.ru

Евгений Юрьевич Марченко, кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель кафедры ветеринарной медицины, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: marchenko.vet@mail.ru

Information about the authors

Albina V. Luneva, DSc (Bio), Professor, Associate Professor at the Department of Veterinary Medicine, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: albina.luneva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4863-3590>

Yury A. Lysenko, DSc (Bio), Professor, Associate Professor at the Department of Veterinary Medicine, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: yuraduban45@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2629-2334>

Marina I. Selionova, DSc (Bio), Professor, Head of Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: selionova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9501-8080>

Margarita G. Yakovets, postgraduate student of the Department of Biotechnology, Biochemistry and Biophysics, Kuban State Agrarian University; 13 Kalinina st., Krasnodar, 350044, Russia; e-mail: margoyakovets@mail.ru

Evgeniy Yu. Marchenko, CSc (Vet), Senior Lecturer at the Department of Veterinary Medicine, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: marchenko.vet@mail.ru

ЗООТЕХНИКА, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

**Продуктивность, иммунный статус и микробиота кишечника
цыплят-бройлеров при включении в рацион пробиотиков
на основе *Lactiplantibacillus plantarum* SG66 и/или *Bacillus subtilis* GA24**

**Ришат Салаватович Мухаммадиев^{1,2✉}, Ринат Салаватович Мухаммадиев^{1,2},
Ленар Рашитович Валиуллин^{1,2}, Михаил Геннадьевич Барышев¹,
Вали Галиевич Гумеров², Алина Сергеевна Мухаммадиева²,
Андрей Иванович Самсонов², Булат Анварович Садыков³**

¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
Московская область, Россия

²Федеральный центр токсикологической, радиационной
и биологической безопасности, Казань, Россия

³Птицеводческий комплекс «Ак Барс», Республика Татарстан, Россия

✉ Автор, ответственный за переписку: tashir9891@mail.ru

Аннотация

В статье представлены данные по сравнительному анализу продуктивности, иммунного статуса и микробиоты слепого кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион пробиотиков на основе штаммов *Lactiplantibacillus plantarum* SG66 и/или *Bacillus subtilis* GA24. В исследованиях применялись цыплята-бройлеры кросса Кобб 500, которых выращивали при напольном содержании с суточного до 42-суточного возраста. Птицы 1-й, 2-й и 3-й групп получали сбалансированный рацион с добавлением опытных образцов пробиотиков на основе, соответственно, *L. plantarum* SG66, *B. subtilis* GA24 и их смеси из расчета $2,70 \times 10^6$ КОЕ/г корма; птицы 4-й группы (контроль) получали полнорационный комбикорм. Установлено, что прирост живой массы у цыплят 1-й, 2-й и 3-й групп был выше ($p < 0,05$) контроля, соответственно, на 6,18; 7,02; 9,81%, конверсия корма была ниже на 1,76; 3,53; 2,94%. Индекс продуктивности у птиц групп 1, 2 и 3 был выше, чем в контроле, на 35,75; 44,93; 54,66 ед. соответственно. Наибольшую сохранность имели бройлеры из 3-й группы (97,07%), затем – бройлеры 2, 1 и 4 групп (96,50; 96,63; 94,29% соответственно). Наблюдаемое увеличение ($p < 0,05$) переваримости питательных компонентов рациона цыплят группы 1 происходило за счет переваримости сухого вещества, цыплят группы 2 – за счет сухого вещества и клетчатки, группы 3 – за счет сухого вещества, клетчатки и протеина. По сравнению с контролем фагоцитарная активность нейтрофилов, бактерицидная и лизоцимная активность сыворотки крови бройлеров возрастала ($p < 0,05$) в группах 2 и 3. У птиц группы 1 не выявлены достоверные изменения в указанных показателях. Согласно результатам количественной ПЦР установлено, что общая численность бактерий в химусе слепого кишечника бройлеров 1, 2 и 3 групп была больше ($p < 0,05$) в 1,12; 1,21; 1,17 раза соответственно относительно контроля. Введение в рацион опытных образцов пробиотика приводило к повышению ($p < 0,05$) соотношения *Firmicutes/Bacteroidetes*, что положительно коррелировало с увеличением прироста живой массы тела цыплят ($p = 1,0$ по Спирмену).

Ключевые слова

Продуктивность, иммунный статус, микробиота кишечника, цыплята-бройлеры, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Bacillus subtilis*, пробиотики, птицеводство

Благодарности

Авторы выражают благодарность Ш.З. Валидову (НИЛ «Микробные биотехнологии» ИФМиБ Казанского (Приволжского) федерального университета), Т.В. Багаевой (кафедра биохимии, биотехнологии и фармакологии ИФМиБ Казанского (Приволжского) федерального университета) за помощь и полезные советы в аналитических экспериментах.

Для цитирования

Мухаммадиев Риш.С., Мухаммадиев Рин.С., Валиуллин Л.Р., Барышев М.Г. и др. Продуктивность, иммунный статус и микробиота кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион пробиотиков на основе *Lactiplantibacillus plantarum* SG66 и/или *Bacillus subtilis* GA24 // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 182–200.

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

Productivity, immune status and intestinal microbiota of broiler chickens when added to the diet probiotics based on *Lactiplantibacillus plantarum* SG66 and/or *Bacillus subtilis* GA24 strains

Rishat S. Mukhammadiev^{1,2✉}, Rinat S. Mukhammadiev^{1,2},
Lenar R. Valiullin^{1,2}, Mikhail G. Baryshev¹, Vali G. Gumerov²,
Alina S. Mukhammadieva², Andrey I. Samsonov², Bulat A. Sadykov³

¹All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow region, Russia

²Federal Center of Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia

³Poultry Farming Complex “Ak Bars”, Republic of Tatarstan, Russia

✉Corresponding author: tashir9891@mail.ru

Abstract

The article presents data on comparative analysis of the productivity, immune status and microbiota of the cecum of broiler chickens when probiotics based on the strains of *Lactiplantibacillus plantarum* SG66 and/or *Bacillus subtilis* GA24 were added to the diet. The work used broiler chickens of the Cobb 500 cross, which were raised in floor housing from one day to 42 days of age. The birds of groups 1, 2 and 3 received a balanced diet with the addition of probiotics based on *L. plantarum* SG66, *B. subtilis* GA24 and their mixtures, respectively, at dose of 2.70×10^6 CFU/g of feed; group 4 (control) received a complete diet. Live weight gain of the broiler chickens in groups 1, 2 and 3 was higher ($p < 0.05$) than the control by 6.18, 7.02 and 9.81%, respectively; feed conversion was lower by 1.76, 3.53 and 2.94%. Productivity index of the broiler chickens in groups 1, 2 and 3 was higher than in the control by 35.75, 44.93 and 54.66 U, respectively. The broiler chickens in group 3 (97.07%) had the highest safe keeping followed by groups 2, 1 and 4 (96.50, 96.63 and 94.29%, respectively). The observed increase ($p < 0.05$) in the digestibility of nutrients of the diet of the broiler chickens of group 1 was due to the digestibility of dry matter, group 2 – dry matter and fiber, group 3 – dry matter, fiber and protein. Compared with the control, the phagocytic activity of neutrophils, bactericidal and lysozyme activities of blood serum of the broiler chickens in groups 2 and 3 increased ($p < 0.05$). No significant changes in these indicators were observed in the broiler chickens of group 1. According to the results of quantitative PCR, the total number of bacteria in the chyme of the cecum of the broiler chickens of groups 1, 2 and 3 was greater ($p < 0.05$) in 1.12, 1.21 and 1.17 times higher, respectively, than in the control group ($p < 0.05$). An increased *Firmicutes/Bacteroidetes* ratio in the experimental groups of broiler chickens was positively correlated with an increase in their live weight gain ($p = 1.0$, according to Spearman, $p < 0.05$).

Keywords

productivity, immune status, intestinal microbiota, broiler chickens, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Bacillus subtilis*, probiotics, poultry farming

Acknowledgments

The authors would like to thank Shamil Z. Validov (Research Laboratory of Microbial Biotechnology, Institute of Philosophy, Biotechnology and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University), Tatyana V. Bagaeva (Department of Biochemistry, Biotechnology and Pharmacology, Institute of Philosophy, Biotechnology and Biology, Kazan (Volga Region) Federal University) for their assistance and useful advice in analytical experiments.

For citation

Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S., Valiullinn L.R. et al. Productivity, immune status and intestinal microbiota of broiler chickens when added to the diet probiotics based on *Lactiplantibacillus plantarum* SG66 and/or *Bacillus subtilis* GA24 strains. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 182–200.

Введение Introduction

Спрос на высококачественные продукты промышленного птицеводства в последние десятилетия существенно возрос: ожидалось, что в 2024 г. объем производства куриного мяса составит 103,3 млн т, что сделало бы его одним из самых потребляемых источников животного белка в мире [1, 2]. Наряду с этим в отрасли птицеводства существует проблема вспышек эпидемий инфекционных заболеваний [3, 4]. В связи с этим особое внимание исследователи уделяют вопросам поддержания здоровья сельскохозяйственной птицы, значимости в этом процессе разнообразия кишечной микробиоты и ее функциональной активности [5, 6]. В многочисленных отечественных и зарубежных работах отмечается, что микробиота кишечника способна оказывать значительное воздействие на развитие кишечного эпителия и нормализацию физиологических параметров в течение роста птицы, что обуславливает необходимость формирования оптимальных микробных сообществ в различных отделах ее кишечника [7–9].

Проблема вспышек эпидемий инфекционных заболеваний и необходимость повышения эффективности производства продукции отрасли птицеводства привели к широкому использованию антибиотиков, способных обеспечивать продуктивность и здоровье цыплят [10, 11]. Тем не менее развитие у патогенных бактерий резистентности к антибиотикам, потенциально отрицательное влияние их на кишечную микробиоту и окружающую среду привели к объявлению Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) того, что применение указанных препаратов в производстве пищевых продуктов представляет угрозу здоровью человечества [12]. По этой причине в 2006 г. введен общеевропейский запрет на применение антибиотиков при выращивании сельскохозяйственных животных [13, 14]. В настоящее время в России также принят закон, согласно которому запрещается вносить антимикробные препараты в корма животных и реализовывать данные корма без рецепта ветеринарного специалиста (№ 463-ФЗ).

Для решения указанных выше проблем в птицеводстве исследователям совместно с птицеводами было предложено разработать эффективные стратегии, позволяющие обеспечивать продуктивность и поддерживать состояние здоровья птицы [12, 15]. В качестве альтернативы антибиотикам в птицеводстве исследователями

были предложены различные кормовые добавки, среди которых выделяются пробиотики, или живые, строго отобранные микроорганизмы, способные оказывать позитивное воздействие на иммунную систему, регулировать состав и метаболизм кишечной микробиоты, улучшать пищеварение и усвоение питательных веществ, тем самым повышая устойчивость цыплят к различным болезням и стимулируя их рост [16, 17].

Микроорганизмы, используемые в качестве пробиотиков для птицеводства, принадлежат родам *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus* и *Candida* [1, 13]. Включенный в состав пробиотика микробный штамм обладает индивидуальным уровнем защитной эффективности. В связи с этим особое внимание при разработке указанных препаратов уделяется этапам поиска новых штаммов микроорганизмов, обладающих высоким метаболическим потенциалом, и характеристике их биологических свойств [18, 19]. В этом плане не вызывают сомнения разработка и использование поливидового/полиштаммового пробиотика, который способен воздействовать на разные сайты и обеспечивать разные способы действия, создающие синергетический эффект [6, 20].

В статье представлены результаты исследований двух биосовместимых между собой штаммов бактерий с высоким антимикробным потенциалом в отношении возбудителей кишечных инфекций [21, 22] в качестве пробиотических добавок для цыплят-бройлеров.

Цель исследований: оценить влияние пробиотиков на основе *L. plantarum* SG66 и/или *B. subtilis* GA24 на рост, сохранность, иммунный статус и микробиоту кишечника птицы, а также усвояемость питательных веществ кормов.

Методика исследований

Research method

В работе применяли штаммы молочнокислой *L. plantarum* SG66 и спорообразующей бактерий *B. subtilis* GA24 из фонда Коллекции микроорганизмов Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (Московская обл., Россия). Их биосовместимость [20], а также пробиотические свойства *in vitro* были установлены нами ранее [21, 22].

Бактериальные клетки штаммов получали методом, описанным в работе [20].

Научно-практический эксперимент осуществляли в условиях ООО «Птицеводческий комплекс «Ак Барс» (Республика Татарстан, Пестречинский р-н, с. Ленино-Кокушкино) на цыплятах-бройлерах кросса Кобб 500 суточного возраста. Опытные и контрольную группы цыплят формировали в соответствии с принципом аналогов (по возрасту и живой массе). Отобранные птицы были разделены на 4 группы по 30 животных в каждой:

- группа 1 (опыт) – цыплята, которые получали комбикорм с добавлением опытного образца пробиотика на основе *L. plantarum* SG66 в количестве $2,70 \times 10^6$ КОЕ/г корма;

- группа 2 (опыт) – цыплята, которые получали комбикорм с добавлением опытного образца пробиотика на основе *B. subtilis* GA24 в количестве $2,70 \times 10^6$ КОЕ/г корма;

- группа 3 (опыт) – цыплята, которые получали комбикорм с добавлением опытного образца пробиотика на основе *L. plantarum* SG66 и *B. subtilis* GA24 в количестве $2,70 \times 10^6$ КОЕ/г корма;

- группа 4 (контроль) – цыплята, которые получали комбикорма, сбалансированные по всем питательным веществам.

Продолжительность дачи опытных образцов пробиотиков птицам составляла 42 дня. При этом с нулевых суток по 14 сутки научно-практического эксперимента цыплята-бройлеры получали комбикорм «Старт» (ООО «Государев Амбар») в виде гранул, с 15 суток по 22 сутки – «РОСТ» (ООО «Казанская мельница») в виде гранул, с 23 суток по 33 сутки – «Финиш-1» (ООО «Казанская мельница») в виде гранул, а с 34 суток и до конца выращивания (42-й день) – «Финиш-2» (ООО «Казанская мельница») в виде гранул.

Молодняк мясной птицы выращивали при напольном содержании при постоянном искусственном освещении, температуре +34,0°C и понижении температуры на 2,0°C каждую неделю. Цыплята имели свободный доступ к корму и воде.

В процессе эксперимента осуществляли ежедневное взвешивание бройлеров опытных и контрольной групп, а также определяли показатели их продуктивности (прирост массы тела, привес) и сохранность поголовья.

Влияние опытных образцов пробиотиков на конверсию корма оценивали на основании учета потребленных кормов птицами и результатов прироста массы их тела [11]. Количество потребляемого бройлерами комбикорма определяли измерением остатка корма на еженедельной основе с начала исследований. Расчет европейского индекса продуктивности (I_n) осуществляли согласно формуле [8]:

$$I_n = \frac{M_{cp} \times C_n \times 100}{P_v \times Z_k},$$

где M_{cp} – средняя живая масса тела, кг; C_n – сохранность поголовья, %; P_v – продолжительность выращивания, сут.; Z_k – затраты корма на 1 кг прироста массы тела, кг.

Влияние опытных образцов пробиотиков на усвоение кальция, фосфора и азота оценивали балансовым опытом, в ходе которого производили учет количества каждого элемента в среднесуточной дозе рациона и помете птицы [23]. В физиологическом балансовом опыте также определяли коэффициенты усвоения кальция, фосфора и азота организмом бройлеров.

По окончании эксперимента (на 42 сутки) у птиц опытных и контрольной групп (произвольно по 5 гол.) проводили забор крови и содержимого слепой кишки для лабораторных исследований.

В образцах крови цыплят устанавливали морфологические (общее число эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобин) и иммунологические (фагоцитарная активность (ФА) нейтрофилов, бактерицидная (БА) и лизоцимная (ЛА) активности сыворотки) показатели способами, описанными нами ранее [24] и в работе [3].

В образцах содержимого слепого кишечника цыплят исследовали общую численность, состав и структуру бактериального сообщества молекулярно-генетическим методом.

Для определения общей численности бактерий слепого кишечника выделение тотальной ДНК из образцов проводили набором реагентов «Genomic DNA Purification Kit» («Fermentas», Литва) по рекомендациям производителя. ПЦР в реальном времени (ПЦР-РВ) осуществляли, используя «Набор реагентов для ПЦР-РВ в присутствии интеркалирующего красителя EVAGreen» («Синтол», Россия), комбинацию праймеров 338F (5'-ACTCCTACGGGAGGCGAGCAG-3') и 518R (5'-ATTACCGCGTCTGCTGG-3'). ПЦР-амплификацию гена осуществляли по следующему режиму: 1 цикл – +95°C в течение 3 мин (стартовая денатурация); 40 циклов – при температуре +95°C в течение 13 с (денатурация), при +57°C в течение 13 с (отжиг), при +72°C в течение 30 с (элонгация) [25].

Для установления состава и структуры бактериального сообщества слепого кишечника варибельную V3 область гена 16S рРНК бактерий амплифицировали, применяя комбинацию универсальных праймеров 515F (5'-CCTACGGGNGGCW-GCAG-3') и 806R (5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3'). ПЦР-амплификацию гена осуществляли по следующему режиму: 1 цикл – при температуре +94°C в течение 4 мин (стартовая денатурация); 25 циклов – при +94°C в течение 30 с (денатурация), при +50°C в течение 45 с (отжиг), при +72°C в течение 30 с (элонгация); 1 цикл – при +72°C в течение 5 мин (финальный синтез) [26]. Продукты, полученные после реакции, разделяли с помощью метода электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле, а затем очищали набором реагентов QIAquick Gel Extraction Kit («Qiagen», Германия) по рекомендациям фирмы-производителя. Количественное определение ампликонов проводили с использованием набора реагентов Quant-iT Pico Green dsDNA Assay Kit («Invitrogen», США), а создание библиотеки сиквенсов – с использованием набора TruSeq DNA PCR-Free («Illumina», США) в соответствии с инструкциями от компаний-производителей. Для секвенирования библиотек, содержащих гены 16S рРНК, использовали набор реагентов MiSeq Reagent Kit v2 («Illumina», США) и систему генетического анализа MiSeq («Illumina», США).

Анализ данных секвенирования осуществляли в программе «QIIME2» (версия 2020.2) [8]. Полученные сиквенсы объединяли в операционные таксономические единицы (OTE) в соответствии с гомологией в 97%. На основании полученных данных устанавливали таксономическую принадлежность ОТЕ, применяя базу данных RDP (Ribosomal Database Project; <http://rdp.cme.msu.edu>). Изучение данных таксономической структуры сообщества кишечного микробиома птиц проводили по долям ОТЕ с целью выяснения состава и структуры основных таксономических единиц.

Статистический анализ полученных результатов исследований осуществляли в программах MS Excel и GraphPad Prism, применяя дисперсионный анализ (one-way ANOVA) и критерий Тьюки, и с помощью t-критерия Стьюдента. Достоверными считали данные с уровнем значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В отечественной и зарубежной литературе имеются данные, свидетельствующие о том, что штаммы *Lactiplantibacillus plantarum* и *Bacillus subtilis* способны улучшать зоотехнические показатели молодняка мясной птицы [3, 8, 27]. В наших исследованиях в результате применения опытных образцов пробиотиков показано повышение ($p < 0,05$) показателей продуктивности и сохранности бройлеров в экспериментальных группах относительно контроля (табл. 1).

Значение прироста живой массы бройлеров варьировало (2669,00–2760,18 г) в зависимости от используемого пробиотика и оказалось наибольшим в 3-й экспериментальной группе, где указанный показатель был на 9,81% выше ($p < 0,05$), чем в 4-й группе (контроль). При этом в 3-й группе отмечали снижение конверсии корма на 2,94% относительно контроля. Прирост живой массы у цыплят 1-й и 2-й групп был выше ($p < 0,05$) контроля на 6,18 и 7,02%, конверсия корма – ниже на 1,76 и 3,53% соответственно. Сравнение указанных показателей экспериментальных групп позволяет заключить следующее: в группе 3 наблюдается достоверное увеличение привеса на 3,42 и 2,61% соответственно по сравнению с группами 1 и 2, снижение конверсии корма на 1,21% относительно группы 1 и повышение последнего параметра на 0,61% в сравнении с группой 2.

**Показатели продуктивности и сохранности бройлеров кросса Кобб 500
на фоне применения опытных образцов пробиотиков***

Table 1

**Productivity and safety indicators of Cobb 500 cross broilers
against the background of the use of probiotic prototypes***

Показатели	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Сохранность поголовья, %	96,63	96,50	97,07	94,29
Прирост живой массы, г	2669,00±54,17	2690,09±32,94	2760,18±36,32	2513,63±43,75
Среднесуточный прирост, г	63,55±1,29	64,05±0,78	65,72±0,87	59,85±1,04
Конверсия корма	1,67	1,64	1,65	1,70
И _п , ед.	367,70	376,88	386,62	331,95

*Различия между значениями являются статистически значимыми при $p < 0,05$.

Сохранность мясной птицы в зависимости от используемого пробиотика существенно не различалась: наибольшую имели бройлеры из 3-й группы (97,07%), затем – 2-й и 1-й групп (96,50 и 96,63% соответственно). Наименьшую сохранность отмечали у цыплят контрольной группы. Значения сохранности цыплят опытных групп были выше на 2,21–2,78% относительно значений указанного показателя контроля.

И_п у птиц групп 1, 2 и 3 был выше, чем в контроле, на 35,75; 44,93 и 54,66 ед. соответственно. При сравнении указанного показателя опытных групп было установлено повышение И_п на 4,89 и 2,52% в группе 3 относительно групп 1 и 2.

Полученные на основе балансового опыта результаты в целом согласовывались с данными по показателям продуктивности цыплят-бройлеров (табл. 2).

Установлено, что повышение ($p < 0,05$) переваримости питательных компонентов рациона бройлеров группы 1 произошло за счет переваримости сухого вещества, группы 2 – сухого вещества и клетчатки, группы 3 – сухого вещества, клетчатки и протеина. Наибольшую переваримость клетчатки и протеина корма наблюдали во 2-й группе: значения коэффициента переваримости указанных питательных веществ были выше ($p < 0,05$), соответственно, на 2,12 и 3,96% по отношению к контролю. Переваримость сухого вещества, клетчатки и протеина в 3-й группе превышала аналогичные показатели контрольной группы, соответственно, на 2,68; 1,93; 3,60%. Во 2-й и 3-й группах использование азота оказалось выше, чем в контроле, на 3,03% ($p < 0,05$) и 2,78% ($p < 0,05$), использование кальция – 1,88% ($p > 0,05$) и 2,66% ($p < 0,05$) соответственно. Во всех экспериментальных группах переваримость жира и использование фосфора корма цыплятами имели тенденцию повышения относительно контроля. Тем не менее наблюдаемые различия в указанных показателях не имели достаточной степени достоверности ($p > 0,05$).

Более низкая переваримость клетчатки, протеина и жира рациона, а также использование азота и фосфора бройлерами 1-й группы свидетельствуют о потенциальной необходимости корректировки способа применения или дозировки пробиотика на основе *L. plantarum* SG66.

**Использование питательных веществ рациона, %, бройлеров
красса Кобб-500 на фоне применения опытных образцов пробиотиков***

Table 2

**Use of dietary nutrients (%) of Cobb-500 broilers against the background
of the use of probiotic prototypes***

Показатели	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Коэффициенты переваримости				
сухого вещества	76,69±0,87	76,47±0,92*	77,36±1,38	74,68±1,01*
клетчатки	18,69±1,24*	20,12±1,06	19,93±0,90	18,00±0,98*
протеина	90,51±0,88*	92,59±1,19	92,23±1,26	88,63±1,33*
жира	77,78±0,84*	77,86±0,95*	78,25±1,01*	76,91±0,80*
Использование				
азота	64,01±1,53*	65,38±1,41	65,13±1,29	62,35±1,37*
кальция	49,89±0,98	49,74±1,20*	50,52±1,42	47,86±1,04*
фосфора	39,60±1,06*	39,73±1,35*	40,37±1,17*	39,22±1,25*

*Различия между значениями являются статистически незначимыми при $p \geq 0,05$.

Более высокая переваримость клетчатки и протеина корма во 2-й и 3-й группах птиц связана скорее всего со способностью входящего в состав опытных образцов пробиотика *B. subtilis* GA24 продуцировать ряд внеклеточных гидролаз [20]. Ранее нами было показано [28], что бациллярный штамм GA24 на питательной среде на основе ксилана и пептона синтезирует ксиланазу и протеазу с максимальной ферментативной активностью ($9,9 \pm 0,3$) и ($51,3 \pm 1,3$) ед/мл соответственно.

По сравнению с контролем в крови цыплят-бройлеров групп 2 и 3 отмечали достоверные изменения морфологических и иммунологических показателей (табл. 3).

Во 2-й группе бройлеров количество гемоглобина, эритроцитов и лейкоцитов оказалось выше контрольных значений, соответственно, на 3,84 ($p > 0,05$), 4,35 ($p < 0,05$) и 6,49% ($p < 0,05$); в 3-й группе – на 9,03 ($p < 0,05$), 7,83 ($p < 0,05$) и 8,30% ($p < 0,05$). По сравнению с контролем ФА, БА и ЛА сыворотки крови также возрастали ($p < 0,05$) в группах 2 и 3. У птиц 1-й группы не выявлены достоверные изменения в указанных показателях, однако установлена некоторая тенденция их увеличения.

Следует отметить, что морфологические показатели крови и параметры неспецифической резистентности организма цыплят экспериментальных групп находились в пределах нормы, свидетельствуя о положительном влиянии опытных образцов пробиотиков на физиологическое состояние птицы и, следовательно, на их сохранность.

**Морфологические показатели крови
и неспецифическая резистентность организма бройлеров кросса Кобб 500
на фоне применения опытных образцов пробиотиков**

Table 3

**Morphological parameters of blood and non-specific resistance of the organism
of Cobb-500 broilers against the background of the use of probiotic prototypes**

Показатели	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Гемоглобин, г/л	101,32±2,53*	102,46±2,44*	107,58±2,68	98,67±2,36*
Эритроциты, 10 ¹² /л	3,56±0,08*	3,60±0,06	3,72±0,07	3,45±0,08*
СОЭ, мм/ч	2,38±0,04	2,43±0,05	2,34±0,04	2,57±0,05
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	26,96±0,58*	27,72±0,56	28,19±0,63	26,03±0,60*
ФА нейтрофилов, %	42,84±1,06*	43,96±1,04	44,68±1,11	41,45±1,02*
БА сыворотки, %	40,87±1,02*	42,54±1,00	43,22±1,16	38,89±0,97*
ЛА сыворотки, %	23,12±0,57*	24,93±0,62	25,65±0,56	22,01±0,55*

*Различия между значениями являются статистически незначимыми при $p \geq 0,05$.

Полученные нами данные свидетельствуют о стимулирующем воздействии опытных образцов пробиотиков, содержащих *B. subtilis* GA24, на гуморальные и клеточные факторы иммунитета мясной птицы, что, по-видимому, обусловлено способностью бациллы образовывать биологически активные метаболиты. В предыдущей работе [20] чашечным методом нами было установлено, что бациллярный штамм GA24 образует сидерофоры, бактериоцины и экзополисахариды, а также соединения с антиоксидантным потенциалом.

Результаты наших исследований согласуются с данными других работ, в которых показано, что штаммы *Lactiplantibacillus plantarum* и *Bacillus subtilis* способны повышать усвояемость питательных веществ рациона и иммунный статус цыплят-бройлеров [26, 27].

В исследованиях выполнена оценка изменений, которые вызывали опытные образцы пробиотиков, в структуре микробиоты содержимого слепой кишки в связи с осуществлением в ней значительных процессов ферментации и переваривания различных субстратов (целлюлозы, ксилана, крахмала и других полисахаридов), а также наиболее продолжительным удерживанием корма в этом отделе пищеварительного тракта птиц (12–20 ч) [25].

Проведенный молекулярно-генетический анализ показал более высокую общую численность бактерий в образцах содержимого слепого кишечника бройлеров экспериментальных групп по сравнению с контролем (рис. 1).

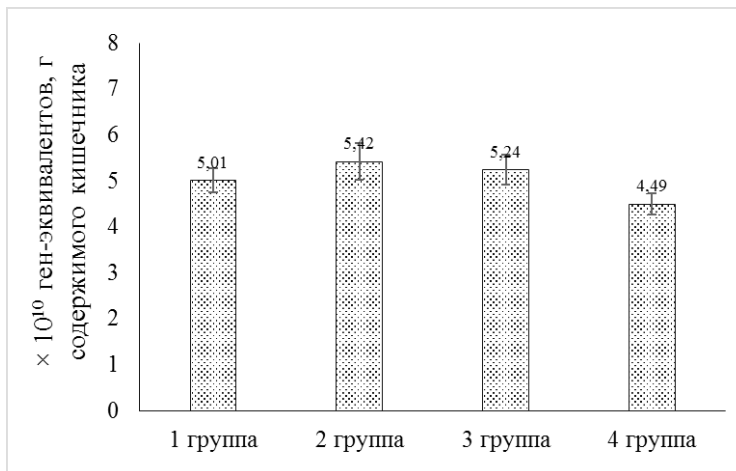


Рис. 1. Общая численность бактерий слепой кишки бройлеров кросса Кобб-500 на фоне применения опытных образцов пробиотиков (результаты количественной ПЦР)

Figure 1. Total number of bacteria in the cecum of Cobb-500 broilers after application of probiotic prototypes (quantitative PCR results)

Общая численность бактерий в содержимом слепой кишки цыплят групп 1, 2 и 3 была выше ($p < 0,05$), соответственно, в 1,12; 1,21; 1,17 раза относительно контроля. При сравнении указанного показателя экспериментальных групп достоверные изменения не установлены.

В слепой кишке контрольной и экспериментальных групп молодняка птиц идентифицировали представителей филумов *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Proteobacteria*, *Tenericutes*, *Actinobacteria*, *Cyanobacteria* и *Synergistetes* (рис. 2), что согласуется с проведенными исследованиями отечественных авторов микробиоты химуса слепых отростков бройлеров кросса Кобб-500 [8].

Доминирующими филумами в сообществах кишечника были *Firmicutes* и *Bacteroidetes* (рис. 2, слева). Тем не менее в зависимости от используемого пробиотика в соотношении численности представителей филумов отмечали изменения, имеющие сходные тенденции для птицы опытных групп. Так, доля *Firmicutes* в микробиоте слепой кишки бройлеров 1, 2 и 3 групп была больше ($p < 0,05$) в 1,11; 1,20; 1,28 раза, *Bacteroidetes* – ниже в 1,15; 1,44; 1,85 раза соответственно по сравнению с контролем. Представители филумов *Proteobacteria*, *Tenericutes*, *Actinobacteria*, *Cyanobacteria* и *Synergistetes* являлись второстепенными сообществами микробиоты кишечника молодняка мясной птицы.

На уровне класса филумы *Firmicutes* и *Bacteroidetes* в микробном сообществе слепой кишки бройлеров всех групп были преимущественно представлены *Clostridia* и *Bacteroidia* (рис. 2, справа), которые включают в себя бактерии, способные к продукции целлюлозо-, амило- и протеолитических ферментов (семейства *Ruminococcaceae*, *Lachnospiraceae*, *Lactobacillaceae* и др.) [16, 25]. Введение в рацион птиц опытных образцов пробиотиков приводило к изменению соотношения выявленных классов. Так, доля *Clostridia* в микробиоте кишечника цыплят 1, 2 и 3 групп была выше ($p < 0,05$), соответственно, в 1,13; 1,22; 1,29 раза, *Bacteroidia* – ниже в 1,14; 1,43; 1,90 раза относительно контроля. Бактерии других классов присутствовали существенно в меньших количествах.

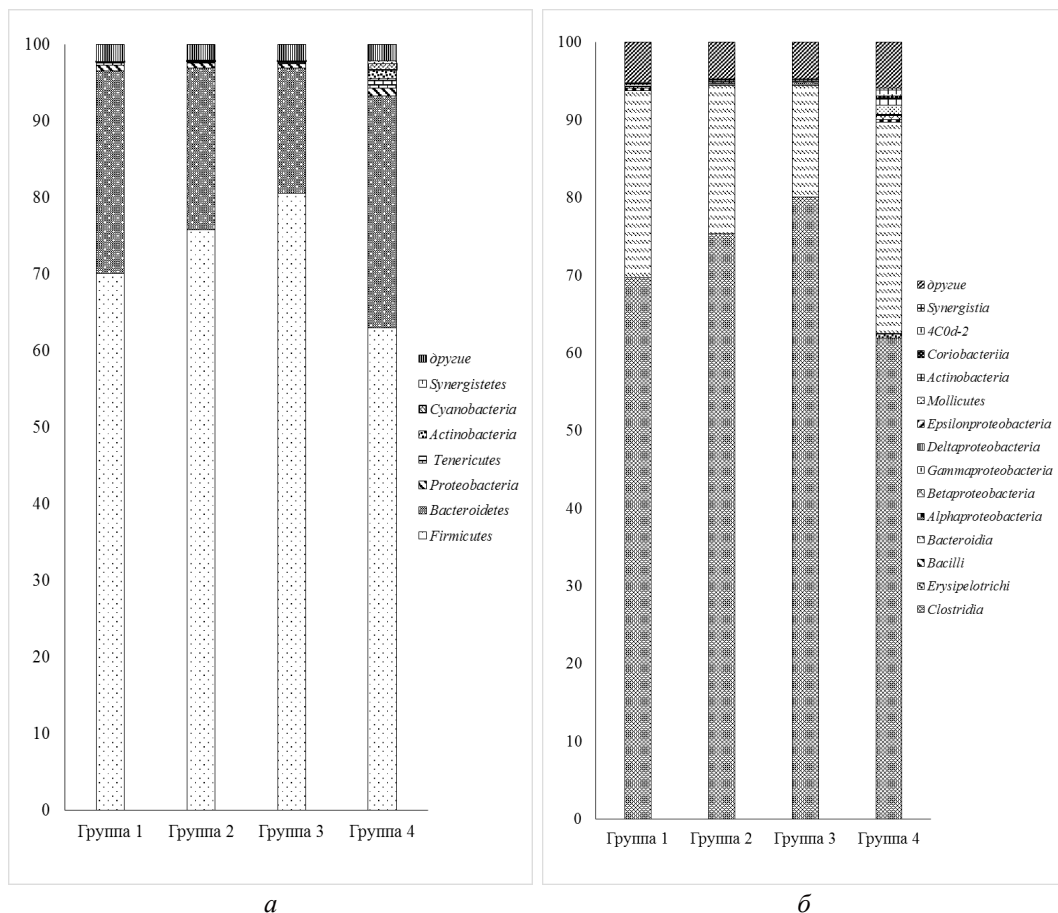


Рис. 2. Соотношение численности бактерий, %, на уровне филума (а) и класса (б) сообществ слепой кишки бройлеров кросса Кобб-500 на фоне применения опытных образцов пробиотиков

Figure 2. Relative abundances (%) of bacteria at the level of phylum (a) and class (b) of communities in the cecum of Cobb-500 broilers against the background of the use of probiotic prototypes

Нами было отмечено снижение доли представителей филума *Proteobacteria* в 1,35–1,76 раза и класса *Gammaproteobacteria* в 2,00–2,67 раза в кишечнике бройлеров экспериментальных групп по сравнению с контрольной группой. Среди представителей указанного класса встречаются патогенные виды бактерий (рода *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* и др.), поэтому уменьшение их численности свидетельствует о способности опытных образцов пробиотиков к коррекции микрoэкологических нарушений кишечника птиц. В наших более ранних работах [21, 22] показано, что штаммы *L. plantarum* SG66 и *B. subtilis* GA24 проявляют антимикробный потенциал в отношении грамположительных *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus* sp. и грамотрицательных бактерий *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* sp., *Citrobacter* sp., полученных из биоматериала погибшего молодняка птицы с клиническими симптомами кишечных инфекций.

В ряде работ установлено, что повышение соотношения филумов *Firmicutes*/*Bacteroidetes* обусловлено стимулированием показателей роста мясной

птицы [8, 29]. Увеличение численности представителей филума *Firmicutes* приводит к сравнительно высокому уровню продукции короткоцепочечных летучих жирных кислот, используемых как источник энергии и углерода для роста животного [8, 30]. В наших исследованиях корреляционный анализ Спирмена показал положительную взаимосвязь соотношения *Firmicutes/Bacteroidetes* и прироста живой массы тела цыплят-бройлеров ($\rho = 1,0$; $p < 0,05$) (рис. 3).

Анализ полученных в исследованиях данных свидетельствует о том, что повышенный уровень представителей филума *Firmicutes* и, в частности, *Clostridia* в слепом кишечнике может рассматриваться в качестве потенциального маркера высокой мясной продуктивности у бройлеров.

Данные, полученные в результате зоотехнического и балансового опытов, морфологических и иммунологических исследований крови, молекулярно-генетического анализа образцов содержимого слепой кишки молодняка мясной птицы, указывают на более низкую эффективность моновидовых/моноштаммовых пробиотиков по сравнению с поливидовыми/полиштаммовыми пробиотиками как кормовыми добавками.

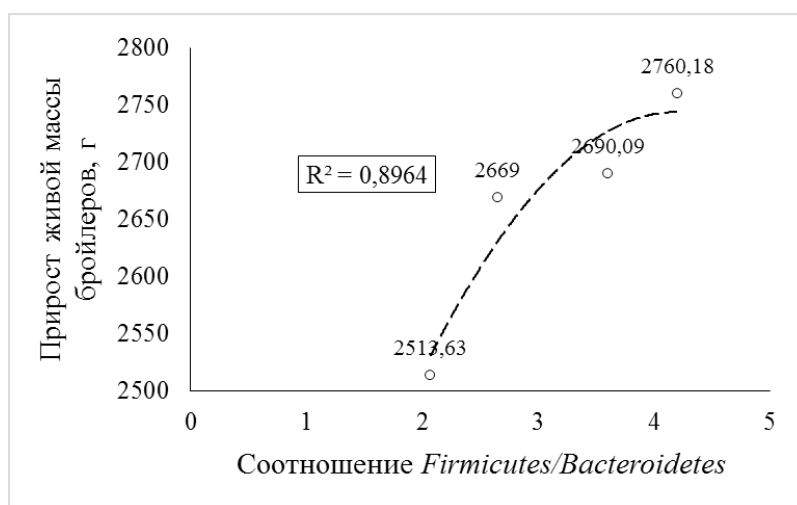


Рис. 3. Зависимость между приростом живой массы бройлеров и соотношением *Firmicutes/Bacteroidetes*

Figure 3. Relationship between live weight gain of broilers and *Firmicutes/Bacteroidetes* ratio

Выводы

Conclusions

Использование опытных образцов пробиотиков на основе *L. plantarum* SG66 и/или *B. subtilis* GA24 в рационе цыплят-бройлеров повышало прирост живой массы тела, усвояемость питательных компонентов рациона, а также оказывало положительное влияние на состав и структуру их бактериального сообщества слепого кишечника. Установлено, что опытный образец препарата, содержащий *L. plantarum* SG66 и *B. subtilis* GA24, продемонстрировал наилучшие результаты по указанным выше показателям.

Список источников

1. Феоктистова Н.В., Марданова А.М., Хадиева Г.Ф., Шарипова М.Р. Пробиотики на основе бактерий рода *Bacillus* в птицеводстве // *Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки»*. 2017. Т. 159, № 1. С. 85-107. EDN: YQACRP.
2. Fathima S., Shanmugasundaram R., Adams D., Selvaraj R. Gastrointestinal microbiota and their manipulation for improved growth and performance in chickens. *Foods*. 2022. 11;10:1401-1431. <https://doi.org/10.3390/foods11101401>
3. Тараканов Б.В., Николичева Т.А., Манухина А.И. Микрофлора кишечника, иммунный статус и продуктивность цыплят-бройлеров при включении в рацион пробиотика микроцикола // *Сельскохозяйственная биология*. 2007. Т. 42, № 2. С. 87-94. EDN: HZUFTX.
4. Abd El-Ghany W.A., Abdel-Latif M.A., Hosny F., Alatfeehy N.M. et al. Comparative efficacy of postbiotic, probiotic, and antibiotic against necrotic enteritis in broiler chickens. *Poult. Sci.* 2022. 101;8:101988. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101988>
5. Дускаев Г.К., Рахматуллин Ш.Г., Косян Д.Б., Русакова Е.А. и др. Влияние совместного использования гамма-окталактона и хлортетрациклина в рационе бройлеров: живая масса, эффективность использования корма и микробиом слепого кишечника // *Аграрная наука*. 2022. № 9. С. 47-53. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-47-53>
6. Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиев Р.С., Валиуллин Л.Р., Барышев М.Г. и др. Оптимизация параметров совместного культивирования *Bacillus subtilis* GA27 и *Bacillus subtilis* RF-45 для возможности создания пробиотиков, метапробиотиков и метабиотиков для птицеводства // *Ветеринария Кубани*. 2023. № 3. С. 32-38. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2023-3-32-38>
7. Тюрина Д.Г., Лаптев Г.Ю., Ылдырым Е.А., Ильина Л.А. и др. Сравнительная оценка влияния вирджиниамицина и пробиотика на состав кишечного микробиома и зоотехнические показатели цыплят-бройлеров (*Gallus gallus* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 6. С. 1220-1232. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1220rus>
8. Hadieva G., Lutfullin M., Pudova D., Akosah Y. et al. Supplementation of *Bacillus subtilis* GM5 enhances broiler body weight gain and modulates cecal microbiota. *3 Biotech*. 2021;11:126-139. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02634-2>
9. Luise D., Bosi P., Raff L., Amatucci L. et al. *Bacillus spp.* probiotic strains as a potential tool for limiting the use of antibiotics, and improving the growth and health of pigs and chickens. *Front. Microbiol.* 2022;13:801827. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.801827>
10. Грозина А.А. Состав микрофлоры желудочно-кишечного тракта у цыплят-бройлеров при воздействии пробиотика и антибиотика (по данным T-RFLP-RT-PCR) // *Сельскохозяйственная биология*. 2014. Т. 49, № 6. С. 46-58. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.6.46rus>
11. Хадиева Г.Ф., Лутфуллин М.Т., Николаева А.А., Мочалова Н.К. и др. Влияние пробиотиков *Bacillus subtilis* GM2 и GM5 на рост и усвояемость кормов у цыплят-бройлеров // *Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки»*. 2019. Т. 161. Кн. 3. С. 472-489. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.472-489>
12. Mancuso G., Midiri A., Gerace E., Biondo C. Bacterial antibiotic resistance: the most critical pathogens. *Pathogens*. 2021;10:1310-1324. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101310>

13. Сазыкин И.С., Хмелевцова Л.Е., Селиверстова Е.Ю., Сазыкина М.А. Влияние антибиотиков, используемых в животноводстве, на распространение лекарственной устойчивости бактерий (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2021. Т. 57, № 1. С. 24-35 <https://doi.org/10.31857/S0555109921010335>
14. Ыылдырым Е.А., Ильина Л.А., Тюрина Д.Г., Дубровин А.В. и др. Чем заменить антибиотики в птицеводстве? // *Птицеводство*. 2020. № 9. С. 41-46. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-9-41-46>
15. Huang P., Zhang Y., Xiao K., Fan J. et al. The chicken gut metagenome and the modulatory effects of plant-derived benzyloquinoline alkaloids. *Microbiome*. 2018. 6;1:211-228. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0590-5>
16. Фисинин В.И., Андрианова Е.Н., Чеботарев И.И., Лаптев Г.Ю. и др. Биопрепарат на основе штамма *Lactobacillus plantarum* L-211 для животноводства. Сообщение I. Кормление бройлеров // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52, № 2. С. 382-390. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.2.382>
17. Yang C., Wang S., Li Q., Zhang R. et al. Effects of probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* HJLP-1 on growth performance, selected antioxidant capacity, immune function indices in the serum, and cecal microbiota in broiler chicken. *Animals*. 2024;14:668-681. <https://doi.org/10.3390/ani14050668>
18. Ji L., Zhang L., Liu H., Shen J. et al. *Bacillus subtilis* M6 improves intestinal barrier, antioxidant capacity and gut microbial composition in AA broiler. *Front. Nutr.* 2022;9:965310. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.965310>
19. Хадиева Г.Ф., Лутфуллин М.Т., Мочалова Н.К., Ленина О.А. и др. Новые штаммы *Bacillus subtilis* как перспективные пробиотики // *Микробиология*. 2018. Т. 87, № 4. С. 356-365. <https://doi.org/10.1134/S0026261718040112>
20. Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиев Р.С., Валиуллин Л.Р., Гибадуллин Р.З. и др. Молочнокислые и спорообразующие бактерии: формирование сообществ как основы функциональных добавок с пробиотическими свойствами для птицеводства // *Ветеринария Кубани*. 2023. № 2. С. 30-36. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2023-2-30-36>
21. Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиев Р.С., Гумеров В.Г., Рудь С.В. и др. Антагонистический потенциал молочнокислых микроорганизмов в отношении возбудителей кишечных инфекций молодняка сельскохозяйственной птицы // *Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: Всероссийская научно-практическая конференция*. Благовещенск: Издательство ДГАУ, 2022. Т. 3. С. 138-144. https://doi.org/10.22450/9785964205494_3_20
22. Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиева А.С. Антагонистическая активность новых штаммов микроорганизмов в отношении возбудителей кишечных инфекций молодняка сельскохозяйственной птицы // *Молодежные разработки и инновации в решении приоритетных задач АПК: Международная научная конференция студентов, аспирантов и учащейся молодежи, посвященная памяти академиков М.П. Тушинова и А.З. Равилова*. Казань: Издательство ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ, 2022. Т. 1. С. 348-350.
23. Корягина А.О., Бульмакова Д.С., Сулейманова А.Д., Рудакова Н.Л. и др. Бактериальные ферменты как потенциальные кормовые добавки в птицеводстве // *Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки»*. 2019. Т. 161. Кн. 3. С. 459-471. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.459-471>
24. Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиев Р.С., Валиуллин Л.Р., Барышев М.Г. и др. Новый подход с использованием пробиотика, метабиотика и бактериальных ферментов для коррекции вызванных действием патогенных факторов микроразбиологических нарушений кишечника молодняка сельскохозяйственной птицы // *Ветеринария Кубани*. 2024. № 1. С. 14-20. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2024-1-14-20>

25. Фисинин В.И., Ильина Л.А., Йылдырым Е.А., Никонов И.Н. и др. Бактериальное сообщество слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров на фоне питательных рационов различной структуры // *Микробиология*. 2016. Т. 85, № 4. С. 472-480. <https://doi.org/10.7868/S0026365616040054>
26. Mohamed T.M., Sun W., Bumbie G.Z., Elokil A.A. et al. Feeding *Bacillus subtilis* ATCC19659 to broiler chickens enhances growth performance and immune function by modulating intestinal morphology and cecum microbiota. *Front. Microbiol.* 2022;12:798350. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.798350>
27. Yin Y., Liao Y., Li J., Pei Z. et al. *Lactobacillus plantarum* GX17 benefits growth performance and improves functions of intestinal barrier/intestinal flora among yellow-feathered broilers. *Front. Immunol.* 2023;14:1195382. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1195382>
28. Мухаммадиев Р.С., Валиуллин Л.Р., Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиева А.С. и др. Оптимизация состава питательной среды пробиотического штамма *B. subtilis* GA24 – продуцента кормовых ферментов // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2022. Т. 250, № 2. С. 155-159. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_250_155
29. Salaheen S., Kim S.W., Haley B.J., Van Kessel J.A.S. et al. Alternative growth promoters modulate broiler gut microbiome and enhance body weight gain // *Front. Microbiol.* 2017; 8:2088. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02088>
30. Shabat S.K.B., Sasson G., Doron-Faigenboim A., Durman T. et al. Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants // *ISME J.* 2016;10:2958-2972. <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.62>

References

1. Feoktistova N.V., Mardanov A.M., Khadieva G.F., Sharipova M.R. Probiotics based on bacteria from the genus *Bacillus* in poultry breeding. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*. 2017;159:85-107. (In Russ.)
2. Fathima S., Shanmugasundaram R., Adams D., Selvaraj R. Gastrointestinal microbiota and their manipulation for improved growth and performance in chickens. *Foods*. 2022;11(10):1401-1431. <https://doi.org/10.3390/foods11101401>
3. Tarakanov B.V., Nikolicheva T.A., Manukhina A.I. Microflora of intestines, immune status and productivity of broiler-chicken after addition to their ration of microcycol probiotic. *Agricultural Biology*. 2007;42:87-94. (In Russ.)
4. Abd El-Ghany W.A., Abdel-Latif M.A., Hosny F., Alatfeehy N.M. et al. Comparative efficacy of postbiotic, probiotic, and antibiotic against necrotic enteritis in broiler chickens. *Poult. Sci.* 2022;101(8):101988. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101988>
5. Duskaev G.K., Rakhmatullin Sh.G., Kosyan D.B., Rusakova E.A. et al. The effect of the combined use of gammaoctalactone and chlortetracycline in the broiler diet: live weight, feed efficiency and the microbiome of the caecum. *Agrarian science*. 2022;9:47-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-47-53>
6. Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S., Valiullin L.R., Baryshev M.G. et al. Optimization of co-cultivation parameters of *Bacillus subtilis* GA27 and *Bacillus subtilis* RF-45 for possibility of creating probiotics, metaprobiotics, and metabiotics for poultry farming. *Veterinaria Kubani*. 2023;3:32-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2023-3-32-38>
7. Tyurina D.G., Laptev G.Yu., Yildirim E.A., Ilina L.A. et al. The impact of virginiamycin and probiotics on intestinal microbiome and growth performance traits

- of chicken (*Gallus gallus* L.) broilers. *Agricultural Biology*. 2020;55:1220-1232. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.6.1220rus>
8. Hadieva G., Lutfullin M., Pudova D., Akosah Y. et al. Supplementation of *Bacillus subtilis* GM5 enhances broiler body weight gain and modulates cecal microbiota. *3 Biotech*. 2021;11:126-139. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02634-2>
 9. Luise D., Bosi P., Raff L., Amatucci L. et al. *Bacillus spp.* probiotic strains as a potential tool for limiting the use of antibiotics, and improving the growth and health of pigs and chickens. *Front. Microbiol.* 2022;13:801827. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.801827>
 10. Grozina A.A. Gut microbiota of broiler chickens influenced by probiotics and antibiotics as revealed by T-RFLP and RT-PCR. *Agricultural Biology*. 2014;49:46-58. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2014.6.46rus>
 11. Khadieva G.F., Lutfullin M.T., Nikolaeva A.A., Mochalova N.K. et al. The effect of *Bacillus subtilis* GM2 and GM5 probiotics on the growth and fodder digestibility of broiler chickens. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*. 2019;161:472-489. (In Russ.) <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.472-489>
 12. Mancuso G., Midiri A., Gerace E., Biondo C. Bacterial antibiotic resistance: the most critical pathogens. *Pathogens*. 2021;10:1310-1324. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101310>
 13. Sazykin I.S., Khmelevtsova L.E., Seliverstova E.Y., Sazykina M.A. Effect of antibiotics used in animal husbandry on the distribution of bacterial drug resistance (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021;57:24-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0555109921010335>
 14. Yildyrym E.A., Ilyina L.A., Tiurina D.G., Dubrovin A.V. et al. How can we eliminate antibiotics in poultry production? *Pticevodstvo*. 2020;9:41-46 (In Russ.) <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-9-41-46>
 15. Huang P., Zhang Y., Xiao K., Fan J. et al. The chicken gut metagenome and the modulatory effects of plant-derived benzylisoquinoline alkaloids. *Microbiome*. 2018;6(1):211-228. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0590-5>
 16. Fisinin V.I., Andrianova E.N., Chebotarev I.I., Laptev G.Yu. et al. Dietary probiotic *Lactobacillus plantarum* L-211 for farm animals. I. The additive for broiler chicks (*Gallus gallus* L.). *Agricultural Biology*. 2017;52:382-390. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.2.382>
 17. Yang C., Wang S., Li Q., Zhang R. et al. Effects of probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* HJLP-1 on growth performance, selected antioxidant capacity, immune function indices in the serum, and cecal microbiota in broiler chicken. *Animals*. 2024;14:668-681. <https://doi.org/10.3390/ani14050668>
 18. Ji L., Zhang L., Liu H., Shen J. et al. *Bacillus subtilis* M6 improves intestinal barrier, antioxidant capacity and gut microbial composition in AA broiler. *Front. Nutr.* 2022;9:965310. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.965310>
 19. Khadieva G.F., Lutfullin M.T., Mochalova N.K., Sharipova M.R. et al. New *Bacillus subtilis* strains as promising probiotics. *Microbiology*. 2018;87:463-471. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0026261718040112>
 20. Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S., Valiullin L.R., Baryshev M.G. et al. Lactic acid and sporing bacteria: formation of consortiums as the basis of functional supplements with probiotic properties for poultry farming. *Veterinaria Kubani*. 2023;2:30-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2023-2-30-36>
 21. Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S., Gumerov V.G., Rud S.V. et al. Antagonistic potential of lactic acid bacteria against pathogens of intestinal infections in young poultry. *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Agropromyshlenniy kompleks: problemy i perspektivy razvitiya'*. Aptil 20-21, 2022.

Blagoveshchensk, Russia: Far Eastern State Agrarian University, 2022;3:138-144. (In Russ.) https://doi.org/10.22450/9785964205494_3_20

22. Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S., Mukhammadieva A.S. Antagonistic activity of new strains of microorganisms against intestinal infection pathogens of young farm poultry. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya studentov, aspirantov i uchashcheyasya molodezhi 'Molodezhnye razrabotki i innovacii v reshenii prioritnykh zadach APK'. March 31, 2022.* Kazan, Russia: Izdatelstvo: FGBOU VO Kazanskaya GAVM, 2022;1:348-350. (In Russ.)

23. Koryagina A.O., Bulmakova D.S., Suleimanova A.D., Rudakova N.L. et al. Bacterial enzymes as potential feed additives in poultry farming. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki.* 2019;161:459-471. (In Russ.) <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.459-471>

24. Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S., Valiullin L.R., Baryshev M.G. et al. A new approach using probiotics, metabiotics and bacterial enzymes for correction of gut microbiota disturbances of young poultry caused by pathogenic factors. *Veterinaria Kubani.* 2024;1:14-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2024-1-14-20>

25. Fisinin V.I., Il'ina L.A., Ilydyrym E.A., Nikonov I.N. et al. Broiler chicken cecal microbiocenoses depending on mixed fodder. *Microbiology.* 2016;85:493-499 (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0026261716040056>

26. Mohamed T.M., Sun W., Bumbie G.Z., Elokil A.A. et al. Feeding *Bacillus subtilis* ATCC19659 to broiler chickens enhances growth performance and immune function by modulating intestinal morphology and cecum microbiota. *Front. Microbiol.* 2022;12:798350. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.798350>

27. Yin Y., Liao Y., Li J., Pei Z. et al. *Lactobacillus plantarum* GX17 benefits growth performance and improves functions of intestinal barrier/intestinal flora among yellow-feathered broilers. *Front. Immunol.* 2023;14:1195382. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1195382>

28. Mukhammadiev Rish.S., Valiullin L.R., Mukhammadiev Rin.S., Mukhammadieva A.S. et al. Optimization of nutrient medium composition of probiotic strain *B. subtilis* GA24 – producer of forage enzymes. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny im. N.E. Bauman.* 2022;250:155-159. (In Russ.) https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_2_250_155

29. Salaheen S., Kim S.W., Haley B.J., Van Kessel J.A.S. et al. Alternative growth promoters modulate broiler gut microbiome and enhance body weight gain. *Front. Microbiol.* 2017;8:2088. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02088>

30. Shabat S.K.B., Sasson G., Doron-Faigenboim A., Durman T. et al. Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants. *ISME J.* 2016;10:2958-2972. <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.62>

Сведения об авторах

Ришат Салаватович Мухаммадиев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной и экспериментальной микробиологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; 143050, Российская Федерация, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5; лаборатория кормов и кормовых добавок, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»; 420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок-2; e-mail: tashir9891@mail.ru; ORCID0000-0002-7812-9168

Ринат Салаватович Мухаммадиев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной и экспериментальной микробиологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; 143050, Российская Федерация, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5; лаборатория кормов и кормовых добавок, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»; 420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок-2; e-mail: tanirtashir@mail.ru; ORCID0000-0002-2524-9609

Ленар Рашитович Валиуллин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной и экспериментальной микробиологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; 143050, Российская Федерация, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5; заведующий лабораторией кормов и кормовых добавок, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»; 420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок-2; e-mail: valiullin27@mail.ru; ORCID0000-0002-8277-3941

Михаил Геннадьевич Барышев, доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, директор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; 143050, Российская Федерация, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5; e-mail: vniif@vniif.ru; тел.: (495) 597-42-28; ORCID0000-0002-2130-3516

Вали Галиевич Гумеров, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вирусных заболеваний животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»; 420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок-2; e-mail: gumerowali@mail.ru; ORCID0000-0001-5878-4299

Алина Сергеевна Мухаммадиева, младший научный сотрудник лаборатории питательных сред и культур клеток, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»; 420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок-2; e-mail: alinasakura_mail.ru@mail.ru; ORCID0009-0000-4731-5489

Андрей Иванович Самсонов, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией питательных сред и культур клеток, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»; 420075, Российская Федерация, г. Казань, ул. Научный городок-2; e-mail: andreykaz82@yandex.ru; ORCID0000-0002-8909-7042

Булат Анварович Садыков, главный технолог, ООО «Птицеводческий комплекс «Ак Барс»; 422780, Российская Федерация, Республика Татарстан, Пестречинский р-н, с. Ленино-Кокушкино; e-mail: bulat8685@gmail.com

Information about the authors

Rishat S. Mukhammadiev, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Applied and Experimental Microbiology, All-Russian Research Institute of Phytopathology; 5 Institute st., Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russian Federation; Laboratory of Feeds and Feed Additives, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety; Nauchniy

gorodok-2 st., Kazan, 420075, Russian Federation; e-mail: tashir9891@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7812-9168>

Rinat S. Muhammadiev, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Applied and Experimental Microbiology, All-Russian Research Institute of Phytopathology; 5 Institute st., Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russian Federation; Laboratory of Feeds and Feed Additives, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety; Nauchny gorodok-2 st., Kazan, 420075, Russian Federation; e-mail: tanirtashir@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2524-9609>

Lenar R. Valiullin, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Applied and Experimental Microbiology, All-Russian Research Institute of Phytopathology; 5 Institute st., Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russian Federation; Laboratory of Feeds and Feed Additives, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety; Nauchny gorodok-2 st., Kazan, 420075, Russian Federation; e-mail: valiullin27@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8277-3941>

Mikhail G. Baryshev, DSc (Bio), Professor, Director, Professor of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology; 5 Institute st., Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow Region, 143050, Russian Federation; e-mail: vniif@vniif.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2130-3516>

Vali G. Gumerov, DSc (Vet), Leading Research Associate at the Laboratory of Viral Animal Diseases, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety; Nauchny gorodok-2 st., Kazan, 420075, Russian Federation; e-mail: gumerowali@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5878-4299>

Alina S. Mukhammadieva, Junior Research Associate at the Laboratory of Nutrient Media and Cell Cultures, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety; Nauchny gorodok-2 st., Kazan, 420075, Russian Federation; e-mail: alinasakura_mail.ru@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-4731-5489>

Andrey I. Samsonov, CSc (Bio), Leading Research Associate, Head of the Laboratory of Nutrient Media and Cell Cultures, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety; Nauchny gorodok-2 st., Kazan, 420075, Russian Federation; e-mail: andreykaz82@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8909-7042>

Bulat A. Sadykov, Chief Technologist, Poultry Farming Complex “Ak Bars”; Lenino-Kokushkino vil., Pestrechinskiy district, Republic of Tatarstan, 422780, Russian Federation; e-mail: bulat8685@gmail.com

ЭКОНОМИКА

**О проблемах формирования технического и технологического суверенитета
в сельском хозяйстве Российской Федерации**

Григорий Александрович Иовлев, Ирина Игоревна Голдина✉

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** ir.goldina@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена проблемам и направлениям формирования технологического суверенитета и его основы – технического суверенитета. В основе исследований лежат задачи, поставленные первыми лицами государства, обеспечения технологического суверенитета в сельском хозяйстве России, работы отечественных ученых, рассматривающих данные вопросы. Рассмотрены основные причины, сдерживающие и оказывающие негативное влияние на формирование технологического (технического) суверенитета в сельском хозяйстве. В рамках анализа этих причин рассмотрена структура инвестиций на приобретение сельскохозяйственной техники за последние несколько лет в сельском хозяйстве одного из регионов Уральского ФО, проведен корреляционный анализ по оценке взаимосвязей показателей, характеризующих низкую долю участия кредитных ресурсов в вопросах формирования технического потенциала отрасли. В результате математических расчетов, корреляционного анализа определена оптимальная процентная ставка ЦБ, чтобы банковская система могла стать драйвером технологического развития. Авторы отмечают коренное отличие структуры инвестиций в малых формах хозяйствования и в сельскохозяйственных организациях. В исследованиях определены роль и возможности государства в развитии отечественного АПК, в том числе отрасли сельскохозяйственного машиностроения и отрасли сельского хозяйства. Используя методику определения нормативов потребности в основных видах сельскохозяйственной техники, авторы смоделировали динамику формирования парка сельскохозяйственной техники для обеспечения технического суверенитета в сельском хозяйстве России. Сделан вывод о том, что для достижения технического (технологического) суверенитета необходимо увеличивать производство основных видов сельскохозяйственной техники и создавать условия для приобретения ее сельхозтоваропроизводителями.

Ключевые слова

Стабильность, территория, независимость, самостоятельность, устойчивая экономика, экономическая деятельность, конкурентоспособность, импортозамещение, технологическая политика

Для цитирования

Иовлев Г.А., Голдина И.И. О проблемах формирования технического и технологического суверенитета в сельском хозяйстве Российской Федерации // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 201–215.

On the problems of the formation of technical and technological sovereignty in agriculture of the Russian Federation

Grigory A. Iovlev, Irina I. Goldina✉

Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉Corresponding author: ir.goldina@mail.ru

Abstract

The article is devoted to problems and tendencies of formation of technological sovereignty and its basis. The research is based on the tasks set by the top officials of the state in the issues of ensuring technological sovereignty in Russian agriculture, the works of domestic scientists considering these issues. The main reasons limiting and negatively influencing the formation of technological (technical) sovereignty in agriculture are considered. Within the framework of the analysis of these reasons, the structure of investments in the purchase of agricultural machinery in recent years in the farms of one of the regions of the Urals Federal District is considered, the correlation analysis is carried out to assess the relationship of indicators characterizing the low share of participation of credit resources in the technological capacity building of the industry. As a result of mathematical calculations and correlation analysis, the optimal interest rate of the Central Bank is determined so that the banking system can become a driver of technological development. The authors emphasize the fundamental difference between the structure of investments in small farms and in agricultural enterprises. The study defines the role and capabilities of the state in the development of the domestic agro-industrial sector, including the agricultural machinery industry and the agricultural sector. Using the methodology for determining the normative requirements for the main types of agricultural machinery, the authors modeled the dynamics of the formation of the agricultural machinery fleet to ensure technical sovereignty in Russian agriculture. It is concluded that in order to achieve technical (technological) sovereignty it is necessary to increase the production of the main types of agricultural machinery and to create conditions for their purchase by agricultural producers.

Keywords

Stability, territory, independence, self-sufficiency, sustainable economy, economic activity, competitiveness, import substitution, technological policy

For citation

Iovlev G.A., Goldina I.I. On the problems of the formation of technical and technological sovereignty in agriculture of the Russian Federation. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 201–215.

Введение Introduction

Общее понятие суверенитета связано со стабильностью государства на собственной территории и независимостью на международной арене. Одними из составляющих государственного суверенитета являются экономическая самостоятельность и развитие устойчивой экономики. Поэтому одной из главных задач государства, в том числе России, является правильный выбор пути экономического и социального развития. При правильном выборе пути государство обязано обеспечить

одинаковые условия экономической деятельности для всех товаропроизводителей, тем самым предопределив рост производства, что в свою очередь скажется на жизненном уровне населения. Развитие системы мер государственной поддержки также является важной стороной организации производства, распределения, перераспределения ресурсов, обеспечения продовольственной безопасности государства¹.

Для решения вопросов продовольственной безопасности, повышения конкурентоспособности экономики необходимо развивать технологический суверенитет, и как его составляющую, основу технологического суверенитета, – технический суверенитет. Многие исследователи рассматривают технологический суверенитет как реакцию на международные санкции, выраженную в разработке программ импортозамещения. Но технологическим суверенитетом государства должны обладать независимо от международной обстановки, независимо от санкций. Реализация технологического суверенитета должна и может осуществляться без изоляции от других стран [1], то есть технологии могут разрабатываться самостоятельно или во взаимодействии с дружественными, заинтересованными государствами [2].

На наш взгляд, наиболее правильным, отвечающим современным реалиям, является определение, предложенное Т.В. Горячевой и О.А. Мызровой [3]: технологический суверенитет – это «...достигнутый уровень реальной независимости страны в областях науки, техники и технологий...», где расставлены приоритеты в достижении технологического суверенитета. Авторы в данном исследовании также определили круг задач, которые он (суверенитет) должен решить в результате его достижения.

Вопросам становления, развития технологического суверенитета уделяется внимание на государственном уровне. Президент Российской Федерации: «... Нам нужно повышать уровень технологического суверенитета в АПК, а значит, наращивать свои возможности в селекции, генетике, семеноводстве, стимулировать переход на современные отечественные оборудование и технику, создавать условия для дальнейшего притока инвестиций». Государственная дума: «Для четкого понимания уровня технологического суверенитета страны в АПК, его сравнения с уровнем ведущих зарубежных государств, понимания направлений дальнейшего развития необходимо актуализировать, систематизировать, а также системно и планомерно развивать и поддерживать список критически значимых технологий».

Правительством представлен Федеральный закон «О технологической политике в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», где в первую очередь даны определения основных понятий, разъясняющих и фиксирующих суть терминов, положенных в обоснование и становление технологического суверенитета – таких, как критическая технология, проекты развития технологий, сквозная технология, технологические инновации, технологическая политика в Российской Федерации по обеспечению технологического суверенитета Российской Федерации, технологический суверенитет Российской Федерации, технология и др. В данном Федеральном законе определены цели и задачи технологической политики, инструменты реализации технологической

¹ Государственный Суверенитет. URL: https://spravochnick.ru/pravo_i_yurisprudenciya/formy_gosudarstva_i_vlasti/gosudarstvennyy_suverenitet (дата обращения: 29.05.2024); Митрофанов А.В. Единство экономического пространства: подходы к трактовке и содержание понятия // Вестник Пензенского государственного университета. 2013. № 2.

политики, представлены общие положения о национальных проектах технологического суверенитета.

Постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2023 г. № 603 утверждены приоритетные направления проектов технологического суверенитета Российской Федерации. В данном документе для решения вопросов технологического суверенитета, в отрасли «Сельскохозяйственное машиностроение», предусмотрены проекты по производству кормоуборочных комбайнов, в том числе: беспилотных; зерноуборочных комбайнов (9–10 классов производительности), в том числе беспилотных; сельскохозяйственных тракторов; машин и оборудования для обработки почвы. Кроме того, к приоритетным направлениям проектов отнесено производство комплектующих для определенных видов сельскохозяйственной техники.

По поручению Президента РФ готовится новый нацпроект – «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности», который поможет обеспечить аграриев сельхозтехникой и в который входят 8 федеральных проектов².

Из публикаций ученых отметим работу В.И. Нечаева и др. [4], где авторы считают, что «...невозможно изолировать от глобального мира крупнейшую страну, занимающую значимое положение на мировом рынке». Авторы также говорят о недопущении технологической деградации, снижении инвестиционной активности, падении платежеспособного спроса на рынке на производимую продукцию, отмечая, что «...внедрение цифровых технологий в аграрном секторе на современном этапе находится на уровне, который не может обеспечивать технологический суверенитет», и в связи с этим для развития прикладных исследований и технологических разработок возникает необходимость пересмотра программ подготовки агроинженеров в направлении соответствующих цифровых компетенций.

Весьма важное значение в ключе задач, поставленных Президентом РФ (создавать условия для дальнейшего притока инвестиций), имеет исследование Ж.А. Ермакова [5], где автор отмечает, что на уровень технологического развития значительное влияние оказывает финансовое обеспечение, которое определяет «скорость, охват и эффективность процессов модернизации». Автор отмечает, что «Структура источников долгосрочного финансирования также не соответствует потребностям технологического развития экономических субъектов: они вынуждены использовать собственные средства», и делает вывод о том, что «...банковская система не стала драйвером технологического и, шире, экономического развития».

Цель исследований: провести анализ причин, оказывающих негативное влияние на формирование технологического (технического) суверенитета в сельском хозяйстве Российской Федерации.

Методика исследований **Research methodology**

Материалом для исследований послужили статистические данные о производстве, о приобретении сельскохозяйственной техники в сельском хозяйстве России, статистические данные по структуре инвестиций в приобретение сельскохозяйственной техники в сельском хозяйстве Свердловской области. Для расчетов по обеспечению технического суверенитета в сельском хозяйстве России использована методика

² В Госдуме обозначили реальные шаги для обеспечения технологического суверенитета в АПК. URL: <https://life.ru/p/1508696> (дата обращения: 11.06.2024).

использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности.

Для реализации темы исследований использованы следующие методы: анализ, синтез, наблюдение, сравнение, расчетный метод.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В рамках исследований представлен анализ структуры инвестиций на приобретение сельскохозяйственной техники за последние несколько лет в сельском хозяйстве Свердловской области. Структура и динамика изменения показателей в целом по всем формам хозяйствования в сельском хозяйстве СО представлены на рисунке 1.

Из представленной информации следует, что основную долю в инвестициях занимают собственные источники, кредитные источники не являются доминирующим. Кроме того, за последние 9 лет наметилась отрицательная линия тренда (более точное отображение представлено экспоненциальной кривой). С 2018 г. значительное место в инвестициях занимает «лизинговая» составляющая. Проанализировав причины низкой составляющей (доли) кредитных ресурсов в объеме инвестиций в сельское хозяйство Свердловской области, приходим к выводу о том, что это процентная ставка Центробанка и прибыль сельхозтоваропроизводителей. Кроме того, на формирование технологического суверенитета (в том числе технического) будут оказывать влияние стоимость сельскохозяйственной техники и уровень государственной поддержки предприятий сельхозмашиностроения и сельхозтоваропроизводителей.

Рассмотрим взаимосвязь процентной ставки [6], прибыли сельхозтоваропроизводителей [7] и доли кредитных средств в общих объемах инвестиций на приобретение сельскохозяйственной техники (табл. 1).

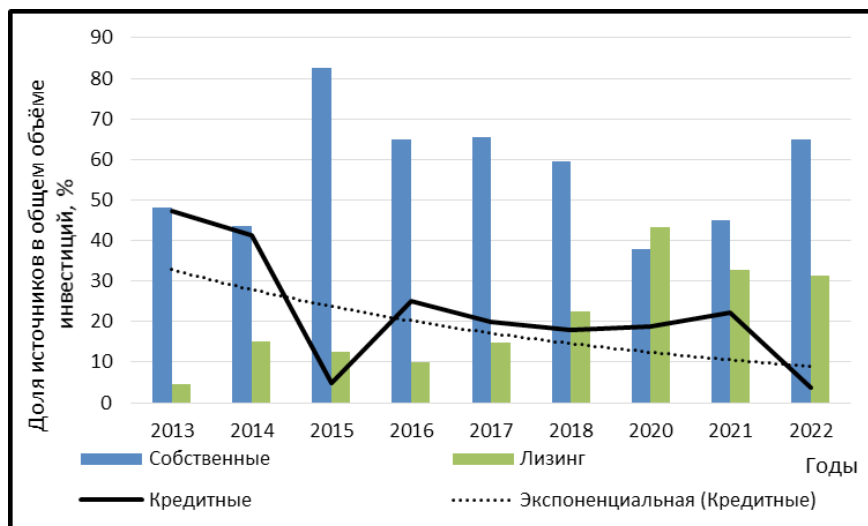


Рис. 1. Структура инвестиций в приобретение сельскохозяйственной техники в сельском хозяйстве Свердловской области

Figure 1. Structure of investments in the purchase of agricultural machinery in agriculture of the Sverdlovsk Region, Russia

Таблица 1

**Процентная ставка ЦБ, доля кредитных ресурсов в объеме инвестиций,
прибыль сельхозтоваропроизводителей (СХТП)**

Table 1

**Interest rate of the Central Bank, share of credit resources in the volume
of investments, profit of agricultural commodity producers (ACP)**

Показатели	Годы								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	2021	2022
Процентная ставка ЦБ, %	5,5	8,8	12,8	10,5	8,94	7,46	5,05	5,84	12,6
Доля кредитных ресурсов, %	47,4	41,3	4,88	25,1	19,8	17,9	18,8	22,2	3,68
Прибыль СХТП, млн руб.	н/д	н/д	5344,2	4605,0	3847,4	4813,0	4769,1	5894,3	7305,7

При проведении анализа было допущено предположение того, что уровень (величина) процентной ставки ЦБ будет оказывать прямое влияние на долю кредитных ресурсов в общем объеме инвестиций, то есть чем меньше ставка, тем больше доля кредитных ресурсов, и наоборот. Относительно некоторых лет это предположение является верным: в 2013 г. (нет данных по прибыли СХТП) при среднегодовой процентной ставке 5,5% доля кредитных ресурсов составила 47,4%; в 2020–2021 гг. при процентной ставке 5,05% и 5,84% доля кредитных ресурсов составила 18,8 и 22,2% соответственно; в 2015 и 2022 гг. при процентной ставке 12,8% и 12,6% доля кредитных ресурсов составила 4,88 и 3,68% соответственно. Но показатели 2014 г., 2016–2018 гг. не вписываются в данную зависимость.

В 2014 г. при довольно высокой ставке доля кредитных ресурсов составила 41,3%, и напрашивается вывод о том, что в 2014 г. прибыль для обновления технического потенциала у сельхозтоваропроизводителей была недостаточной. За период с 2016 по 2018 гг. при снижении процентной ставки с 10,5% до 7,46% доля кредитных ресурсов снизилась с 25,1% до 17,9%. Это объясняется тем, что сельхозтоваропроизводители получили более значительную прибыль в 2018 г. (больше, чем в 2016 г., на 4,5% и больше, чем в 2017 г., на 25,1%). Это позволило восполнить технический потенциал за счет собственных средств.

Для научного обоснования объема и структуры инвестиций, определения взаимосвязей различных составляющих, их взаимовлияния выполним корреляционный анализ по оценке взаимосвязей следующих показателей:

- для кредитных ресурсов: между процентной ставкой и долей кредитных ресурсов в общем объеме инвестиций; между долей кредитных ресурсов и долей собственных средств в общем объеме инвестиций;

- для собственных средств: между прибылью и долей собственных средств в общем объеме инвестиций; между долей собственных средств и долей кредитных ресурсов в общем объеме инвестиций.

В результате корреляционного анализа [8] установлено следующее.

1. При определении зависимостей и связей для обоснования величины кредитных ресурсов в общих объемах инвестиций:

- при оценке связей между процентной ставкой «х» и долей кредитных ресурсов «у» коэффициент корреляции $r = -0,587$, связь между исследуемыми признаками – обратная, сила связи – заметная. Уравнение парной линейной регрессии: $y = 47,39956 - 2,91052 x$;

- при оценке связей между долей кредитных ресурсов «х» и долей собственных средств «у» коэффициент корреляции $r = -0,612$, связь между исследуемыми признаками – обратная, сила связи – заметная. Уравнение парной линейной регрессии: $y = 70,29012 - 0,59938 x$.

2. При определении зависимостей и связей для обоснования величины собственных средств в общих объемах инвестиций:

- при оценке связей между прибылью «х» и долей собственных средств «у» коэффициент корреляции $r = 0,300$, связь между исследуемыми признаками – прямая, сила связи – слабая. Уравнение парной линейной регрессии: $y = 40,91583 + 0,00333x$;

- при оценке связей между долей собственных средств «х» и долей кредитных ресурсов «у» коэффициент корреляции $r = -0,610$, связь между исследуемыми признаками – обратная, сила связи – заметная. Уравнение парной линейной регрессии: $y = 57,97269 - 0,62565 x$.

При формировании инвестиционного пакета необходимо учитывать: связь между процентной ставкой «х» и долей кредитных ресурсов «у»; связь между долей кредитных ресурсов «х» и долей собственных средств «у»; связь между долей собственных средств «х» и долей кредитных ресурсов «у». Связь между прибылью «х» и долей собственных средств «у» учитывать не нужно, так как коэффициент корреляции $r = 0.300$, сила связи – слабая. Для примера: при средней процентной ставке ЦБ в 2023 г. [9] 11,1% доля кредитных ресурсов в общем объеме инвестиций должна быть равной:

$$y = 47,39956 - (2,91052 \times 11,1) = 15,1\%.$$

При средней доле собственных средств за последние 10 лет 56,9% доля кредитных средств должна составлять:

$$y = 57,97269 - (0,62565 \times 56,9) = 22,4\%.$$

Через эти две зависимости можно определить оптимальное значение процентной ставки ЦБ: $22,4 = 47,39956 - 2,91052 z$, где z – искомая процентная ставка ЦБ, $z = 8,59\%$, то есть для инвестиционной активности банковской системы, увеличения притока инвестиций в сельскохозяйственное производство необходимо поддерживать процентную ставку ЦБ на уровне 8,59%. Чтобы при объективной невозможности держать процентную ставку на данном уровне, через государственные программы должна быть предусмотрена возможность выделения дотаций сельхозтоваропроизводителям для компенсации повышенных расходов при обслуживании кредитов.

Необходимо отметить, что структура инвестиций на приобретение сельскохозяйственной техники в разных формах хозяйствования значительно различается. Структура и динамика изменения показателей по малым формам хозяйствования представлены на рисунке 2.

Структура и динамика изменения показателей по сельскохозяйственным организациям представлены на рисунке 3.

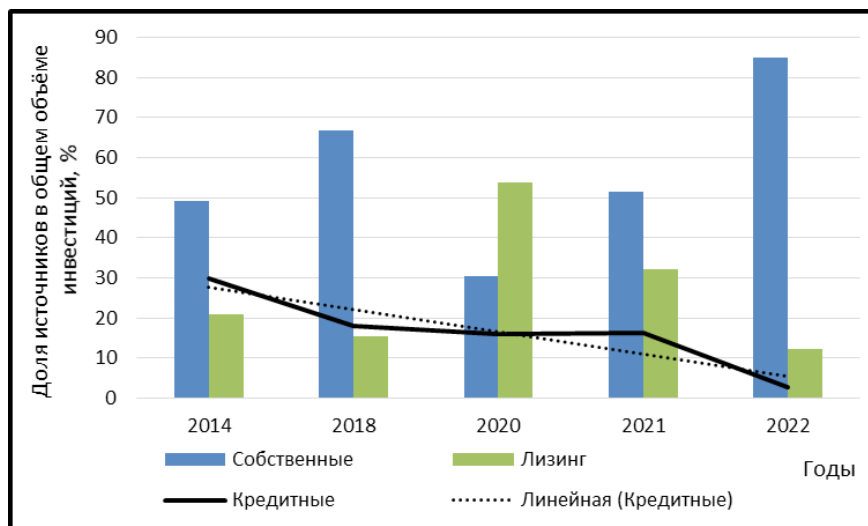


Рис. 2. Структура инвестиций в приобретение сельскохозяйственной техники в малых формах хозяйствования Свердловской области

Figure 2. Structure of investments in the purchase of agricultural machinery in small farms of the Sverdlovsk Region, Russia

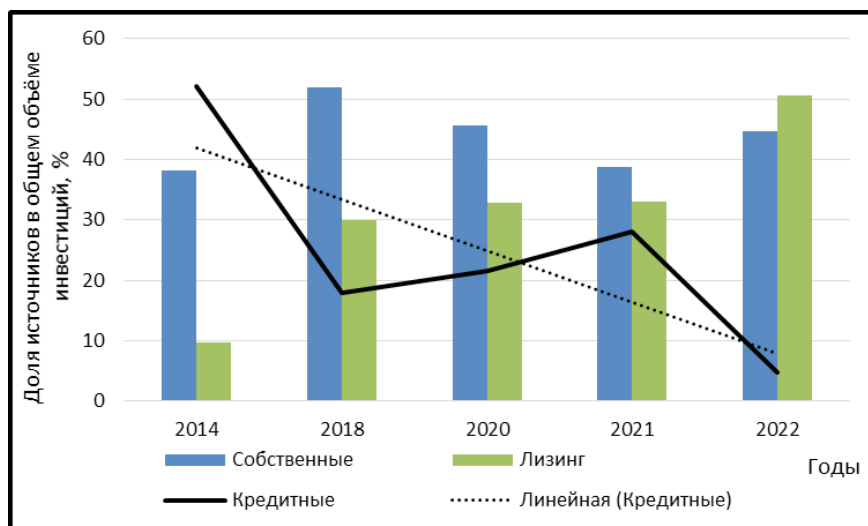


Рис. 3. Структура инвестиций в приобретение сельскохозяйственной техники в сельскохозяйственных организациях Свердловской области

Figure 3. Structure of investments in the purchase of agricultural machinery in agricultural enterprises of the Sverdlovsk Region, Russia

Особенностями инвестирования малых форм хозяйствования является то, что наблюдается значительное увеличение доли собственных средств при снижении доли кредитных ресурсов и значительном снижении использования «лизинговых» схем.

Особенности инвестирования сельскохозяйственных организаций заключаются в том, что на фоне значительного снижения использования кредитных ресурсов при незначительном снижении доли собственных средств в последние годы происходит увеличение использования лизинговых схем.

Для формирования технологического суверенитета, кроме достаточного объема инвестиций, важным является также качественный состав технического потенциала. В ранее проведенных исследованиях выявлено, что в сельском хозяйстве СО используется 45–51% тракторов со сроком эксплуатации более 10 лет при коэффициентах обновления 2,4–3,3%, выбытия – 3,7–4,9% [10]. Со сроком эксплуатации более 10 лет используется 49,4% зерноуборочных комбайнов, коэффициент обновления составляет 3–4,7% при отсутствии списания комбайнов. Поэтому для становления технологического суверенитета в сельском хозяйстве России важное значение имеют объемы производства сельскохозяйственной техники, рынок, условия для создания оптимальной обеспеченности СХТ сельхозтоваропроизводителей.

Объемы производства основных видов сельскохозяйственной техники в России за последние 3 года представлены в таблице 2.

Объемы приобретения представлены в таблице 3.

Из данных таблиц 2 и 3 следует, что объемы приобретаемой сельскохозяйственной техники – такой, как зерноуборочные комбайны, плуги, сеялки (машины для посева), пресс-подборщики, закрывались за счет собственного производства. В то же время такие позиции, как тракторы сельскохозяйственные, кормоуборочные комбайны, культиваторы, тракторные косилки, за счет собственного производства закрывались на 80–96,6%.

Необходимо отметить, что возможности рынка использованы: по тракторам – на 21,3%; по зерноуборочным комбайнам – на 61%; по кормоуборочным комбайнам – на 96%. Наличие, приобретение сельскохозяйственной техники в сельском хозяйстве России не соответствуют нормативам потребности [13], обеспеченности основными видами СХТ.

Таблица 2

Объемы производства сельскохозяйственной техники
(расчеты авторов [11, 12])

Table 2

Volumes of agricultural machinery production
[authors' calculations based on data from 11, 12]

Наименование, количество СХТ, тыс. шт.	Год		
	2021	2022	2023
Тракторы сельскохозяйственные	6,26	6,2	5,72
Комбайны зерноуборочные	6,26	4,74	6,9
Комбайны кормоуборочные	0,33	0,29	0,43
Плуги	3,91	4,12	3,34
Культиваторы	3,22	2,8	2,44
Сеялки	6,63	6,2	5,16
Косилки	2,47	2,4	2,28
Пресс-подборщики	2,11	1,7	1,66
Зерноочистительные машины	1,93	1,8	1,49

Таблица 3

Объемы приобретения сельскохозяйственной техники, тыс. шт.

Table 3

Volumes of agricultural machinery purchase, thous. pcs.

Наименование	Годы		
	2021	2022	2023
Тракторы сельскохозяйственные	8,67	8,18	7,12
Комбайны зерноуборочные	3,76	2,93	3,16
Комбайны кормоуборочные	0,58	0,52	0,48
Плуги	2,88	2,64	2,27
Культиваторы	3,53	3,56	2,67
Сеялки	3,71	3,36	2,65
Косилки	н/д	2,21	2,36
Пресс-подборщики	н/д	0,87	0,91

Для достижения технического суверенитета необходимо: в-первых, обеспечить возможность приобретения сельхозтоваропроизводителями необходимого для эффективного ведения производства количества сельскохозяйственной техники; во-вторых, обеспечить собственное производство отвечающих современным требованиям качества, надежности, производительности сельскохозяйственных машин; в-третьих, обеспечить через государственную поддержку предприятий сельхозмашиностроения, сельхозтоваропроизводителей приемлемую стоимость отпускаемой продукции.

В последние 3–4 года информация по производству, по отгрузкам СХТ на российский рынок дается в денежном выражении, как правило, с ежегодным увеличением, при ежегодном снижении производства в физическом исчислении. Для примера приведем объемы приобретения техники и стоимость одной единицы приобретаемой техники в сельскохозяйственном производстве Свердловской области (рис. 4).

В соответствии с Нормативами потребности в сельскохозяйственной технике, рекомендуемыми коэффициентами обновления и выбытия (ликвидации) предлагаем следующий алгоритм обеспечения (становления) технического суверенитета в сельском хозяйстве России на ближайшие 20 лет на примере тракторов сельскохозяйственного назначения (табл. 4).

Исходные данные по состоянию на 01.01.2023 г.:

- площадь пашни – 81203 тыс. га;
- площадь зерновых и зернобобовых – 48035 тыс. га;
- площадь кормовых культур под комбайновую уборку – 13029 тыс. га;
- норматив потребности в гусеничных и колесных тракторах – 10,18 эт. тр./1000 га пашни;
- норматив потребности в зерноуборочных комбайнах – 7,82 эт. ед./1000 га посевов зерновых и зернобобовых культур;
- норматив потребности в кормоуборочных комбайнах – 3,07 эт. ед./1000 га кормовых культур под комбайновую уборку.

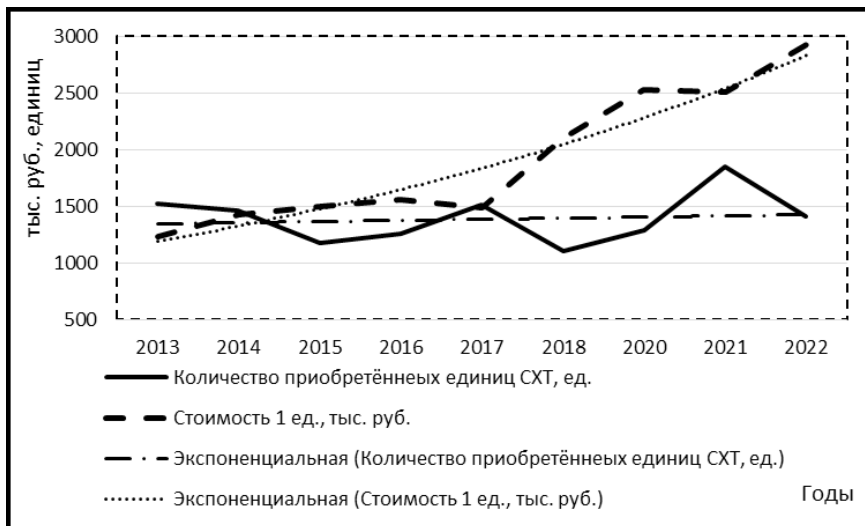


Рис. 4. Динамика изменения объемов приобретения и стоимости единицы сельскохозяйственной техники

Figure 4. Dynamics of changes in volumes of purchase and cost of an item of agricultural machinery

Таблица 4

Предполагаемая динамика формирования парка сельскохозяйственных тракторов для обеспечения технического суверенитета в сельском хозяйстве России

Table 4

Expected dynamics of formation of the fleet of agricultural tractors to ensure technical sovereignty in Russian agriculture

Показатели	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Наличие тракторов, тыс. ед.	425,2	426,9	430,3	436,0	443,6	454,0	467,4	484,2	505,0	530,7
Коэффициент обновления	4,2	4,6	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,0	9,9
Приобретение, тыс. ед.	17,9	19,6	22,0	24,4	27,5	30,9	35,0	39,7	45,4	52,5
Коэффициент выбытия	3,8	3,8	3,8	3,85	3,85	3,85	3,9	3,9	3,9	3,95
Списание, тыс. ед.	16,2	16,2	16,3	16,8	17,1	17,5	18,2	18,9	19,7	21,0
Показатели	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
Наличие тракторов, тыс. ед.	562,2	601,3	649,8	701,8	757,9	817,6	882,6	952,8	1028,5	1097
Коэффициент обновления	10,9	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Приобретение, тыс. ед.	61,3	72,2	78,0	84,2	90,0	98,1	105,9	114,3	123,4	131,6
Коэффициент выбытия	3,95	3,95	4,0	4,0	4,0	4,05	4,05	4,05	5,3	5,8
Списание, тыс. ед.	22,2	23,7	26,0	28,1	30,3	33,1	35,7	38,6	54,9	63,6

Из сложившейся оптимальной структуры парка тракторов на 1000 га пашни необходимо иметь 13,51 физ. ед. трактора. На весь объем пашни необходимо иметь 1097 тыс. шт. тракторов в физическом исчислении. По состоянию на 31.12.2023 г. в сельскохозяйственном производстве имелось 425,2 тыс. шт. физ. ед.

Проанализировав таблицу 4, видим, что к 2044 г. имеется возможность обеспечить технический суверенитет при обеспечении среднего коэффициента обновления $k_{об} = 9,3\%$, коэффициента выбытия $k_{выб} = 4,1\%$.

Из сложившейся оптимальной структуры парка зерноуборочных комбайнов на 1000 га посевов зерновых и зернобобовых культур необходимо иметь 9,23 физических з/у комбайна. На весь объем необходимо иметь 443,4 тыс. шт. з/у комбайнов в физическом исчислении. По состоянию на 31.12.2023 г. в сельскохозяйственном производстве имелось 122 тыс. физ. ед. Предполагаемая динамика формирования парка зерноуборочных комбайнов представлена на рисунке 5. Технический суверенитет можно обеспечить при среднем коэффициенте обновления $k_{об} = 10,2\%$, коэффициенте выбытия $k_{выб} = 2,94\%$.

На 1000 га кормовых культур необходимо иметь 2,97 физ. кормоуборочного комбайна. На весь объем необходимо иметь 25,59 тыс. к/у комбайнов в физическом исчислении. По состоянию на 31.12.2023 г. в сельскохозяйственном производстве имелось 14,9 тыс. физ. ед. Технический суверенитет можно обеспечить при среднем коэффициенте обновления $k_{об} = 9\%$, коэффициенте выбытия $k_{выб} = 5,8\%$.

При достижении технического суверенитета для снижения количества сельскохозяйственной техники, используемой в течение более 10 лет, необходимо увеличивать коэффициенты выбытия.

Для обеспечения предложенной динамики формирования парка сельскохозяйственной техники необходимо обеспечить производство соответствующих видов СХТ.

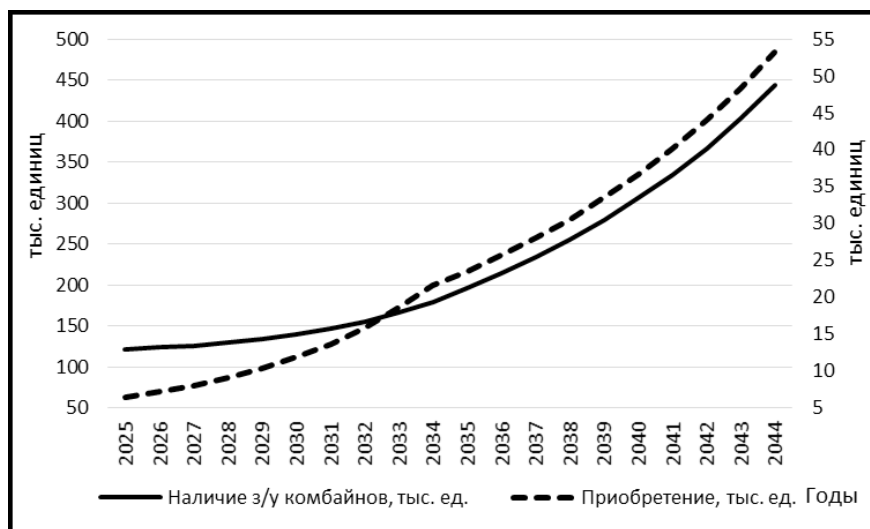


Рис. 5. Динамика формирования парка зерноуборочных комбайнов для обеспечения технического суверенитета

Figure 5. Dynamics of formation of the fleet of grain harvesting combines to ensure technical sovereignty

Выводы

Conclusions

Развитие экономики государства подразумевает равноценное развитие всех отраслей народного хозяйства, в том числе сельского хозяйства. Главной целью отрасли сельского хозяйства является обеспечение продовольственной безопасности государства. Для этого необходимо обеспечить производство основных продуктов питания в соответствии с медицинскими нормами потребления. К основным продуктам питания необходимо отнести молоко, мясо, продукцию переработки молока и мяса, картофель, овощи, продукты переработки зерновых, крупяных культур. Для полноценного питания необходимы также фрукты. Излишки произведенной сельскохозяйственной продукции можно использовать для решения мировой продовольственной безопасности, то есть отправлять на экспорт.

В основе эффективного ведения сельскохозяйственного производства лежат современные технологии, основанные на использовании и применении высокопроизводительных сельскохозяйственных машин, энергонасыщенных тракторов. Поэтому основой технологического суверенитета всегда будет являться технический суверенитет. В научной литературе, в исследованиях ученых в основном рассматривается понятие «технологический суверенитет».

Предлагаем определение технического суверенитета (в сельском хозяйстве): технический суверенитет – это достижение показателей отечественного сельхозмашиностроения, гарантирующих обеспечение сельхозтоваропроизводителя средствами производства, с параметрами, обеспечивающими оптимальные затраты при производстве сельскохозяйственной продукции.

Необходимо отметить, что достижение технического, технологического суверенитета – процесс не быстрый, как подтверждает данное исследование, рассчитанный на несколько десятилетий. Достижение данных суверенитетов возможно только при детально обоснованных, увязанных между собой программах развития сельхозмашиностроения, сельского хозяйства, банковской системы России. Данное исследование также подтверждает вывод Ж.А. Ермакова о том, что «...банковская система не стала драйвером технологического... развития». В результате математических расчетов, корреляционного анализа выявлено, что оптимальной процентной ставкой ЦБ России должна являться ставка в размере 8,59%. Также необходимо отметить, что структура инвестиций на приобретение сельскохозяйственной техники в разных формах хозяйствования различается: в малых формах хозяйствования практически не востребованы лизинг и кредитные ресурсы; основной формой инвестирования в сельскохозяйственных организациях является лизинг.

Для достижения технического (технологического) суверенитета необходимо увеличивать производство основных видов сельскохозяйственной техники и создавать условия для приобретения данной СХТ сельхозтоваропроизводителями. К 2044 г. необходимо увеличить производство: сельскохозяйственных тракторов в 7,35 раза; зерноуборочных комбайнов – в 8,2 раза; кормоуборочных комбайнов – в 5,3 раза. Для формирования технического суверенитета можно использовать импортные поставки, но в объеме не ниже экспортных поставок конкретного вида сельскохозяйственной техники.

Список источников

1. Потапцева Е.В., Акбердина В.В. Технологический суверенитет: понятие, содержание и формы реализации // *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика*. 2023. Т. 25, № 3. С. 5-16. <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2023.3.1>

2. *Технологический суверенитет*. URL: http://ipk.ispu.ru/files/02_01_Tehnologicheskii_suverenitet.pdf (дата обращения: 30.05.2024).
3. Горячева Т.В., Мызрова О.А. Роль и место технологического суверенитета в обеспечении устойчивости экономики России // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Экономика. Управление. Право»*. 2023. Т. 23. Вып. 2. С. 134-145. <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2023-23-2-134-145>
4. Нечаев В.И., Санду И.С., Михайлушкин П.В., Бондаренко Т.Г. Научные подходы к обеспечению технологического суверенитета в аграрном секторе экономики России // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2023. № 3 (Вопросы методологии экономических исследований). С. 91-101. <https://doi.org/10.33938/233-91>
5. Ермакова Ж.А. Финансовое обеспечение технологического развития отраслей экономики // *Вестник Самарского университета. Экономика и управление*. 2023. Т. 14, № 3. С. 59-70. <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-3-59-70>
6. *Ключевая ставка Банка России*. URL: https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.From=17.09.2013&UniDbQuery.To=29.04.2022 (дата обращения: 29.06.2024).
7. *Итоги АПК*. URL: <https://mcxso.midural.ru/article/show/id/105> (дата обращения: 29.06.2024).
8. *Корреляционно-регрессионный анализ*. URL: <https://medstatistic.ru/calculators/calccorrelation.html?ysclid=ltk1zmtxvl626748597> (дата обращения: 29.06.2024).
9. *Ключевая ставка Банка России*. URL: https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.From=01.01.2020&UniDbQuery.To=29.04.2022 (дата обращения: 01.07.2024).
10. Иовлев Г.А. Анализ обеспеченности основными видами сельскохозяйственной техники регионального сельского хозяйства // *Вестник НГИЭИ*. 2024. № 4 (155). С. 18-33. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2024-4-18-33>
11. *Производство сельхозтехники в январе-июне выросло на 17,2%*. URL: <https://поле.рф/journal/publication/2581> (дата обращения: 04.06.2024).
12. *Росспецмаш: сообщил данные о производстве и отгрузке отдельных видов машин за 9 месяцев 2023 года*. URL: <https://agro-bursa.ru/press-releases/2023/11/08/rosspecmash.html> (дата обращения: 05.07.2024).
13. *Методика использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности*: Инструктивно-методическое издание. М.: Росинформапротех, 2009. 56 с.

References

1. Potaptseva E.V., Akberdina V.V. Technological sovereignty: concept, content and forms of implementation. *Journal of Volgograd State University. Economics*. 2023;25(3):5-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2023.3.1>
2. *Technological sovereignty*. (In Russ.) URL: http://ipk.ispu.ru/files/02_01_Tehnologicheskii_suverenitet.pdf (accessed: May 30, 2024).
3. Goryacheva T.V., Myzrova O.A. The role and place of technological sovereignty in ensuring the Russian economy sustainability. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo*. 2023;23(2):134-145. (In Russ.) <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2023-23-2-134-145>
4. Nechaev V.I., Sandu I.S., Mikhailushkin P.V., Bondarenko T.G. Scientific approaches to ensuring technological sovereignty in the agricultural sector of the Russian

- economy. *Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve*. 2023;3(97):91-101. (In Russ.) <https://doi.org/10.33938/233-91>
5. Ermakova Zh.A. Financial support for technological development of economic sectors. *Vestnik of Samara University. Economics and Management*. 2023;14(3):59-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2023-14-3-59-70>
6. *Key rate of the Bank of Russia*. (In Russ.) URL: https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.From=17.09.2013&UniDbQuery.To=29.04.2022 (accessed: June 29, 2024).
7. *Results of the APK*. (In Russ.) URL: <https://mcxso.midural.ru/article/show/id/105> (accessed: June 29, 2024).
8. *Correlation and regression analysis*. (In Russ.) URL: <https://medstatistic.ru/calculators/calccorrelation.html?ysclid=ltk1zmtxvl626748597> (accessed: June 29, 2024).
9. *Key rate of the Bank of Russia*. (In Russ.) URL: https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.From=01.01.2020&UniDbQue (accessed: July 01, 2024).
10. Iovlev G.A. Analysis of the provision of main types of agricultural machinery in regional agriculture. *Vestnik NGIEI*. 2024;4(155):18-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2024-4-18-33>
11. *Agricultural machinery production increased by 17.2% in January-June*. (In Russ.) URL: <https://поле.пф/journal/publication/2581> (accessed: June 04, 2024).
12. *Rospetsmash: reported data on the production and shipment of certain types of machines for 9 months of 2023*. (In Russ.) URL: <https://agro-bursa.ru/press-releases/2023/11/08/rosspecmash.html> (accessed: May 07, 2024).
13. *Methodology for using conditional coefficients for converting tractors, grain and forage harvesters into standard units when determining their demand standards: instructional and methodological publication*. Moscow, Russia: Rosinformagrotech, 2009:56. (In Russ.)

Информация об авторах

Григорий Александрович Иовлев, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования в АПК», Уральский государственный аграрный университет; 620000, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42; e-mail: gri-iovlev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1837-3222>

Ирина Игоревна Голдина, старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования в АПК», Уральский государственный аграрный университет; 620000, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42; e-mail: ir.goldina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1837-3222>

Information about the authors

Grigory A. Iovlev, CSc (Econ), Associate Professor, Head of the Department of Service of Transport and Technological Machines and Equipment in the Agro-Industrial Sector, Urals State Agricultural University; 42 K. Libknecht st., Yekaterinburg, 620000, Russian Federation; e-mail: gri-iovlev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1837-3222>

Irina I. Goldina, Senior Lecturer, Department of Service of Transport and Technological Machines and Equipment in the Agro-Industrial Sector, Urals State Agricultural University; 42 K. Libknecht st., Yekaterinburg, 620000, Russian Federation; phone: (904) 985-03-64; e-mail: ir.goldina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1837-3222>

ЭКОНОМИКА

**Особенности и перспективы развития органического сельского хозяйства
в Российской Федерации**

Анна Петровна Олесюк, Надежда Алексеевна Сергееenkova✉

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** nsergeenkova@rgau-msha.ru

Аннотация

Повышающийся интерес населения к здоровому образу жизни способствует стремительному росту потребления экологически чистой продукции. В соответствии со стратегическим планом научно-технологического развития Российской Федерации одним из приоритетов в сельскохозяйственной сфере на ближайшие годы является переход к высокопродуктивному органическому сельскому хозяйству. По данным Института FIBL, мировой рынок органических продуктов оценивают в 230 млрд долларов и отмечают его ежегодный рост на 7–8%. Порядка 187 стран мира занимаются производством экологически чистой продукции. Площадь сельскохозяйственных земель, используемых для органических культур, в 2022 г. составляла 96,4 млн га, а количество компаний, имеющих статус органик, приблизилось к 4,5 млн. Органическое животноводство – важнейшее направление органического сельского хозяйства, предусматривающее определенные условия содержания, разведения и кормления животных с применением гуманных методов без использования синтетических веществ, антибиотиков и гормональных препаратов. В сегменте органической продукции РФ молочные и мясные продукты занимают 9%. Объем производства органического молока в России в 2021 г. находился на уровне 17275 т, или 0,05% от общего объема произведенного молока. К производителям органической продукции предъявляются более высокие требования, в связи с чем разработаны российские и международные стандарты, регламентирующие все технологические процессы и качество получаемой органической продукции. Согласно Стратегии развития производства органической продукции в Российской Федерации, доля органических продуктов к 2030 г. составит 5% от мирового рынка сельхозпродукции. Для наращивания объемов производства органической животноводческой продукции Россия обладает большими земельными и трудовыми ресурсами.

Ключевые слова

Органическое животноводство, органическая продукция, предприятия, стандарты, принципы организации

Для цитирования

Олесюк А.П., Сергееenkova Н.А. Особенности и перспективы развития органического сельского хозяйства в Российской Федерации // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 216–228.

Features and prospects for the development of organic agriculture in the Russian Federation

Anna O. Olesyuk, Nadezhda S. Sergeenkova✉

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉Corresponding author: nsergeenkova@rgau-msha.ru

Abstract

The growing interest of the population in a healthy lifestyle contributes to the rapid growth of consumption of environmentally friendly products. In accordance with the Strategic Plan for Scientific and Technological Development of the Russian Federation, one of the priorities in the agricultural sector for the coming years is the transition to high-productive organic agriculture. According to the FIBL Institute, the global organic market is estimated at \$230 billion with an annual growth of 7–8%. About 187 countries in the world are involved in the production of organic products. The area of agricultural land used for organic crops was 96.4 million hectares in 2022, and the number of companies with organic status approached 4.5 million. Organic livestock farming is the most important area of organic agriculture, which provides for certain conditions for keeping, breeding and feeding animals using humane methods without the use of synthetic substances, antibiotics and hormonal drugs. In the organic product segment of the Russian Federation, dairy and meat products account for 9%. The volume of organic milk production in Russia in 2021 was at the level of 17,275 tons, or 0.05% of the total volume of milk produced. Higher requirements are imposed on organic producers, and therefore Russian and international standards have been developed regulating all technological processes and the quality of the resulting organic products. According to the Strategy for the Development of Organic Production in the Russian Federation, by 2030 the share of organic products will be 5% of the world agricultural market. Russia has large land and labor resources to increase the production of organic livestock products.

Keywords

Organic livestock farming, organic products, enterprises, standards, principles of organization

For citation

Olesyuk A.P., Sergeenkova N.A. Features and prospects for the development of organic agriculture in the Russian Federation. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 216–228.

Введение Introduction

Инновационные процессы являются характерными для всех отраслей народного хозяйства и задают динамичный вектор его развития. В основе любого инновационного процесса лежит деятельность по внедрению нововведений, включающая в себя совершенствование организации и технологии производства, которая позволяет значительно повысить качество сельскохозяйственной продукции [12], сократить трудовые и материальные затраты и добиться высокого уровня эффективности предприятий агропромышленного комплекса [8]. Основные целевые функции инновационной деятельности направлены на организационно-экономическое и технологическое обновление процесса производства сельскохозяйственной продукции

и ее переработки. Рассматривая экологически чистую продукцию, которая носит статус органической и спрос на которую в последние годы заметно увеличивается, производители стали использовать качественно новые подходы к организации технологических процессов при ведении сельскохозяйственной деятельности. В 2016 г. был принят ГОСТ 33980–2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации», определяющий органическое сельское хозяйство как «производственную систему, которая улучшает экосистему, сохраняет и улучшает плодородие почвы, защищает здоровье человека и, принимая во внимание местные условия и опираясь на экологические циклы, сохраняет биологическое разнообразие, не использует вещества, способные нанести вред окружающей среде» [2]. Этот инновационный подход позволил принципиально иначе организовать технологические процессы в растениеводстве и животноводстве, сохраняя, с одной стороны, традиции наших предшественников, с другой стороны, приумножив результаты промышленного опыта, которые не всегда благоприятно сказывались на качестве продукции, а значит, наносили вред здоровью животных и человека.

Цель исследований: изучить современное состояние и особенности ведения органического животноводства в России.

Методика исследований

Research method

Данные для статьи были получены в ходе прохождения учебной стажировки в мае 2024 г. на базе Савинская Нива – ЭкоНива-АПК Холдинг. Также был проведен анализ данных единого государственного реестра производителей органической продукции и нормативно-правовой документации, регламентирующей деятельность по отдельным вопросам агропромышленного комплекса РФ.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В настоящее время сектор органической продукции на мировом продовольственном рынке демонстрирует динамичный рост благодаря повышению интереса к здоровому образу жизни и ответственному потреблению. Согласно оценкам Института органического сельского хозяйства (FIBL) международный рынок органических продуктов оценивается в 230 млрд долларов и ежегодно увеличивается на 7–8% [7]. По намеченной стратегии развития ожидается к 2030 г. рост объема рынка органических продуктов до 5% от мирового сельскохозяйственного рынка. Порядка 187 стран мира занимаются производством экологически чистой продукции. Площадь сельскохозяйственных земель, используемых для органических культур, в 2022 г. составляла 96,4 млн га, а количество компаний, имеющих статус органик, приблизилось к 4,5 млн [7]. Ведущие производители органической продукции в мире – США, Германия и Франция [5]. В странах ЕС этот сегмент развивается особенно активно. В России органические земли составляют 0,3% от всех земель сельскохозяйственного назначения. В динамике с 2010 по 2022 гг. наблюдается тенденция роста органических сельскохозяйственных земель (рис. 1).

В начале XIX в. рынок органической продукции в России составлял 16 млн евро только за счет импорта, на сегодняшний день он достиг показателя 200 млн евро, из которых 30–35% дает отечественная сертифицированная продукция. Что касается экспорта органической продукции из России, то по данным FIBL, на 2023 г. он составлял 55 тыс. т, что в стоимостном выражении оценивается в 1,5 млрд руб. [7].

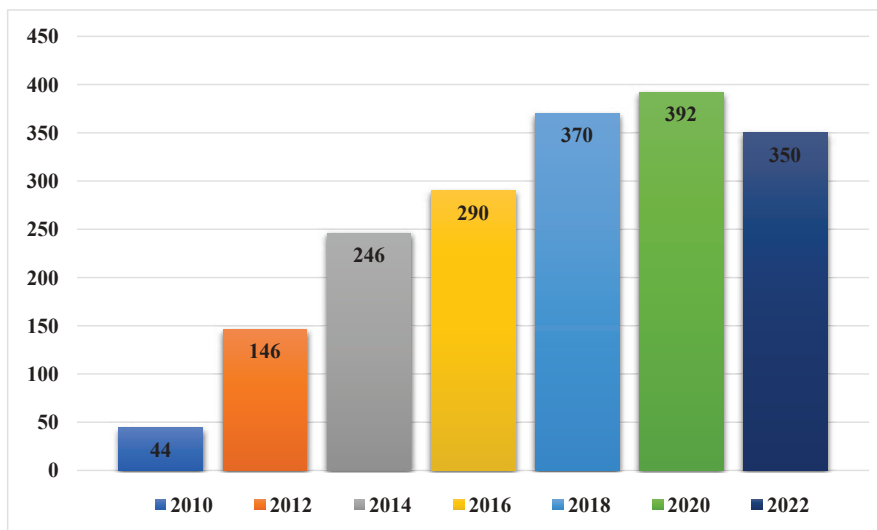


Рис. 1. Количество сертифицированной в РФ под органику земли, тыс. га

Figure 1. Amount of land certified for organic production in the Russian Federation (thousand hectares)

Согласно представленному в марте 2021 г. Плану развитию органического производства к 2030 г. предусматривается рост объема органических продуктов на 25% и финансирования за счет специализированных государственных программ и субсидий [4]. Увеличение потребления органической продукции оказывает положительное влияние на состояние здоровья населения. Исследования показывают, что у людей, активно потребляющих органические продукты, наблюдается меньше случаев бесплодия, врожденных дефектов у детей, аллергий, раковых заболеваний, сердечно-сосудистых заболеваний и инсультов. Пандемия коронавируса также сыграла важную роль в повышении спроса на органические продукты, которые часто рассматриваются как источник естественного иммунитета.

В соответствии со стратегическим планом научно-технологического развития России, утвержденным Указом Президента от 1 декабря 2016 г. № 642, в качестве приоритетного направления в сельском хозяйстве к 2030 г. выступает производство экологически чистой продукции. Технологии органического животноводства полностью отвечают данной научной стратегии.

Федеральный закон от 3 августа 2018 г. № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» определяет органическую продукцию как экологически чистую сельскохозяйственную продукцию, соответствующую требуемым параметрам производства. Эти требования предусматривают запрет на использование агрохимикатов, пестицидов, антибиотиков, стимуляторов роста и откорма животных, гормональных препаратов, за исключением разрешенных стандартами, а также отказ от трансплантации эмбрионов, клонирования и использования методов генной инженерии.

По оценке экспертов, сегодня в России для небольших предприятий, не способных создать конкуренцию ведущим агрохолдингам, выпуск органической продукции является главной возможностью, которая позволит занять свою нишу на продовольственном рынке страны благодаря высокому качеству экологически чистой продукции.

Особенность российских производителей сертифицированной органической продукции – это приверженность «органической идее», то есть ответственный

подход к производству качественной экологической продукции. Тем не менее многие товаропроизводители получают государственные дотации, а также вправе устанавливать соответствующий ценовой диапазон, позволяющий им выгодно продавать свою продукцию.

В России, как и в странах Европы, органические производители выращивают главным образом растениеводческую продукцию (30%), а также фрукты, овощи, ягоды (21%). На долю молочных и мясных продуктов приходится 9%. Соотношение товаров органического производства на российском рынке представлено в диаграмме (рис. 2).

Около 70% компаний (фермерских хозяйств) поставляют товары на внутренний рынок, в то время как крупные растениеводческие производители работают главным образом на экспорт.

Органическое животноводство, являясь важнейшей составляющей органического сельского хозяйства, включает в себя гуманное содержание, кормление выращенными без применения агрохимикатов и средств защиты растениями, разведение (как правило, только естественная случка). Для животных не используются стимуляторы роста и синтетические химические вещества. Это позволяет получить гарантию на получение экологически чистых, высококачественных и безопасных молочных и мясных продуктов по сравнению с традиционным производством [11].

История зарождения органического животноводства началась с 1920-х гг., и на протяжении века прогресс технологий, позволяющих получить продукцию, соответствующую экостандартам, является значительным. Конечно, на первых этапах нашей стране приходилось часто перенимать опыт зарубежных стран, тщательно изучать органические технологии производства и требования стандартов. Но сегодня в России имеется своя научная и производственная база, позволяющая расширять и модернизировать данное направление в отрасли сельского хозяйства.

С 2020 г. в Минсельхозе России действует единый Государственный реестр органических предприятий, сертифицированных по ГОСТ 33980–2016 [7], а также принят единый государственный логотип органической продукции, утвержденный приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 19 ноября 2019 г. № 634 (рис. 3) [9].

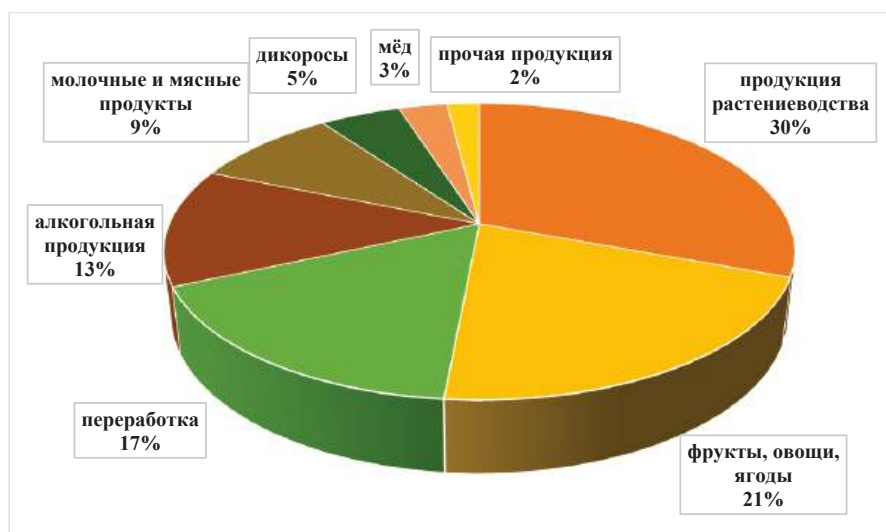


Рис. 2. Российские органические производители по видам деятельности (по данным на 2023 г. [7])

Figure 2. Russian organic producers by type of activity (for 2023) [7]

Рынок молочной органической продукции активно развивается. Производство молока – наиболее динамично растущий сегмент сектора органической продукции. Ежегодно количество экологически чистого молока возрастает на 50%. В 2021 г. сертифицированные производители получили 17275 т органического молока, в том числе 11229 т – питьевого молока [14]. Не вызывает сомнений рентабельность сегмента переработки такого молока, и с точки зрения инвестиций это весьма привлекательное направление органического животноводства.

Сегодня в российском реестре производителей экологически чистой продукции состоят 203 предприятия. Ежегодно их количество стремительно возрастает. В таблице 1 представлены ведущие предприятия, занимающиеся органическим молочным скотоводством.

Каждое предприятие отличает свой уникальный путь трансформации в органическую ферму. Наибольшее количество хозяйств по производству органической животноводческой продукции находится в Калужской и Ярославской областях. Это обусловлено, очевидно, благоприятными климатическими условиями, а также региональной поддержкой органических производителей.

Одними из ведущих хозяйств являются ООО «Савинская Нива» (бренд «Эко-Нива») (Калужская область) и ООО «Экоферма Джерси» (бренд «Истории из Богимово», Калужская область). В настоящее время оба хозяйства имеют международную сертификацию по стандартам органик стран ЕС (Регламент 848/2018, 889/2008) и США (USDA ORGANIC).

Основные принципы организации органического животноводства можно рассмотреть на примере ООО «Савинская Нива» (Мосальский район, Калужская область), где активно проводят научные исследования по изучению и внедрению технологий органического животноводства. Предприятие начало работу в 2010 г., а с 2012–2015 гг. хозяйство претерпело ряд изменений, переходя от традиционного земледелия и животноводства к органическому. ООО «Савинская Нива» подтвердило свой авторитет на рынке российской органики и в настоящее время имеет возможность производить органическую продукцию в больших объемах. Площадь сельхозугодий, находящихся в ведении данного хозяйства, составляет 6000 га. Общее поголовье крупного рогатого скота на предприятии составляет 540 гол., более 360 из них – фуражные коровы. Надои составляют около 5 т молока в сутки.

Основные стандарты, регламентирующие ведение органического животноводства, превышают требования обычного животноводства по всем показателям: порода, содержание и кормление животных, обращение с ними (табл. 2).

В органическом животноводстве неприемлемы традиционные методы заготовки кормов и использования кормовых добавок [13]. Главная задача – это гуманное содержание животных в максимально приближенных к естественным (природным) условиях (пастбище). Синтетические кормовые добавки в рационах органических животных не применяются, искусственное осеменение не используют. Это позволяет сохранить здоровье животных, в традиционном же животноводстве главный акцент делают на повышение продуктивности. Рассмотренные особенности органического животноводства, взаимосвязанные и взаимообусловленные, позволили разработать стандарты и требования к ведению экологически чистого животноводства.



Рис. 3. Графическое изображение (знак) органической продукции единого образца

Figure 3. Graphic representation (sign) of uniform design for organic products

Таблица 1

Перечень ведущих сельскохозяйственных предприятий по производству органического молока РФ, включенных в единый Государственный реестр производителей органической продукции [3]

Table 1

List of leading agricultural enterprises producing organic milk in the Russian Federation included in the unified State Register of Producers of Organic Products [3]

Компания	Регион	Специализация	Сертифицирующий орган
<i>Сертифицированные по международным стандартам органик стран ЕС (Регламент 848/2018, 889/2008) и США (USDA ORGANIC)</i>			
ООО «Савинская Нива»	Калужская область	Молоко, пшеница, озимая пшеница, горох, молочные коровы, полба, ячмень, пастбище/пастбища, овес, луг, гречиха, смесь овса и горох, убой и разделка, крупный рогатый скот, рожд	Kiwa BCS
ООО «Экоферма Джерси»	Калужская область	Молочное Животноводство	Control Union
<i>Сертифицированные по межгосударственному стандарту ГОСТ 33980–2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации» (для российского рынка)</i>			
ООО «Савинская Нива»	Калужская область	Молоко, крупный рогатый скот, зеленая масса, зерносмесь, озимая рожь, сено, сенаж, ячмень, овес, горох, клевер, пшеница, кукуруза	Роскачество
ООО «Экоферма Джерси»	Калужская область	Молоко, крупный рогатый скот, сено, сенаж, зеленая масса, зерносмесь, солома	ООО «Органик эксперт»
АО «АгроНова»	Краснодарский край	Молоко сырое коровье, крупный рогатый скот	Роскачество
ЗАО «Экоферма "Рябинки"»	Московская область	Молоко, молочный крупный рогатый скот, кефир, ряженка, йогурт, творог, сметана, сливки, масло, сыр, яйца, мука, телятина	Роскачество
АО «Племенной завод "Рассвет"»	Смоленская область	Молоко, крупный рогатый скот, люцерна, клевер, однолетние кормовые культуры, многолетние травы, овес, пшеница	Роскачество
ООО «Агрофирма "Княжево"»	Ярославская область	Молоко, крупный рогатый скот, овес, пшеница, зеленая масса, многолетние травы, яровая тритикале, бобы, сено, сенаж, силос	ООО «Органик эксперт»
ООО «Агрофирма "Земледелец"»	Ярославская область	Молоко, крупный рогатый скот, овес, зеленая масса многолетних трав, бобы, сено, сенаж	ООО «Органик эксперт»
ООО «ШУЛЬГИНО»	Московская область	Крупный рогатый скот, молокопродукты, хлеб и выпечка, напитки, мясо и колбасные изделия	Роскачество

Особенности ведения органического животноводства [6]

Table 2

Features of organic livestock farming [6]

Показатели	Методы традиционного животноводства	Методы органического животноводства (ГОСТ 33980–2016)
Порода животных	Используют для разведения высокопродуктивные специализированные породы и их помеси в соответствии с целью производства	В селекционной работе используют местные породы. Предпочтительно разведение как на предприятиях органического животноводства, так и в обособленных подразделениях промышленных предприятий по животноводству
Системы и способы содержания	Соблюдаются общие правила содержания животных в рамках закона о защите животных	Применяются специальные правила, касающиеся высокой скученности, нагрузки помещений на 1 гол. по видам животных, запрета на привязной способ содержания. Все животные должны иметь доступ к пастбищам, территориям для выпаса или загонам для выгула
Технологии кормления	Применяются сбалансированные рационы с включением ряда кормовых добавок, в том числе кормов животного происхождения, ферментов, стимуляторов роста, синтетических аминокислот	В рационе должно быть не менее 50% кормов собственного производства либо произведено другими хозяйствами, осуществляющими производство в соответствии с органическими методами в том же регионе. Не допускается использование гормонов, аминокислот химического синтеза, стимуляторов роста животных
Обращение с животными и уход за ними	Контролирование роста и развития, проведение плановых вакцинаций. Согласно инструкции по применению лекарственного препарата необходимо выдерживать период времени (период выведения препарата), в течение которого запрещено использовать продукцию от данного животного	Не допускается применение химически синтезированных лекарственных средств для ветеринарного применения или антибиотиков с профилактической целью. В отношении животных, к которым применялись лекарственные средства для ветеринарного применения, должен быть установлен карантинный период, в течение которого такие животные, а также продукция, полученная от них, не могут быть признаны органическими. Данный карантинный период исчисляется от последнего применения к животному лекарственных средств для ветеринарного применения и составляет двукратный период, установленный инструкцией по применению соответствующего лекарственного средства. Не допускается применение таких мер, как крепление резиновых колец на хвосты овец, купирование хвостов, откусывание клыков, укорачивание клюва и удаление рогов, за исключением случаев, когда такие меры (например, спиливание рогов у молодняка) применяют из соображений безопасности или если они направлены на улучшение здоровья, условий содержания или гигиены животных
Использование животных в виде транспорта	Используется предписание защиты животных при использовании их в виде транспорта	Животных используют в виде транспорта только по предписанию и на коротких расстояниях

Органическое животноводство на первый план ставит важность удовлетворения естественных потребностей животных для их здоровья и продуктивности. Принципы содержания животных включают в себя свободное перемещение, доступ к естественному свету и теплу, социальное содержание (не в одиночестве и без скученности), условия для отдыха (лужи, места для игр, моциона) и сна, подходящее питание, чистую воду, условия для реализации инстинкта размножения; животные находятся в гармонии с собой и с окружающей средой. Для уборки навоза используются штанговые транспортеры или скреперные установки. Оптимальные условия содержания достигаются с глубокой подстилкой и системами ее периодического обновления и уборки. Количество травм и болезней необходимо свести к минимуму, максимально повысив естественный иммунитет.

Не все корма, которые разрешены в традиционном животноводстве, могут быть использованы в органическом животноводстве. Синтезированные аминокислоты, синтетические стимуляторы и гормоны роста, минеральные удобрения для выращивания кормов в органическом животноводстве запрещены. Экологические корма в большинстве случаев характеризуются гораздо меньшим количеством переваримого протеина и незаменимых аминокислот. Для правильного составления сбалансированных рационов собственные корма, выращенные на сельскохозяйственных угодьях предприятия, проверяются на содержание энергетически кормовых единиц (ЭКЕ). Основные составляющие правильного рациона – это зерно, бобовые, травы, листва и корнеплоды. Доля кормов собственного производства при ведении органического животноводства должна составлять более 50%. Поголовье животных должно соответствовать возможностям производства кормов. Все поголовье требуется обеспечить необходимым количеством воды и минеральных компонентов. Нехватка воды резко снижает усвояемость кормов и ухудшает здоровье животных. Большую роль в обеспечении нормального водного баланса организма играют влажные корма (трава и корнеплоды, содержащие 80–90% воды, и силос – 65–70%). При температуре воздуха +10°C потребность жвачных животных в воде составляет 2–3 л на 1 кг сухого вещества корма, при температуре +30°C потребность увеличивается в 3 раза, лактирующим животным необходимо дополнительно 0,87 л на каждый кг молока. Особенно важно обеспечивать получение животными чистой воды вволю.

Главная особенность органического животноводства – собственное разведение животных. Искусственное осеменение применяется в исключительных случаях, как правило, животные размножаются естественным путем (естественная случка). Не допускаются методы генной инженерии и эмбриотрансфера. Нагрузка на одного быка составляет 20–25 коров. Активность сперматозоидов быков в органическом животноводстве должна составлять не ниже 92%. Также осуществляется ежеквартальная проверка производителей на хламидиоз. Приобретение животных для ремонта стада и предотвращения инбридинга с неорганических предприятий строго регламентировано, и только в соответствии с предписанием ЭКО-ЕС 2003 г. Обновление быков-производителей на экофермах осуществляется не реже, чем раз в 2 года, для чего необходимо переводить или покупать производителей с других органических предприятий. При этом обращают внимание на однородность природных условий, в которых содержатся животные, для минимизации стресса и быстрой адаптации. Все эти условия направлены на сохранение здоровья животных и предупреждение эпизоотий.

Продуктивность и здоровье животных напрямую зависят от взаимодействия организма с окружающей средой, свободной от заболеваний. Использование ветеринарных препаратов на органических фермах ограничено. Возможность минимизировать

использование лекарственных средств возможно при условии правильного кормления, содержания и ухода за животными. Основополагающее значение в организации правильного содержания животных имеет пастбищный период. В весенний период животных нужно подготовить предварительно, приучив в зеленой траве (от одной до двух недель), после чего можно выводить на пастбище. В местах выпаса требуется организовать навесы для защиты от солнца, ветра и дождя. Обеспеченность кормами на пастбище должно удовлетворять животных всех половозрастных групп. В органическом животноводстве на 2 гол. КРС приходится 1 га пастбищных угодий. Ремонт пастбища после выпаса животных включает в себя скашивание оставшейся зеленой массы через 2 дня, внесение органических удобрений (навоз). Через 27 дней группа животных возвращается на обновленное пастбище. Чистая питьевая вода должна быть всегда в достаточном количестве.

Несмотря на правильное кормление, содержание и профилактику заболеваний, в том числе эндопаразитарных, животные могут подвергаться болезням. Для лечения в некоторых случаях применяют методы нетрадиционной медицины: нейротерапия, акупунктура, различные виды массажей, логотерапия, биорезонансная, музыкальная, магнитная, озоновая терапия, использование гомеопатических препаратов. Также можно выделить особую группу – фитогенные кормовые добавки (базилик, гвоздика, корица, душица, тимьян, розмарин, сладкий каштан), ингибирующие размножение патогенных микроорганизмов, минимизирующие риски болезни кишечника, обеспечивающие противовоспалительное действие на слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта, улучшающие поедаемость и вкус корма, повышающие стрессоустойчивость и иммунитет организма. Широкое использование пробиотических препаратов – один из методов профилактических мероприятий по предотвращению болезней животных. Чаще всего их применяют для молодняка с целью обеспечения правильного формирования микрофлоры кишечника.

В случае тяжелых заболеваний допускается применение химических лекарственных препаратов по назначению ветеринарного врача. При этом после окончания терапии животное находится на карантине (не используется для получения органической продукции) в 2 раза дольше срока, предусмотренного в инструкции к соответствующему препарату.

Выводы

Conclusions

Таким образом, в настоящее время в РФ органическое животноводство является самостоятельной, динамично развивающейся отраслью сельского хозяйства. Россия обладает большими земельными и трудовыми ресурсами для наращивания объемов производства органической животноводческой продукции.

Органические товары сегодня – это ханди крафт (от англ. «craft» – ремесло, мастерство, искусство) – товары, созданные небольшими партиями, без использования производственных мощностей, часто вручную. Как правило, стоимость подобных продуктов выше среднего ценового сегмента. Ценовой диапазон между индустриальными товарами и товарами ханди крафт в разных странах варьирует от 15 до 200%. Предпочтения покупателя напрямую зависят от разницы в цене индустриальной и органической продукции. При существующем уровне знаний и ценовом диапазоне готовность потребителей к переходу на органические продукты составляет только 7%. Если стоимость органической продукции не будет превышать 10–25% от средней стоимости индустриальных товаров, то готовность потребителей возрастает до 60% [7].

С целью дальнейшего развития органического животноводства в РФ требуется формирование следующих стратегических показателей:

- применение альтернативных мер государственной поддержки производителей органической продукции на федеральном уровне;
- включение органической продукции в план государственных закупок и ее поставки в социальные учреждения;
- пересмотр и гармонизация нормативно-правовых документов по органическому животноводству;
- расширение маркетинговых сетей биологических препаратов, разрешенных к применению в органическом животноводстве;
- совершенствование технологий получения высокопитательных кормов и внедрение инновационных способов их переработки [12];
- популяризация органической продукции на российском рынке с использованием социальной рекламы и агротуризма;
- разработка учебно-методических рекомендаций для студентов аграрных вузов (по направлению подготовки «Зоотехния», специальности «Ветеринария») по ведению органического животноводства [10].

Список источников

1. Быковская Н.В., Поддубная З.В., Сапегина М.В. Органическое сельское хозяйство в России – эффективные практики и научно-технические разработки // *Экономика сельского хозяйства России*. 2021. № 5. С. 59-62. <https://doi.org/10.32651/215-59>
2. ГОСТ 33980-2016. Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. М.: Стандартинформ, 2020. 59 с.
3. Единый государственный реестр производителей органической продукции. URL: <https://soz.bio/edinyy-gosudarstvennyy-reestr-proiz-3> (дата обращения: 30.08.2024).
4. ЕС увеличивает площади под органическое сельское хозяйство на 25% к 2030 году. URL: <https://soz.bio/es-uvlichivaet-ploshhadi-pod-organiches> (дата обращения: 30.08.2024).
5. Коноваленко Л.Ю., Мишуров Н.П., Гриднев П.И., Коршунов С.А., Любовецкая А.А. *Органическое животноводство: опыт и перспективы развития*. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 88 с. EDN: YQSSCO.
6. Насатуев Б.Д. *Органическое животноводство: Учебное пособие*. Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2008. 126 с. EDN: MQYHLE.
7. Обзор мирового органического рынка и рынка России на конец 2023 года. URL: <https://organicfund.ru/new/obzor-mirovogo-organicheskogo-rynka-i-rynka-rossii-na-konec-2023-goda>.
8. Жевора Ю.И., Донецкий Д.С., Лебедев А.Т. и др. *Организация инновационной деятельности в агробизнесе: Учебное пособие*. Ставрополь: Агрус, 2021. 204 с. EDN: HLCGRP.
9. Об утверждении формы и порядка использования графического изображения (знак) органической продукции единого образца: приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 19 ноября 2019 г. № 634. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912190053?index=1> (дата обращения: 30.08.2024).
10. Проект решения Совета по вопросам агропромышленного комплекса и природопользования при Совете Федерации Федерального Собрания

Российской Федерации от 14 мая 2021 г. 5 с. URL: <http://council.gov.ru/media/files/4eAhLogdzRNerA6020a4FQs08wAYQMPK.pdf> (дата обращения: 30.08.2024).

11. Поставнева Е.В., Ермошина Е.В., Хуборкова С.В., Сидорова Н.А. Производство говядины на основе промышленного скрещивания в молочном скотоводстве // *Зоотехния*. 2011. № 10. С. 19-20. EDN: PEWAUX.

12. Родионов Г.В., Олесюк А.П. Изменение показателей качества молока под воздействием ингибиторов // *Доклады ТСХА*. Вып. 292. Ч. IV. Москва: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. С. 498-502. EDN: QWBMMD.

13. Савчук С.В., Сергеевкова Н.А., Семак А.Э. Влияние продукта жизнедеятельности личинки восковой моли на морфофункциональное состояние желудочно-кишечного тракта перепелов японской породы // *Зоотехния*. 2019. № 6. С. 28-30. <https://doi.org/10.25708/ZT.2019.92.90.007>

14. Стратегия развития производства органической продукции в Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 4 июля 2023 г. № 1788-п. URL: <http://static.government.ru/media/files/8tJynEn7pLVLfdqqL6p3BhArPtCQW9Aw.pdf> (дата обращения: 30.08.2024).

References

1. Bykovskaya N.V., Poddubnaya Z.V., Sapegina M.V. Organic agriculture in Russia is an effective practices and scientific and technical developments. *Economics of Agriculture in Russia*. 2021;5:59-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.32651/215-59>

2. GOST 33980-2016. Organic products. Rules for production, processing, labeling and sale. Moscow, Russia: Standartinform, 2020:59. (In Russ.)

3. Unified state register of organic producers. (In Russ.) URL: <https://soz.bio/edinyy-gosudarstvennyy-reestr-proiz-3> (accessed: August 30, 2024).

4. The EU increases the area under organic agriculture by 25% by 2030. (In Russ.) URL: <https://soz.bio/es-uvelichivaet-ploshhadi-pod-organiches> (accessed: August 30, 2024).

5. Konovalenko L.Yu., Mishurov N.P., Gridnev P.I., Korshunov S.A., Lyubovedskaya A.A. *Organic animal husbandry: experience and development prospects*. Moscow, Russia: FGBNU “Rosinformagrotech”, 2021:88. (In Russ.)

6. Nasatuev B.D. *Organic animal husbandry: a textbook*. Ulan-Ude, Russia: Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, 2008:126. (In Russ.)

7. Review of the global organic market and the Russian market at the end of 2023. (In Russ.) URL: <https://organicfund.ru/new/obzor-mirovogo-organicheskogo-rynka-i-rynka-rossii-na-konec-2023-goda>

8. Zhevora Yu.I., Donetskiy D.S., Lebedev A.T. et al. *Organization of innovative activities in agribusiness: a textbook*. Stavropol, Russia: Agrus, 2021:204. (In Russ.)

9. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 634, dated November 19, 2019 “On approval of the form and procedure for using the graphic image (sign) of organic products of a single sample”. (In Russ.) URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912190053?index=1> (accessed: August 30, 2024).

10. Draft resolution of the Council on Agro-Industrial Complex and Nature Management under the Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation dated May 14, 2021. 2021:5. (In Russ.) URL: <http://council.gov.ru/media/files/4eAhLogdzRNerA6020a4FQs08wAYQMPK.pdf> (accessed: 30.08.2024).

11. Postavneva E.V., Ermoshina E.V., Khuborkova S.V., Sidorova N.A. Beef production through the use of industrial crossbreeding in dairy cattle farming. *Zootekhnika*. 2011;10:19-20. (In Russ.)

12. Rodionov G.V., Olesyuk A.P. Changes in milk quality indicators under the influence of inhibitors. In: *Doklady TSKhA*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2020;292(4):498-502. (In Russ.)

13. Savchuk S.V., Sergeenkova N.A., Semak A.E. The impact of the waste product of the wax moth larva on the morphological and functional condition of the gastrointestinal tract of Japanese quails. *Zootekhnika*. 2019;6:28-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.25708/ZT.2019.92.90.007>

14. Strategy for the Development of Organic Production in the Russian Federation until 2030. Approved by the Order of the Government of the Russian Federation No. 1788-r., dated July 4, 2023. (In Russ.) URL: <http://static.government.ru/media/files/8tJynEn7pLVLfddqQL6p3BhArPtCQW9Aw.pdf> (accessed: August 30, 2024).

Сведения об авторах

Анна Петровна Олесюк, кандидат биологических наук, доцент кафедры молочного и мясного скотоводства, Институт зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: annakharkova58@mail.ru; ORCID: 0000-0002-5902-7326

Надежда Алексеевна Сергееenkova, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, Институт зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: nsergeenkova@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0001-8769-951X

Information about the authors

Anna P. Olesyuk, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Dairy and Meat Husbandry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: annakharkova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5902-7326>

Nadezhda A. Sergeenkova, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Animal Physiology, Ethology and Biochemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: nsergeenkova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8769-951X>

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

Лапушкин В.М., Лапушкина А.А. Эффективность минеральных удобрений, модифицированных ингибиторами нитрификации и уреазы, при внесении под яровую пшеницу	5
Митрофанов Д.В. Влияние погодных условий, продуктивной влаги, макроэлементов питания почвы и сорных растений на урожайность гороха	22

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

Орлова Е.Е., Зубик И.Н., Козлова Е.А. Изучение биоморфологических особенностей сортов флокса метельчатого (<i>Phlox paniculata</i> L.) коллекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева	43
Сорокопудова О.А., Ханумиди Е.И. Особенности развития сортов <i>Hyacinthus orientalis</i> при выгонке и в открытом грунте Центрального Нечерноземья	64
Черятова Ю.С., Чудецкий А.И., Куликова Е.И., Суров В.В. Первичное интродукционное изучение копеечника забытого (<i>Hedysarum neglectum</i> Ledeb.) в условиях Вологодской области	77

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

Упадышев М.Т., Макаров С.С., Упадышева Г.Ю. Особенности органогенеза и оздоровления клонового подвоя яблони от вирусов путем комплексной терапии <i>in vitro</i>	93
--	----

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Вишнякова А.В., Никитин М.А., Александрова А.А., Соколова Л.М. Агрессивные изоляты <i>Fusarium spp.</i> на овощных культурах Московской области: видовой состав и фитотоксичность	108
Киселёва Г.К., Якуба Ю.Ф., Петров В.С., Ильина И.А., Запорожец Н.М., Хохлова А.А. Изучение устойчивости побегов винограда к низким температурам при обработке абсцизовой кислотой	124

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

Маланкина Е.Л., Еремеева Е.Н., Терехова В.И. Стабильность накопления фенольных соединений как видовая особенность представителей семейства Яснотковые (<i>Lamiaceae</i>)	137
--	-----

ЗООТЕХНИКА, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Забарин И.Д., Шилин Д.В., Васильев А.Н. Линейная оценка коров по облаку точек	150
Лунева А.В., Лысенко Ю.А., Селионова М.И., Яковец М.Г., Марченко Е.Ю. Состав, выделение и идентификация микробиома слепых отростков кишечника фазанов	164
Мухаммадиев Р.С., Мухаммадиев Р.С., Валиуллин Л.Р., Барышев М.Г., Гумеров В.Г., Мухаммадиева А.С., Самсонов А.И., Садыков Б.А. Продуктивность, иммунный статус и микробиота кишечника цыплят-бройлеров при включении в рацион пробиотиков на основе <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SG66 и/или <i>Bacillus subtilis</i> GA24	182

ЭКОНОМИКА

Иовлев Г.А., Голдина И.И. О проблемах формирования технического и технологического суверенитета в сельском хозяйстве Российской Федерации	201
Олесюк А.П., Сергеенкова Н.А. Особенности и перспективы развития органического сельского хозяйства в Российской Федерации	216

CONTENTS

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, ECOLOGY

<i>Lapushkin V.M., Lapushkina A.A.</i> Effectiveness of mineral fertilizers modified by nitrification and urease inhibitors when applied to spring wheat.....	5
<i>Mitrofanov D.V.</i> Effect of weather conditions, productive moisture, soil macronutrients and weeds on pea yield.....	22

BOTANY, POMICULTURE

<i>Orlova E.E., Zubik I.N., Kozlova E.A.</i> Study of biomorphological features of <i>Phlox paniculata</i> L. varieties from the collection of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy	43
<i>Sorokopudova O.A., Khanumidi E.I.</i> Features of development of <i>Hyacinthus orientalis</i> cultivars in forcing and in open ground of the Central Non-Chernozem region.....	64
<i>Cheryatova Yu.S., Chudetsky A.I., Kulikova E.I., Surov V.V.</i> Primary introductory study of neglected sweetvetch (<i>Hedysarum neglectum</i> Ledeb.) in the conditions of the Vologda Region, Russia.....	77

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BREEDING AND SEED PRODUCTION

<i>Upadyshev M.T., Makarov S.S., Upadysheva G.Yu.</i> Peculiarities of organogenesis and recovery of apple tree clonal rootstock from viruses using complex <i>in vitro</i> therapy.....	93
--	----

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

<i>Vishnyakova A.V., Nikitin M.A., Aleksandrova A.A., Sokolova L.M.</i> Aggressive <i>Fusarium spp.</i> isolates on vegetables in the Moscow Region: species composition and phytotoxicity	108
<i>Kiseleva G.K., Yakuba Yu.F., Petrov V.S., Ilyina I.A., Zaporozhets N.M., Khokhlova A.A.</i> Study of resistance of grape shoots to low temperatures when treated with abscisic acid	124

PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

<i>Malankina E.L., Ereemeeva E.N., Terekhova V.I.</i> Stability of phenolic compound accumulation as a species feature of the <i>Lamiaceae</i> family	137
---	-----

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

<i>Zabarin I.D., Shilin D.V., Vasiliev A.N.</i> Linear estimation of cows by the point cloud	150
<i>Luneva A.V., Lysenko Yu.A., Selionova M.I., Yakovets M.G., Marchenko E.Yu.</i> Composition, isolation and identification of the microbiome of the ceca of pheasants.....	164
<i>Mukhammadiev R.S., Mukhammadiev R.S., Valiullin L.R., Baryshev M.G., Gumerov V.G., Mukhammadieva A.S., Samsonov A.I., Sadykov B.A.</i> Productivity, immune status and intestinal microbiota of broiler chickens when added to the diet probiotics based on <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SG66 and/or <i>Bacillus subtilis</i> GA24 strains.....	182

ECONOMY

<i>Iovlev G.A., Goldina I.I.</i> On the problems of the formation of technical and technological sovereignty in agriculture of the Russian Federation.....	201
<i>Olesyuk A.O., Sergeenkova N.S.</i> Features and prospects for the development of organic agriculture in the Russian Federation.....	216

Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»

e-mail: izvtsha@rgau-msha.ru

тел.: (499) 976–07–48

Подписано в печать 25.02.2025 г. Формат 70×100/16 Бумага офсетная
Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная. 14,4 печ. л.

Тираж 500 экз.

Отпечатано в ООО «ЭйПиСиПублишинг»
127550, г. Москва, Дмитровское ш., д. 45, корп. 1, оф. 8
Тел.: (499) 976–51–84