

ISSN 2949-4796
eISSN 3033-8484

Agrarian Bulletin of the North Caucasus

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА



Tom Vol. 16 No 2/2026

Аграрный вестник Северного Кавказа

Том 16 № 2/2026

Периодичность издания — 4 номера в год

Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Vol. 16 No 2/2026

The publication is released quarterly

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет

ТЕРРИТОРИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ:

Российская Федерация, зарубежные страны

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Квочко Андрей Николаевич

доктор биологических наук, профессор,
профессор РАН, заведующий кафедрой
физиологии, хирургии и акушерства,
Ставропольский государственный аграрный
университет
ORCID: 0000-0003-4445-7638
(Ставрополь, Россия)

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Самойленко И. В. – ответственный редактор
Агаркова М. М. – технический редактор
Рязанова М. Н. – выпускающий редактор
Шулякова Е. А. – корректор

АДРЕС: 355017, г. Ставрополь,
пер. Зоотехнический, 12

ТЕЛ. +7 (906) 479-05-79

ЭЛ. ПОЧТА: vapk@stgau.ru

ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ УЧРЕДИТЕЛЯ: www.stgau.ru

ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ РЕДАКЦИИ: www.vapk26.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной
службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций. Свидетельство о регистрации
средства массовой информации ПИ
№ ФС 77-85520 от 11.07.2023

ТИРАЖ: 300 экз.

Индекс журнала в Объединенном каталоге
«ПРЕССА РОССИИ».

Газеты и журналы:
Э83308

FOUNDER:

Stavropol State Agrarian University

AREA DISTRIBUTION:

Russia and other countries

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey V. Kvochko

Dr. Sci. (Biol.), Prof.,
Head of the Department of Physiology,
Surgery and Obstetrics,
Stavropol State Agrarian University
ORCID: 0000-0003-4445-7638
(Stavropol, Russia)

EDITORIAL TEAM

Samoylenko I. V. – Executive Editor
Agarkova M. M. – Technical Editor
Ryazanova M. N. – Publishing Editor
Shulyakova E. A. – Corrector

ADDRESS: 355017, Stavropol, Zootechnical Lane, 12

TEL. +7 (906) 479-05-79

E-MAIL: vapk@stgau.ru

FOUNDER WEBSITE: www.stgau.ru

JOURNAL WEBSITE: www.vapk26.ru

The Journal is registered by the Federal Service
for Supervision in the Sphere of Communication,
Information Technologies and Mass Media.
The Mass Media Registration Certificate PI
№ FS77-85520 July 11, 2023

CIRCULATION: 300 copies

Index of the subscription to the Combined
Catalog «PRESS OF RUSSIA».

Newspapers and journals:
E83308

Аграрный вестник Северного Кавказа

Научный рецензируемый журнал

«Аграрный вестник Северного Кавказа» является рецензируемым научным журналом открытого доступа.

Предметное поле журнала охватывает направления, связанные с устойчивым развитием сельского хозяйства, включая:

- разведение, селекцию и генетику животных;
- ветеринарную медицину;
- технологии кормления и производства продукции животноводства;
- инновационные разработки в области агрохимии, почвоведения, садоводства и земледелия;
- экологические аспекты производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции;
- селекцию и генетику агрокультур;
- применение интеллектуальных технологий и цифровых решений в сельском хозяйстве;
- этнокультурные и исторические аспекты агрономии и животноводства.

Особое внимание уделяется адаптации этих направлений к специфическим условиям Северного Кавказа как региона с уникальным агроклиматическим потенциалом, требующим особых подходов к обеспечению устойчивости сельского хозяйства. Редакция приветствует исследования, затрагивающие сопредельные территории Южного Кавказа.

Целью журнала является публикация оригинальных исследований и обзорных статей, направленных на изучение новых технологий и методов по решению комплексных задач, способствующих устойчивому развитию аграрного сектора.

Журнал нацелен на российских и зарубежных ученых, практиков, специалистов, аспирантов и студентов для публикации фундаментальных и прикладных региональных, национальных и международных исследований, направленных на повышение уровня знаний и практических навыков в области сельского хозяйства.

Индексируется в базе открытого доступа Directory of Open Access Journals (DOAJ).

Является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ)

и Agricultural Research Information System (AGRIS).

Входит в Белый список научных журналов России (3-й уровень).

Зарегистрирован в перечне Высшей аттестационной комиссии рецензируемых научных изданий (Категория 2).

Индексируется и архивируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная



Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Peer-Reviewed Scientific Journal

"Agrarian Bulletin of the North Caucasus" is an open-access peer-reviewed journal.

The subject area covers fields related to sustainable agricultural development, including:

- animal breeding, selection and genetics;
- veterinary medicine; feeding technologies and livestock production;
- innovative technologies in agrochemistry, soil science and horticulture;
- environmental aspects of agricultural production, storage and processing;
- crop selection and genetics;
- smart technologies and digital solutions in agriculture;
- ethnocultural and historical aspects of agronomy and animal science.

Special attention is paid to adapting these areas to the specific conditions of the North Caucasus as a region with unique agroclimatic potential, requiring specific approaches to ensuring agricultural sustainability. The Journal also encourages research concerning the adjacent territories of the South Caucasus.

The purpose of the journal is to publish reviews and original research articles aimed at studying new technologies and methods for sustainable development of the agricultural sector.

The journal is aimed at scientists, practitioners, specialists, postgraduates and students for the publication of fundamental and applied regional, national and international research aimed at improving the level of knowledge and practical skills in agriculture.

The journal is included in Directory of Open Access Journals (DOAJ), Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP) and Agricultural Research Information System (AGRIS).

Included in Russian White List of journals (3 level).

The journal is registered in the list of the Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications (Category 2).

Indexed and archived in the Russian Index Science Citation.

The materials are available under license Creative Commons «Attribution»
4.0 International



РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Квочко
Андрей Николаевич** главный редактор, доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, заведующий кафедрой физиологии, хирургии и акушерства, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-4445-7638>

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

**Самойленко
Ирина Владимировна** ответственный редактор, кандидат технических наук, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-6907-1403>

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

**Агаркова
Маргарита Михайловна** технический редактор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0009-0000-9307-3804>

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

**Белова
Лариса Михайловна** доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-4473-1940>

**Белоус
Оксана Геннадьевна** доктор биологических наук, доцент, Федеральный исследовательский центр Субтропический научный центр Российской академии наук, Сочи, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-5613-7215>

**Гулюкин
Михаил Иванович** академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко РАН, Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-7489-6175>

**Есаулко
Александр Николаевич** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-0441-9055>

Зеки Байрамоглу Dr., PhD, профессор, Сельскохозяйственный факультет, Сельчукский университет, Сельчук, Турция
<https://orcid.org/0000-0003-3258-3848>

**Ильина
Лариса Александровна** доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>

**Кочиш
Иван Иванович** академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина, Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-8892-9858>

**Кощаев
Андрей Георгиевич** академик РАН, доктор биологических наук, профессор, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-3904-2860>

Оздемиров Алимсолтан Ахмедович	кандидат биологических наук, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия https://orcid.org/0000-0003-2150-2192
Племяшов Кирилл Владимирович	член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия https://orcid.org/0000-0002-3658-5886
Подколзин Олег Анатольевич	доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, Центр агрохимической службы «Краснодарский», Краснодар, Россия https://orcid.org/0000-0002-4962-7678
Ражабов Тошпулот Файзуллоевич	кандидат биологических наук, доцент, Самаркандский государственный университет им. Шарофа Рашидова, Самарканд, Узбекистан https://orcid.org/0000-0003-2859-5694
Сантросян Гагик	кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Воскеатский научный центр виноградарства и виноделия, Национальный аграрный университет Армении (НАУА), филиал, Ереван, Республика Армения https://orcid.org/0000-0001-9674-9793
Саджад Ганбари	PhD, профессор, кафедра лесного хозяйства, Ахарский факультет сельского хозяйства и природных ресурсов, Тебризский университет, Ахар, Иран https://orcid.org/0000-0002-6568-1025
Скрипкин Валентин Сергеевич	доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия https://orcid.org/0000-0001-8492-0282
Сотникова Лариса Федоровна	доктор ветеринарных наук, профессор, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия https://orcid.org/0000-0001-7138-6463
Сунайна Сингх	PhD, Индийское общество генетических ресурсов растений, Индия https://orcid.org/0000-0002-3514-6806
Сычев Виктор Гаврилович	академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, Москва, Россия https://orcid.org/0000-0002-2146-5646
Цховребов Валерий Сергеевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия https://orcid.org/0000-0002-4809-3264
Шкуратова Ирина Алексеевна	член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия https://orcid.org/0000-0003-0025-3545

EDITORIAL TEAM

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey N. Kvochko Editor-in-Chief, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Head of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-4445-7638>

EXECUTIVE EDITOR

Irina V. Samoylenko Executive Editor, Cand. Sci. (Tech.), Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-6907-1403>

EDITOR

Margarita M. Agarkova Editor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0009-0000-9307-3804>

EDITORIAL BOARD

- Zeki Bayramoğlu** PhD, Dr., Prof., Faculty of Agriculture, Selçuk University. President of the Eurasian Association of Agricultural Economists, Selçuk, Türkiye
<https://orcid.org/0000-0003-3258-3848>
- Larisa M. Belova** Dr. Sci. (Biol.), Prof., Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-4473-1940>
- Oksana G. Belous** Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-5613-7215>
- Sajad Ghanbari** PhD, Prof., Department of Forestry, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, Iran
<https://orcid.org/0000-0002-6568-1025>
- Mikhail I. Gulyukin** Academician of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K. I. Skryabin and Ya. R. Kovalenko RAS, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-7489-6175>
- Aleksandr N. Esaulko** Dr. Sci. (Agric.), Prof. of RAS, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia.
<https://orcid.org/0000-0003-0441-9055>
- Larisa A. Ilina** Dr. Sci. (Biol.), Prof., Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>
- Ivan I. Kochish** Academician of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Prof., Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Skryabin, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-8892-9858>
- Andrey G. Koshchaev** Academician of RAS, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilina, Krasnodar, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-3904-2860>

- Alimsoltan A. Ozdemirov** Cand. Sci. (Biol.), Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>
- Kirill V. Plemyashov** Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-3658-5886>
- Oleg A. Podkolzin** Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Krasnodar Center for Agrochemical Service, Krasnodar, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-4962-7678>
- Toshpulot F. Rajabov** Cand. Sci. (Biol.), Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand, Uzbekistan
<https://orcid.org/0000-0003-2859-5694>
- Gagik Santrosyan** PhD (Agric.), Voskehat Educational and Research Center for Enology Armenian National Agrarian University (ANAU) Branch, Yerevan, Republic of Armenia
<https://orcid.org/0000-0001-9674-9793>
- Valentin S. Skripkin** Dr. Sci. (Biol.), Prof., Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-8492-0282>
- Larisa F. Sotnikova** Dr. Sci. (Vet.), Prof., Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7138-6463>
- Sunaina Singh** PhD, Indian Society of Plant Genetic Resources, India
<https://orcid.org/0000-0002-3514-6806>
- Viktor G. Sychev** Academician of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Prof., All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov, Moscow, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-2146-5646>
- Valery S. Tskhovrebov** Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-4809-3264>
- Irina A. Shkuratova** Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia
<https://orcid.org/0000-0003-0025-3545>

Животноводство и ветеринария

Р.Д. Землянский

Перспектива применения флавоноидов как средства для решения проблемы антибиотикорезистентности в ветеринарии (обзор предметного поля) 10

А.Ж. Хитиева, А.Х. Тебугев

Прогноз заболеваемости бруцеллезом крупного рогатого скота в Кабардино-Балкарской Республике с использованием методов декомпозиции временных рядов и пространственного анализа 22

Агрономия

Е.В. Письменная, М.Ю. Азарова, А. Джамиль

Оценка интродуцированных сортов черешни в засушливых условиях Юга России 33

В.И. Пахомов, А.В. Брагинец, О.Н. Бахчевников, Д.А. Максак

Новый подход к предпосевной обработке семян: влияние низкотемпературного и микроволнового воздействия на урожайность озимой пшеницы 43

П.М. Исаева, П.М. Ахмедова

Влияние концентрации углекислого газа, кислотности и электропроводности на продуктивность томата в условиях гидропоники Чеченской Республики 57

Е.В. Жеряков, С.А. Семина, И.С. Жеряков

Влияние микроудобрений и регуляторов роста на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы 69

В.А. Чаплыгин, Т.И. Сиромля, Н.П. Черникова, А.В. Барахов, А.Е. Смехунов, А.А. Бадмаева, Ч. Кесвани,

С.С. Манджиева, Т.М. Минкина

Фракционный состав соединений меди (Cu), хрома (Cr) и свинца (Pb) в лекарственных растениях Ростовской и Новосибирской областей 81

Н.Л. Студенникова, И.М. Скалозубов, Н.А. Рыбаченко

Оценка аффинитета привойно-подвойных комбинаций винограда по показателю импеданса 97

Animal Husbandry and Veterinary Medicine

Radosvet D. Zemlyansky

- The prospect of using flavonoids as a means to solve the problem of antibiotic resistance in veterinary medicine (scoping review) 10

Aminat Zh. Khitieva, Azamat Kh. Tebuev

- Prediction of bovine brucellosis incidence in the Kabardino-Balkarian Republic using time series decomposition and spatial analysis methods 22

Agronomy

Elena V. Pismennaya, Margarita Yu. Azarova, Akash Jamil

- Evaluation of introduced sweet cherry cultivars under arid conditions of Southern Russia 33

Viktor I. Pakhomov, Andrey V. Braginets, Oleg N. Bakhchevnikov, Dmitriy A. Maksak

- New approach to pre-sowing seed treatment: the effect of low temperature and microwave exposure on the yield of winter wheat 43

Petmat M. Isaeva, Patimat M. Akhmedova

- Effect of carbon dioxide concentration, pH, and electrical conductivity on tomato yield in hydroponics of the Chechen Republic. 57

Evgeny V. Zheryakov, Svetlana A. Semina, Igor S. Zheryakov

- Influence of micronutrient fertilizers and growth regulators on the technological qualities of sugar beet roots 69

Viktor A. Chaplygin, Tatyana I. Siromlya, Natalya P. Chernikova, Anatoliy V. Barakhov, Anatoliy V. Smekhunov, Alina A. Badmaeva, Chetan Keswani, Saglara S. Mandzhieva, Tatyana M. Minkina

- Fractional composition of copper (Cu), chromium (Cr), and lead (Pb) compounds in medicinal plants of the Rostov and Novosibirsk Oblasts 81

Natalia L. Studennikova, Ivan M. Skalozubov, Natalia A. Rybachenko

- Evaluation of affinity in scion-rootstock grape combinations based on impedance value. 97

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-10-21>

Перспектива применения флавоноидов как средства для решения проблемы антибиотикорезистентности в ветеринарии (обзор предметного поля)

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Радосвет Дмитриевич
Землянский

E-mail: radosvet2001@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Землянский Р.Д.
Перспектива применения флавоноидов как средства для решения проблемы антибиотикорезистентности в ветеринарии (обзор предметного поля). *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):10-21. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-10-21> EDN DXXXQY

ПОСТУПИЛА: 10.02.2026

ДОРАБОТАНА: 19.05.2026

ПРИНЯТА: 19.05.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Землянский Р.Д.



Р.Д. Землянский 

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Производство животноводческой продукции неразрывно связано с применением различных антимикробных препаратов. Однако при неточной схеме лечения или проведении неверных профилактических мероприятий у патогенных микроорганизмов, вызывающих нозологический процесс, развивается снижение чувствительности к антибиотикам. На протяжении последних десятилетий активно и повсеместно регистрируется явление антибиотикорезистентности, что является значимой проблемой в клинической и ветеринарной медицине и требует рассмотрения различных подходов ее решения.

ЦЕЛЬ. Охарактеризовать возможность применения флавоноидов в качестве средства для решения проблемы антибиотикорезистентности в животноводстве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Данный обзор охватывает материал научных работ на русском и английском языках из баз данных: PubMed, Springer, ResearchGate, Science Direct, Frontiers, Elibrary. Критерии для включения научной работы в обзор: работа содержит информацию о антибактериальных свойствах флавоноидов, или механизмах действия антибиотиков, или механизмах антибиотикорезистентности, и имеет полнотекстовую версию в открытом доступе.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В данном обзоре проведен анализ 52 научных источников. Определены и описаны антибактериальные свойства разных групп флавоноидов, а также проведено сравнение с известными на данный момент механизмами действия антибиотиков. Рассмотрены процессы формирования антибиотикорезистентности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На основании проведенного анализа можно отметить значимый потенциал флавоноидов как средств, проявляющих бактерицидные и бактериостатические свойства. При этом у некоторых флавоноидов механизмы антибактериального действия отличаются от механизмов действия известных антибиотиков. Можно предположить, что флавоноиды являются перспективным направлением для решения проблемы антибиотикорезистентности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: флавоноиды, антибактериальные свойства, бактерицидные и бактериостатические свойства, антибиотикорезистентность, антибиотики

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-10-21>

The prospect of using flavonoids as a means to solve the problem of antibiotic resistance in veterinary medicine (scoping review)

CORRESPONDENCE:

Radosvet D. Zemlyansky

E-mail: radosvet2001@gmail.com

FOR CITATION:

Zemlyansky R.D.

The prospect of using flavonoids as a means to solve the problem of antibiotic resistance in veterinary medicine (scoping review). *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):10-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-10-21>

RECEIVED: 10.02.2026

REVISED: 19.05.2026

ACCEPTED: 19.05.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Zemlyansky R.D.



Radosvet D. Zemlyansky 

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. The production of livestock products is inextricably linked with the use of various antimicrobial agents. However, inaccurate treatment regimens or improper preventive measures lead to a decrease in the susceptibility of pathogenic microorganisms responsible for the nosological process to antibiotics. Over the past decades, the phenomenon of antibiotic resistance has been actively and widely documented, representing a significant problem in both clinical and veterinary medicine and requiring consideration of various approaches to address it.

AIM. To characterize the potential of using flavonoids as a tool to address the problem of antibiotic resistance in livestock production.

MATERIALS AND METHODS. This review covers scientific works in Russian and English languages retrieved from the following databases: PubMed, Springer, ResearchGate, Science Direct, Frontiers, and Elibrary. The criteria for inclusion of a scientific work in this review were as follows: the work contains information on the antibacterial properties of flavonoids, the mechanisms of action of antibiotics, or the mechanisms of antibiotic resistance; and the full-text version of the work is available in open access.

RESULTS. This review analyzes 52 scientific sources. The antibacterial properties of different flavonoid groups were identified and described, and a comparison was made with the currently known mechanisms of antibiotic action. The processes underlying the development of antibiotic resistance was examined.

CONCLUSION. The analysis showed that flavonoids possess significant potential as agents exhibiting bactericidal and bacteriostatic properties. Moreover, the antibacterial mechanisms of action of certain flavonoids differ from those of known antibiotics. It can be hypothesized that flavonoids represent a promising direction for addressing the problem of antibiotic resistance.

KEYWORDS: flavonoids, antibacterial properties, antibiotic resistance, antibiotics

ВВЕДЕНИЕ

Микробиологическая резистентность к антибиотикам и антибактериальным препаратам является глобальной проблемой XXI века [1–4]. Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения, на момент 2023 г. в 16 % случаев при идентификации в лаборатории возбудителей бактериальных инфекций они характеризуются устойчивостью к антибиотикам¹. Одной из главных причин развития антибиотикорезистентности является чрезмерное применения антибиотиков в животноводстве [5; 6]. Антибиотикотерапия используется в качестве превентивной меры, направленной на предотвращения появления и развития заболеваний, однако при этом в результате мутации генов развивается устойчивость у условно-патогенной микрофлоры организма животного [7; 8]. При этом устойчивость к антибиотикам условно-патогенной микрофлоры, обитающей внутри человека и животных, при заражении может передаваться при помощи плазмид патогенным микроорганизмам, тем самым увеличивая фактор патогенности возбудителей инфекционных заболеваний [9; 10]. У животного может отсутствовать инфекционный процесс, при этом оппортунистические патогены могут обладать антибактериальной устойчивостью, передавая ее оппортунистическим патогенам другого здорового животного при потреблении продуктов животноводства с микроорганизмами, обладающими генами антибиотикорезистентности. Например, при вскармливании либо при попадании продуктов жизнедеятельности в питьевую воду. Очевидно, что при возникновении инфекционного процесса у животного со сниженной устойчивостью к заболеваниям его лечение будет затруднено. Стоит указать, что проблема передачи антибиотикоустойчивости через продукты животноводства касается и человека. В 2022 г. в мясной продукции была идентифицирована *Escherichia coli* с множественной устойчивостью к антибиотикам, на Европейских розничных рынках были обнаружены устойчивые бактерии. Антибиотикорезистентные микроорганизмы при некачественной или специфической обработке продуктов могут попадать и размножаться внутри человеческого организма [5; 8]. Таким образом, антибиотикорезистентность является критической проблемой в ветеринарной и гуманной медицине, требующей систематического мониторинга, а также разработки всевозможных подходов для ее разрешения.

На основании анализа современных научных исследований можно предположить, что одним из подходов решения проблемы антибиотикорезистентности могут являться флавоноиды растений [10–12]. Флавоноиды проявляют различные биологические свойства: антиоксидантные, противовоспалительные, антиканцерогенные, а также антибактериальные [12–14]. Однако стоит отметить, что не все флавоноиды обладают антибактериальными свойствами, и имеются исследования, описывающие вредное влияние на организм [14; 15].

Цель данной работы — охарактеризовать возможность и перспективу применения флавоноидов как средства для решения проблемы антибиотикорезистентности в животноводстве на основании анализа современных исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Данный обзор создан для рассмотрения и распространения одного из подходов для решения проблемы развития антибиотикорезистентности. Материал для обзора предметного поля был взят из научных работ по проблеме исследования, опубликованных в период с 2000 по 2025 г. Был проведен поиск релевантных для обзора источников в базах данных: PubMed, Springer, ResearchGate, Science Direct, Frontiers, Elibrary. Поиск в базах данных осуществлялся по ключевым словам: антибактериальные свойства флавоноидов, бактерицидные свойства флавоноидов, бактериостатические свойства флавоноидов, биологическая активность флавоноидов, антибиотикорезистентность, действие антибиотиков, антибиотики (antibacterial properties of flavonoids, bactericidal properties of flavonoids, bacteriostatic properties of flavonoids, biological activity of flavonoids, antibiotic resistance, antibiotic action, antibiotics). Поиск осуществлялся среди источников на русском и английском языках.

Критерии включения и исключения источников

Критериями для включения научной работы в обзор являлось:

- 1) работа должна содержать информацию о антибактериальных свойствах флавоноидов, или механизмах действия антибиотиков, или о механизмах антибиотикорезистентности;

¹ Global antibiotic resistance surveillance report 2025. World Health Organization. 2025. URL: <https://www.who.int/publications/item/9789240116337>.

- 2) тип публикации — оригинальное исследование;
- 3) работа должна иметь полнотекстовую версию в открытом доступе.

Критерии исключения источников при поиске материала:

- 1) найденные источники не соответствуют теме данного обзора;
- 2) содержание найденной работы дублируется (повторяющиеся источники);
- 3) отсутствует доступ к полному тексту статьи.

Анализ и систематизация данных

Исследование литературных источников осуществлялся поэтапно: 1) анализ антибактериальных свойств флавоноидов; 2) анализ механизма действия разных классов антибиотиков; 3) анализ механизмов антибиотикорезистентности; 4) консолидация и сопоставление данных.

На основании проведенного поиска в базах данных было выявлено 89 источников литературы. Из них было отобрано 52 научные работы, которые в себя включают 37 англоязычных и 16 русскоязычных источников. Схема проведения обзора предметно-

го поля данного исследования, согласно протоколу PRISMA, представлена на рисунке 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика флавоноидов

Флавоноиды — это химические соединения растительного происхождения, состоящие из двух циклических структур, соединенных трехуглеродным фрагментом [13; 14]. Флавоноиды распространены в овощах и фруктах, формируя окраску плодов и цветов растений. Согласно работе Е. Е. Курдюковой и др. [14], в настоящее время можно выделить следующие группы флавоноидов:

- (1) в зависимости от положения бокового фенильного радикала;
- (2) в зависимости от степени окисленности пропанового фрагмента;
- (3) в зависимости от величины или отсутствия гетероцикла [13].

Внутри этих групп выделяют следующие классы: флавоны, флаваны, антоцианы, халконы, ауорны, флаванолы, флаваноны, изофлавоны, флавононолы (рисунок 2).

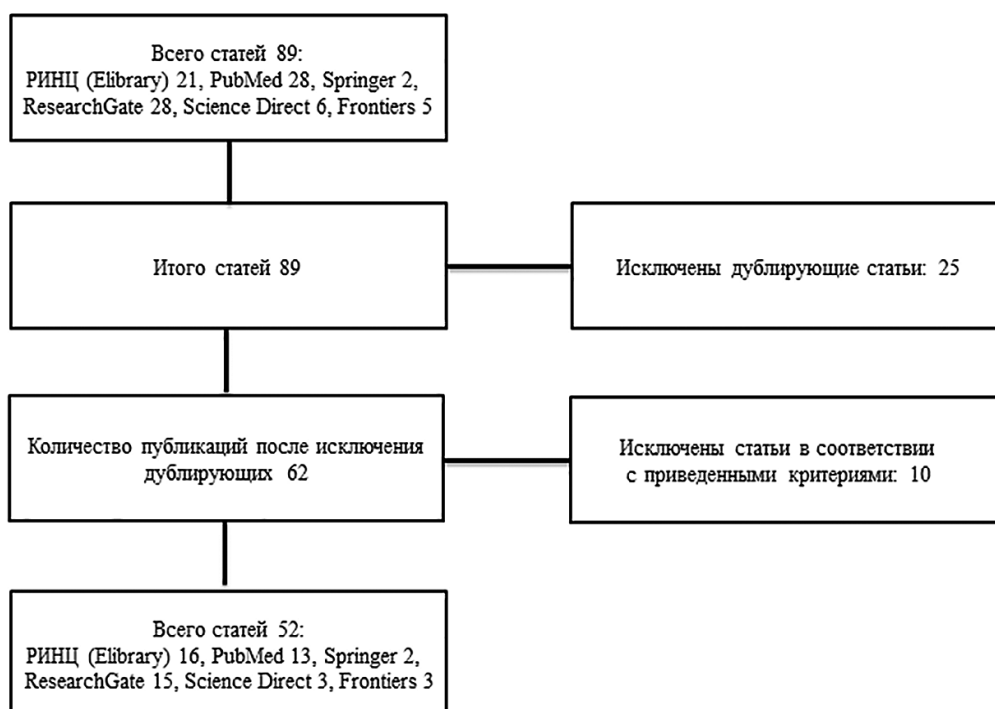


Рисунок 1

Схема исследования в соответствии с протоколом PRISMA

Figure 1

Research design according to the PRISMA protocol

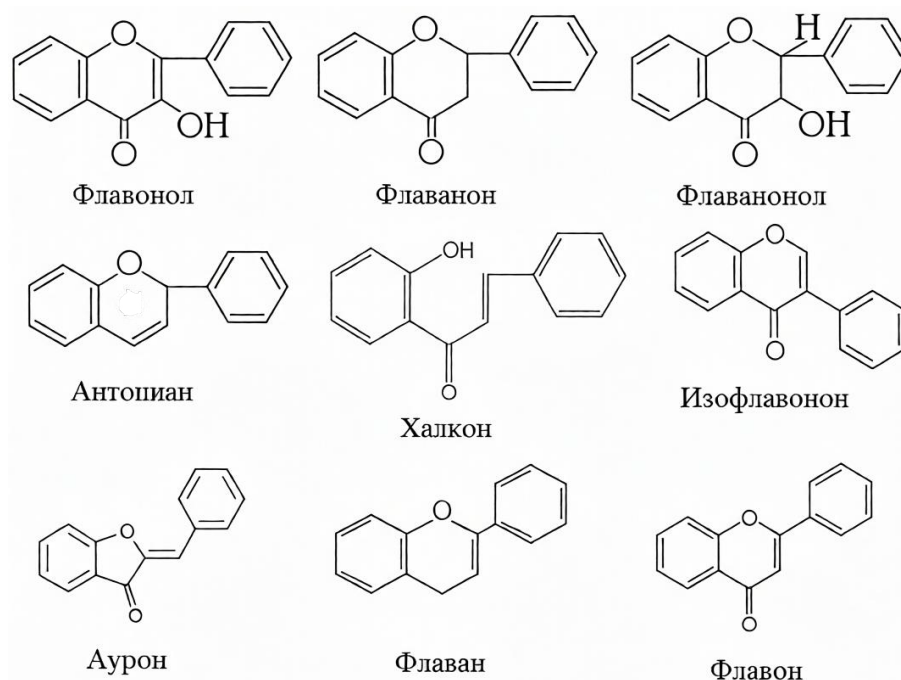


Рисунок 2

Основные группы флавоноидов

Figure 2

The main groups of flavonoids

Таким образом, на данный момент известно о более чем 7000 флавоноидов [13; 14]. При этом в каждом растении имеется свой состав флавоноидов, который различается в зависимости от вегетативной формы и структуры растения, из которых экстрагируются флавоноиды [17; 18].

Антибактериальные свойства флавоноидов

Анализируя ряд международных научных исследований, можно утверждать, что не каждый представитель групп флавоноидов обладает бактерицидными и бактериостатическими свойствами против патогенных микроорганизмов. Однако можно выделить несколько механизмов действия флавоноидов на бактерии [19–21]:

1. Деструкция клеточной стенки и клеточной мембраны — в результате образование ковалентных и водородных связей с белками бактерий.
2. Инактивация ферментативных комплексов, а именно:
 - ферментов, участвующих в переносе моносахаридов клетками бактерий;
 - ферментов, катализирующих реакции, участвующие в образовании мембран и клеточной стенки;

– ферментов, катализирующих синтез АТФ, ДНК и РНК у бактерий.

3. Ингибирование бактериальных токсинов.

Разрушение клеточных мембран бактерий флавоноидами происходит в результате нескольких механизмов, основным является образование химической связи с фосфолипидами и липидами клеточной стенки. В результате взаимодействия флавоноидов катехинов с бактериями происходит реакция окисления с образованием активных форм кислорода, которые изменяют проницаемость и повреждают клеточную стенку. Некоторые флавонолы влияют на порядок и ориентацию липидов в клеточной стенке, что в свою очередь влияет на везикулы в липидных мембранах и вызывает разрушение клеточной стенки. Можно отметить, что липофильные флавоноиды с большим количеством гидроксильных групп сильнее проявляют деструктивные свойства в отношении мембран клеточной стенки бактерий [20; 21].

При исследовании антибактериальных свойств флавоноидов ряд исследователей отметили инактивацию ферментативных комплексов бактерий, в результате чего нарушалась жизнедеятельность и размножение патогенной микрофлоры. Некоторые флаваноны ингибируют 3-гидроксиацил-АСР-дегидразу и 3-кетацил-АСР-синтазу, маланил-КоА-а-

цилпереноса белок трансацилазы, кетоацилредуктазу, эноил-АСР редуктазу [22]. Перечисленные ферменты относятся к синтазам жирных кислот второго типа, которые специфичны для клеточных оболочек прокариот — бактерий. Ингибирование флавоноидами синтаз жирных кислот второго типа без влияния на синтазы жирных кислот первого типа, которые более распространены в клетках животных, подчеркивает перспективность бактерицидного применения флавоноидов вследствие отсутствия негативного влияния на эукариотические клетки животных [20; 22; 23].

Флаванолы ингибируют действие топоизомеразы — ДНК-гиразы, в результате чего наблюдается нарушение репликации ДНК прокариот и прекращение размножения микробных клеток. Флаванолы — лютеолин, морин, мирицетин — воздействуют на ферменты, участвующие в перестраивании нуклеиновых кислот — геликазы, в результате чего также нарушается репликация ДНК бактерий [20; 21]. Стоит отметить, что по результатам, полученным исследователями в США и Японии, кверцетин и мирицетин значительно блокировали транскриптазы и теломеразы вирусов — гриппа и лейкоза [22; 23].

Некоторые халконы влияют на активность бактериальной НАДН-цитохром-с-редуктазы и кофактора, нарушая перенос электронов в плазматической мембране клеток, в результате чего происходит прекращение синтеза АТФ в процессе катаболизма клеток. Помимо влияния на перенос электронов часть флаванолов, согласно исследованию Н. Чинаму и др. [28], подавляет АТФ-синтазу микробов, вследствие чего клетки не синтезируют и не гидролизуют молекулы АТФ [24].

Одним из важных факторов, который прослеживается в воздействии флавоноидов — флаванолов на патогенные микроорганизмы, является репрессия токсинов, таких как гиалуронидазы, увеличивающей контагиозность у вирулентных патогенов. В исследовании И. Саканэ и др. [29] описывают блокировку флавоноидом генистеином ботулинистического нейротоксина и гемолизина, которые оказывают негативное влияние на гомеостаз и жизнедеятельность организма, в том числе приводя к летальному исходу.

Механизмы действия антибиотиков

Анализируя возможность применения флавоноидов, в качестве одного из подходов решения про-

блемы антибиотикорезистентности целесообразно сравнить известные механизмы действия на микроорганизмы антибиотиков. Так, в настоящее время используются антибиотики со следующими механизмами действия на патогенные микроорганизмы [30]:

- 1) антибиотики — ингибиторы рибосомного синтеза белка;
- 2) антибиотики — ингибиторы синтеза клеточной стенки бактерий;
- 3) антибиотики, нарушающие функции клеточных мембран;
- 4) антибиотики, ингибирующие синтез нуклеиновых кислот;
- 5) антибиотики — ингибиторы ферментов.

Антибиотики из первой группы проявляют свой механизм в результате воздействия положительного заряда на клеточную стенку, они проникают в бактериальную клетку и соединяются водородной связью с разными субъединицами рибосомальной РНК: на 30-ю субъединицу воздействуют аминогликозиды и тетрациклины; на 50-ю субъединицу — макролиды, оксазолидоновые антибиотики и хлорамфениколы. В результате взаимодействия антибиотиков с субъединицей бактериальной клетки происходит нарушение синтеза белка, что подавляет рост и размножение бактериальной клетки [31; 33].

Антибиотики по функции ингибирования синтеза клеточной стенки, такие как пенициллины и цефалоспорины со структурой бета-лактамного кольца, воздействуют на пептидогликан клеточной стенки бактерий, тем самым нарушая его целостность, в результате чего клетка теряет свою структуру и разрушается. Они взаимодействуют с ферментами — транспептидазами, участвующими в соединении N-ацетилглюкозамина с N-ацетилмурамовой кислотой, в результате чего не формируется пептидогликан. Также имеются гликопептидные антибиотики, вступающие в водородную химическую реакцию с пептидным фрагментом пептидогликана, что прерывает объединение составляющих клеточной стенки.

Антибиотики третьей группы — полимиксины — связываются с липополисахаридом внешней мембраны бактерий, что нарушает ее целостность и характеризуется ее разрушением [31; 32].

Многие антибиотики направлены на ингибирование бактериальных ферментов. Механизмом бактерицидного действия фторхинолоновых анти-

биотиков является образование комплексов с топоизомеразами бактериальной клетки, в том числе и с ДНК-гиразой, вследствие чего ингибируется репликация ДНК и нарушается размножение микроорганизма [9; 33; 34].

Подавление у бактерии ферментов синтеза фолиевой кислоты вызывают сульфаниламидные антибиотики. В результате нарушения метаболизма фолиевой кислоты замедляется рост и размножение клетки, что характеризуется бактериостатическим действием данной группы антибиотиков [33; 36].

В последние десятилетия ряд ученых рассматривают возможность создания антибактериальных средств для ингибирования ферментов — синтаз жирных кислот второго типа. На данный момент в использовании имеются несколько препаратов, к примеру, такие как триклозан (антисептик) и изониазид (противотуберкулезное средство) [37; 38].

Механизмы развития антибиотикорезистентности у микроорганизмов

Несмотря на широкий ассортимент антибиотиков и возможность применения разных групп на возбудитель конкретной инфекционной нозологии, можно констатировать, что в настоящее время начинает распространяться явление антибиотикорезистентности. Она развивается у бактерий в результате следующих процессов: инактивации антибиотика бактериальным ферментом; трансформации молекул-мишеней антибиотиков; ограничения накоплений и снижения проницаемости клеточных стенок [8; 9; 29].

Инактивация антибиотиков ферментами осуществляется в результате воздействия фермента на специфичную для антибиотика мишень. К таким ферментам относятся аминогликозид-модифицирующие ферменты, блокирующие воздействие на рибосомальные субъединицы таких антибиотиков, как аминогликозиды и фторхинолоны. Обратное действие, влияние непосредственно фермента на антибиотик, характерно для хлорамфеникол-ацетилтрансферазы, которая воздействует на хлорамфеникол, в результате которого хлорамфеникол не может воздействовать на мишень. Наличие у микроорганизмов фермента бета-лактамазы, расщепляющего амидную связь в структуре антибиотиков бета-лактамного строения, является ключевым механизмом устойчивости к этой группе препаратов [8; 33; 35].

При изменении мишени — антибиотиков — препараты, поступающие в патогенную клетку, перестают

выполнять свои функции. Таким образом модифицируются рибосомальные субъединицы, рибосомы, ДНК, ферменты бактерий при применении антибиотиков аминогликозидов, тетрациклинов, макролидов, фторхинолонов. Изменение структуры ферментов происходит в транспептидазах некоторых бактерий, что проявляется устойчивостью к антибиотикам бета-лактамам [39]. Применение препаратов хинолонового ряда может повлиять на изменения спирализации топоизомераз и ДНК-гираз, нарушая тем самым антимикробный механизм действия, основанный на влиянии на данные ферменты [31; 43].

Ограничение проникновения и накопления антибиотиков в бактериальных клетках связано с механизмами: пориновых каналов у бактерий, которые снижают количество попадаемых молекул антибиотика в микробную клетку; активной работы эффлюксных насосов цитоплазматической мембраны, выводящих препарат из клетки [44; 45].

Развитие антибиотикорезистентности связано с попаданием антибиотика в одну микробную клетку и развитием у данной клетки устойчивости, далее в определенных условиях происходят мутации и изменения наследственного материала, при котором не происходит деструкция клетки, но в результате ряда факторов возникают генетические изменения, которые передаются дочерним клеткам при делении [43; 45]. Помимо вертикального механизма передачи фактора резистентности среди микроорганизмов значительное влияние оказывает горизонтальный путь передачи устойчивости к препаратам. Так, антибиотикорезистентность среди бактерий распространяется R-плазмидами, транспозонами и инсерционными последовательностями при конъюгации ДНК, с последующей трансформацией [44–46]. Исследование индийских ученых показало пример развития и распространения антибиотикорезистентности у грамотрицательных бактерий в результате воздействия на клетку не только антибиотиков, но и тяжелых металлов [47].

Анализ антибактериального действия флавоноидов и антибиотиков

Консолидируя описанные ранее данные, можно для наглядного сравнения составить упрощенную таблицу для анализа антибактериального действия флавоноидов (таблица 1).

Таблица 1

Анализ антибактериального действия флавоноидов и антибиотиков

Table 1

Analysis of the antibacterial effect of flavonoids and antibiotics

Механизм антибактериального действия	
Антибиотики	Флавоноиды
Ингибирование биосинтеза белка и синтеза клеточной стенки	Ингибирование биосинтеза белка и синтеза клеточной стенки
Нарушение репликации ДНК и РНК	Нарушение репликации ДНК
Деструкции клеточной оболочки в результате образования ковалентных и водородных связей с белками бактерий	Деструкции клеточной оболочки в результате образования ковалентных и водородных связей с белками бактерий
Подавление синтеза фолиевой кислоты	—
Инактивация ферментативных комплексов, участвующих в переносе моносахаридов клетками бактерий	Инактивация ферментативных комплексов, участвующих в переносе моносахаридов клетками бактерий
Ингибирование бактериальных синтаз жирных кислот II типа	Ингибирование флавоноидами бактериальных синтаз жирных кислот II типа
Опосредованное влияние на конфигурацию липидов в бактериальной клетке посредством взаимодействия с другими структурами	Прямое изменение конфигурации липидов в бактериальной клетке
—	Взаимодействие с бактериальной НАДН-цитохром-с-редуктазой
Ингибирование бактериальных токсинов	Ингибирование бактериальных токсинов

Стоит отметить, что таблица 1 представлена для прослеживания возможных перспектив антибактериального действия флавоноидов. В таблице не уточняются конкретные виды антибиотиков и флавоноидов, лишь сравнивается общий характер действия, который описан на основании изученного материала. Таким образом, анализируя найденный материал, можно утверждать, что среди источников информации не было найдено упоминания подавления флавоноидами синтеза фолиевой кислоты, а также воздействия на рибосомальные субъединицы РНК. Тем не менее, рассматривая имеющиеся данные по антибактериальным свойствам, можно сделать вывод, что флавоноиды обладают широким спектром бактерицидного и бактериостатического действия на микроорганизмы, из которых можно выделить антибактериальный, отличающийся в сравнении с указанными в обзоре группами антибиотиков взаимодействием с бактериальной НАДН-цитохром-с-редуктазой.

Флавоноиды обладают перспективными антибактериальными механизмами: непосредственное влияние на изменения конфигурации липидов в бактериальной клетке; воздействие на синтазы жирных кислот второго типа, которые специфичны для прокариот и менее специфичны для ядерных клеток животных; воздействие на геликазы,

участвующие в перестраивании нуклеиновых кислот [48]. Также можно подчеркнуть ингибирование флавоноидами бактериальных токсинов, что не характерно для всех групп антибиотиков, которые при этом сами могут оказывать токсическое действие [49]. Отдельно стоит выделить влияние некоторых групп флавоноидов на транскриптазу и теломеразы вирусов.

Различные группы флавоноидов, которые экстрагированы из одного растения, могут воздействовать сразу несколькими вариантами антибактериальным действия на микробную клетку, а также в пределах одной группы могут проявляться несколько бактерицидных факторов, приводящих к деструкции клеток патогенных возбудителей. В сравнении, несколько антибиотиков разных классов крайне редко назначают одновременно для лечения животного, так как в результате взаимодействия, они могут ингибировать и нивелировать действие друг друга. При этом на организм больного животного будет оказываться значительное токсическое действие со стороны нескольких антибиотиков [48–50]. Флавоноиды, согласно проанализированным исследованиям, проявляют при попадании в организм антитоксическое, антиканцерогенное, антиоксидантное действие, что стимулирует иммунитет и реактивность организма [12–15; 47; 48]. Стоит ука-

зять, что о влиянии введения значительного количества флавоноидов на протяжении длительного периода в организм животного в ходе написания данной работы данных не было обнаружено. Таким образом, сложно однозначно утверждать, что использование флавоноидов как бактерицидных и бактериостатических веществ превосходит используемые в настоящее время антибиотики. Тем не менее с точки зрения возможности развития аллергии при использовании высокой концентрации флавоноидов можно обратить внимание, что на основании исследования Ч. Сальваторе и др. [16] прослеживается супрессивное воздействие на развитие аллергических реакций при использовании флавоноидов на примере кверцетина [51; 52].

Бактерицидное и бактериостатическое действие флавоноидов также может оказывать деструктивное влияние на нормальную микрофлору пищеварительной системы животного, что, конечно, является негативным фактором. Тем не менее данное явление характерно и для современных антибиотиков.

На основании проанализированного материала, флавоноиды в отличие от современных используемых антибиотиков теоретически могут игнорировать такие факторы антибиотикорезистентности, как модификацию рибосомальных единиц, фер-

ментов, разрушающих антибиотики — транспептидаз, хлорамфеникол-ацетилтрансфераз, бета-лактамаз и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный обзор продемонстрировал, что флавоноиды растений могут являться средством, используемым для решения проблемы антибиотикорезистентности в животноводстве. Это связано с тем, что известные на данный момент механизмы бактерицидного и бактериостатического действия флавоноидов имеют отличия от механизмов современных, используемых антибиотиков, а также с тем, что флавоноиды могут сразу воздействовать на несколько структур бактерий. В обзоре описаны механизмы антибактериального действия флавоноидов, которые гипотетически можно использовать для игнорирования некоторых механизмов развития антибиотикорезистентности у бактерий. Стоит отметить, что на основании проанализированного материала можно предположить, что флавоноиды могут иметь перспективу для использования в качестве противовирусного средства и средства для ингибирования токсинов бактерий при токсикозах и токсикоинфекциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Марийко В.А., Марийко В.В. Современное состояние проблемы антибиотикорезистентности. *Вестник новых медицинских технологий*. 2025;3:147-159. <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2025-3-3-4>
Mariyko V.A., Mariyko V.V. The currant state of the problem of antibiotic resistance (literature review). *Bulletin of New Medical Technologies*. 2025;3:147-159. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2075-4094-2025-3-3-4>
2. Dogan A. The problem of resistance in antibiotics and new treatments. *Health Science*. 2022;47
3. Gootz T.D. The global problem of antibiotic resistance. *Critical Reviews in Immunology*. 2010;30:79-93. <https://doi.org/10.1615/critrevimmunol.v30.i1.60>
4. Zhen X., Lumdborg C.S., Sun X. et al. The clinical and economic impact of antibiotic resistance in China: A systematic review and meta-analysis. *Antibiotics*. 2019;8(3):115. <https://doi.org/10.3390/antibiotics8030115>
5. Caneschi A., Bardhi A., Barbarossa A. et al. The use of antibiotics and antimicrobial resistance in veterinary medicine, a complex phenomenon: a narrative review. *Antibiotics*. 2024;12(3):487. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030487>
6. Шульга Н.Н., Шульга И.С., Плавшак Л.П. К проблеме антибиотиков в продуктах животноводства. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017;4(44):150-156.
Shulga N.N., Shulga I.S., Plavshak L.P. Re: antibiotics in livestock products. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2017;4(44):150-156. (In Russ.)
7. Великанов В.В., Гласкович М.А. Нормированное использование антибиотиков в животноводстве. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. 2025;28(2):251-260.

- Velikanov V.V., Glaskovich M.A. Standardized use of antibiotics in animal husbandry. *Actual Problems of Intensive Development of Animal Husbandry*. 2025;28(2):251-260. (In Russ.)
8. Ковалева Е.В., Бочарова К.А., Иванова А.А. и др. Механизмы формирования и распространения резистентности бактерий к противомикробным препаратам. *Биология и интегративная медицина*. 2025;1:394-410.
Kovaleva E.V., Bocharova K.A., Ivanova A.A. et al. Mechanisms of formation and spread of bacterial resistance to antimicrobial drugs. *Biology and Integrative Medicine*. 2025;1:394-410. (In Russ.)
9. Зубарева В.Д., Соколова О.В., Безбородова Н.А. и др. Молекулярные механизмы и генетические детерминанты устойчивости к антибактериальным препаратам у микроорганизмов. *Сельскохозяйственная биология*. 2022;2:237-256. <https://doi.org/10.153/agrobiology.2022.2.237>
Zubareva V.D., Sokolova O.V., Bezborodova N.A. et al. Molecular mechanisms and genetic determinants of resistance to antibacterial drugs in microorganisms (review). *Agricultural Biology*. 2022;2:237-256. (In Russ.) <https://doi.org/10.153/agrobiology.2022.2.237>
10. Li I., Zhang T. Plasmid-mediated antibiotic resistance gene transfer under environmental stresses: Insights from laboratory-based studies. *Science of the Total Environment*. 2023;887:163870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163870>
11. Song L., Hu X., Ren. X. et al. Antibacterial modes of herbal flavonoids combat resistant bacteria. *Front. Pharmacology. Sec. Pharmacology of Infections Diseases*. 2022;13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.873374>
12. Соленова Е.А., Величковская Л.Н. Флавоноиды. Перспективы применения в антимикробной терапии. *Acta Medica Eurasica*. 2017;3(23):56-62.
Solenova E.A., Velichkovskaya L.N. Flavonoids. Prospects of their use in antimicrobial therapy. *Acta Medica Eurasica*. 2017;3(23):56-62. (In Russ.)
13. Ekalu A., Habila J.D. Flavonoids: isolation, characterization and health benefits. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2020;9:45. <https://doi.org/10.1186/s43088-020-00065-9>
14. Курдюков Е.Е., Плешакова Д.А., Глебова Н.Н. и др. Флавоноиды: классификация, биологические свойства и перспективы использования в медицине. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023;11(137). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.143>
Kurdyukov E.E., Pleshakova D.A., Glebova N.N. et al. Flavonoids: classification, biological properties and prospects of use in medicine. *International Scientific Research Journal*. 2023;11(137). (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.143>
15. Firenzuoli F., Gori L., Crupi A., Neri D. Risks or therapeutic opportunities? *Recenti Progressi in Medicina*. 2004;95(7-8):345-351. <https://doi.org/10.1701/42.349>
16. Chirumbolo S., Marzotto M., Conforti A. et al. Bimodal action of the flavonoid quercetin on basophil function: an investigation of the putative biochemical targets. *Clinical and Molecular Allergy*. 2010;8(13). <https://doi.org/10.1186/1476-7961-8-13>
17. Людмила В.Н., Наталья В.З. Биофлавоноиды высших растений. *Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки*. 2023;4:22-37. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.52.4.02>
Lyudmila V.N., Natalia V.Z. Bioflavonoids of higher plants. *Bulletin of the Moscow State Pedagogical University. Series: Natural Sciences*. 2023;4:22-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.52.4.02>
18. Dias M.C., Pinto D.C.G., Silva A.M.S. Plant flavonoids: chemical characteristics and biological activity. *Molecules*. 2021;26(17):5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
19. Farhadi D., Khameneh B., Iranshahi M. et al. Antibacterial activity of flavonoids and their structure—activity relationship: An update review. *Phytotherapy Research*. 2018;33(1):13-40. <https://doi.org/10.1002/ptr.6208>
20. Gorniak I., Bartozewski R., Kroliczewski J. Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids. *Phytochemistry Reviews*. 2019;18:241-272. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9591-z>
21. Chen H., Yu W., Chen G. et al. Antinociceptive and antibacterial properties of anthocyanins and flavonols from fruits of black and non-black mulberries. *Molecules*. 2017;23(1):4. <https://doi.org/10.3390/molecules23010004>
22. Echeverría J., Opazo J., Mendoza L. et al. Structure-activity and lipophilicity relationships of selected antibacterial natural flavones and flavanones of Chilean flora. *Molecules*. 2017;22(4):608. <https://doi.org/10.3390/molecules22040608>

23. Chen J., Zhuang D., Cai W. et al. Inhibitory effects of four plants flavonoids extract on fatty acid synthase. *Journal of Environmental Sciences*. 2009;21:131-134. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60056-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60056-5)
24. Jiadai Z., Shucheng L., Lin F. et al. Structural modification and antibacterial property studies of natural chalcone sanjuanolide. *Frontiers in Chemistry. Sec. Medicinal and Pharmaceutical Chemistry*. 2022;5:10. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.959250>
25. Nur F.S., Qamar U.A., Syed M. et al. Antibacterial effects of flavonoids and their structure-activity relationship study: a comparative interpretation. *Molecules*. 2022;27(4):1149. <https://doi.org/10.3390/molecules27041149>
26. Griep M.A., Blood S., Larson M.A. et al. Myricetin inhibits Escherichia coli DnaB helicase but not primase. *Biorganic & Medicinal Chemistry*. 2007;15(22). <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2007.07.057>
27. Ono K., Nakane H., Fukushima M. et al. Differential inhibitory effects of various flavonoids on the activities of reverse transcriptase and cellular DNA and RNA polymerases. *European Journal of Biochemistry*. 1990;190(3):496-476. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1990.tb15597.x>
28. Chinnam N., Dadi P.K., Sabri S.A. et al. Dietary bioflavonoids inhibit Escherichia coli ATP synthase in a differential manner. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2010;46(5):478-486. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.03.009>
29. Sawamura S., Sakane I., Ishii T. Isolation and determination of antidotes for botulinum neurotoxin from black tea extract. *Folia Pharmacologica Japonica*. 2022;120(1):116-118.
30. Олсуфьева Е.Н., Янковская В.С. Анализ проблемы антибиотикорезистентности в агропромышленном комплексе. *Антибиотики и химиотерапия*. 2024;69(9-10):108-132. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-9-10-108-132>
Olsufyeva E.N., Yankovskaya V.S. Analysis of the Problem of Antibiotic Resistance in the Agro-Industrial Complex. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2024;69(9-10):108-132. (In Russ.) <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-9-10-108-132>
31. Булгакова В.Г., Виноградова К.А., Орлова Т.И. и др. Действие антибиотиков как сигнальных молекул. *Антибиотики и химиотерапия*. 2014;59(1-2):36-43.
Bulgakova V.G., Vinogradova K.A., Orlova T.I. et al. The effect of antibiotics as signaling molecules. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2014;59(1-2):36-43. (In Russ.)
32. Halawa E.M., Fadel M., Al-Rabia M. W. et al. Antibiotic action and resistance: updated review of mechanisms, spread, influencing factors, and alternative approaches for combating resistance. *Frontiers in Pharmacology. Sec. Pharmacology of Infectious Diseases*. 2023;14. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1305294>
33. Алехин Е.К. Как действуют антибиотики. Соросовский образовательный журнал. 2000;6:19-23. Alekhine E.K. How antibiotics work. Soros Educational Journal. 2000;6:19-23. (In Russ.)
34. Moubareck C.A. Polymyxins and bacterial membranes: a review of antibacterial activity and mechanisms of resistance. *Membranes*. 2020;10(8):181. <https://doi.org/10.3390/membranes10080181>
35. Бисекенова А.Л., Рамазанова Б.А., Адамбеков Д.А. и др. Молекулярные механизмы резистентности грамотрицательных микроорганизмов — возбудителей инфекций к бета-лактамам антибиотикам. *Вестник КазНМУ*. 2015;3:223-227.
Bisekenova A.L., Ramazanova B.A., Adambekov D.A. et al. Molecular mechanisms of resistance of gram — negative microorganisms that cause infections to beta-lactam antibiotics. *Bulletin of KazNMU*. 2015;3:223-227. (In Russ.)
36. Sarkar P., De K., Modi M. et al. Next-generation membrane-active glycopeptide antibiotics that also inhibit bacterial cell division. *Chemical Science*. 2023;14(2). <https://doi.org/10.1039/D2SC05600C>
37. Wang J., Ye X., Yang X. et al. Discovery of novel antibiotics as covalent inhibitors of fatty acid synthesis. *ACS Chemical Biology*. 2020;15(7):1826-1834. <https://doi.org/10.1021/acscchembio.9b00982>
38. Kodali S., Galgoci A., Young K. et al. Determination of selectivity and efficacy of fatty acid synthesis inhibitors. *Journal of Biological Chemistry*. 2005;280(2). <https://doi.org/10.1074/jbc.M406848200>
39. Полищук А.В., Карасева Э.Т., Карасев В.Е. Механизм биокаталитических процессов с участием фторхинолонов в бактериях. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2010;5:138-142.
Polishchuk A.V., Karaseva E.T., Karasev V.E. The mechanism of biocatalytic processes involving fluoroquinolones in bacteria. *Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2010;5:138-142. (In Russ.)

40. Redgrave L.S., Sutton S.B., Webber M.A. et al. Fluoroquinolone resistance: mechanisms, impact on bacteria, and role in evolutionary success. *Trends Microbiology*. 2014;8:438-445. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.04.007>
41. Tacic A., Nikolic V., Nikolic L. et al. Antimicrobial sulfonamide drugs. *Advanced technologies*. 2017;6(1):58-71. <https://doi.org/10.5937/savteh1701058T>
42. Sodhi K.K. Singh C.K. Recent development in the sustainable remediation of antibiotics: A review. *Total Environment Research Themes*. 2022;3-4(1):1000008. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2022.100008>
43. Darby E.M., Trampari E., Siasat P. et al. Molecular mechanisms of antibiotic resistance revisited. *Nature Reviews Microbiology*. 2023;21(5):280-295. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00820-y>
44. Веденеев П.А., Бюлер А.В., Лебедева И.А. и др. Причины появления, механизмы, скорость развития, пути распространения и последствия устойчивости к антибиотикам. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2025;3:579-603. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1131>
Vedeneev P.A., Buhler A.V., Lebedeva I.A. et al. Causes of occurrence, mechanisms, rate of development, ways of spreading and consequences of antibiotic resistance. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2025;3:579-603. (In Russ.) <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1131>
45. Grebenev D.R., Popova O.S. Antibiotic resistance in veterinary medicine: the relevance of the problem. *Journal of Agriculture and Environment*. 2025;11(63). <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.63.7>
46. Shree P., Singh C. K., Sodhi K. et al. Biofilms: understanding the structure and contribution towards bacterial resistance in antibiotics. *Medicine in Microecology*. 2022;16(5):100084. <https://doi.org/10.1016/j.medmic.2023.100084>
47. Sodhi K.K., Singh C.K., Kumar M. Whole-genome sequencing of *alcaligenes* sp. Strain MMA: insight into the antibiotic and heavy metal resistant genes. *Frontiers in Pharmacology. Sec. Experimental Pharmacology and Drug Discovery*. 2023;14:1144561. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1144561>
48. Hirsch J., Klostermeier D. What makes a type IIA topoisomerase a gyrase or a Topo IV? *Nucleic Acids Research*. 2021;49(11). <https://doi.org/10.1093/nar/gkab270>
49. Данилевская Н.В., Субботин В.В. О некоторых последствиях длительной антибактериальной терапии. *Journal of Small Animal Practice. Российское издание*. 2012;3:56-57.
Danilevskaya N.V., Subbotin V.V. On some consequences of prolonged antibacterial therapy. *Journal of Small Animal Practice. Russian Publication*. 2012;3:56-57. (In Russ.)
50. Можокина Г.Н., Самойлова А.Г. Нейротоксические побочные эффекты антимикробных и противотуберкулезных препаратов. *Антибиотики и химиотерапия*. 2020;5-6:78-84. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2020-65-5-6-78-82>
Mozhokina, G.N., Samoilova A.G. Neurotoxic side effects of antimicrobial and anti-tuberculosis drugs. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2020;5-6:78-84. (In Russ.) <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2020-65-5-6-78-82>
51. Brasiel P.G. de A, Guimaraes F.V., Silva P. M. R. et al. Therapeutic Efficacy of Flavonoids in Allergies: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Journal of Immunology Research*. 2022;1:8191253. <https://doi.org/10.1155/2022/8191253>
52. Wenlong Z., Qin G., Xiaoua Z. et al. The flavonoid-allergen interaction and its influence on allergenicity. *Food Bioscience*. 2024;61:104939. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104939>

Сведения об авторе

Землянский Радосвет Дмитриевич —

аспирант, ассистент кафедры эпизоотологии, микробиологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0142-9955>

SPIN-код: 9227-1691

radosvet2001@gmail.com

About the authoer

Radosvet D. Zemlyansky —

Postgraduate Student, Assistant, Department of Epizootology, Microbiology, Parasitology and Veterinary and Sanitary Expertise, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0142-9955>

radosvet2001@gmail.com

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-22-32>

Прогноз заболеваемости бруцеллезом крупного рогатого скота в Кабардино-Балкарской Республике с использованием методов декомпозиции временных рядов и пространственного анализа

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Аминат Жагафаровна Хитиева
E-mail: aminkahitieva@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Хитиева А.Ж., Тебуев А.Х.
Прогноз заболеваемости бруцеллезом крупного рогатого скота в Кабардино-Балкарской Республике с использованием методов декомпозиции временных рядов и пространственного анализа. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):22-32. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-22-32> EDN GSHNRI

ПОСТУПИЛА: 26.03.2026

ДОРАБОТАНА: 18.05.2026

ПРИНЯТА: 01.06.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Управления ветеринарии КБР и ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» за предоставленные данные и содействие в проведении исследования.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках плановой научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова».

COPYRIGHT: © 2026 Хитиева А.Ж.,
Тебуев А.Х.



А.Ж. Хитиева , А.Х. Тебуев

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
им. В. М. Кокова, Нальчик, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Бруцеллез крупного рогатого скота остается значимой зоонозной угрозой в регионах с развитым животноводством, включая Северный Кавказ. Изменение климата и пространственная неоднородность требуют комплексных прогностических моделей, учитывающих комплекс различных факторов.

ЦЕЛЬ. Разработать практико-ориентированную прогностическую модель, интегрирующую долгосрочные управленческие тренды, краткосрочные климатические колебания и пространственную дифференциацию рисков в условиях вертикальной зональности Кабардино-Балкарской Республики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Анализ временных рядов заболеваемости (2000–2024 гг.) проведен с использованием декомпозиции тренда и метеорологических предикторов (температура, осадки, скорость ветра и влажность). Применены корреляционный и регрессионный анализ, метод декомпозиции временных рядов decSARIMA, кригинг-интерполяция, кросс-валидация.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Коэффициент детерминации финальной модели составил $R^2 = 0,84$, средняя ошибка прогноза на независимой выборке — 0,16 в пересчете на 10 000 обследованных животных. Кросс-валидация подтвердила устойчивость (средняя абсолютная ошибка, MAE = 0,18–0,21). Выявлена пространственная неоднородность рисков: предгорная зона (600–1200 м над уровнем моря) характеризуется в 2,3 раза более высоким риском по сравнению с равниной. Сезонные пики: май – июнь (+35 %), октябрь – ноябрь (+28 %). Прогноз на 2025: 11–12 случаев на 10 000 обследованных (95 % доверительный интервал).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанная модель сочетает устойчивый годовой прогноз с пространственной дифференциацией рисков и анализом сезонных механизмов влияния погоды. Экономическая оценка показывает, что затраты на профилактику в зонах прогнозируемого риска в 4–6 раз ниже. Затраты на профилактику в 4–6 раз ниже потерь от вспышек. Модель может служить дополнительным инструментом поддержки принятия решений для ветеринарной службы Кабардино-Балкарской Республики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бруцеллез КРС, прогностическая модель, климатические факторы, пространственный анализ, ГИС-технологии, декомпозиция временных рядов, экономическая эффективность

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-22-32>

Prediction of bovine brucellosis incidence in the Kabardino-Balkarian Republic using time series decomposition and spatial analysis methods

CORRESPONDENCE:

Aminat Zh. Khitieva

E-mail: aminkahitieva@mail.ru

FOR CITATION:

Khitieva A.Zh., Tebuev A.Kh.
Prediction of bovine brucellosis incidence in the Kabardino-Balkarian Republic using time series decomposition and spatial analysis methods. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):22-32. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-22-32>

RECEIVED: 26.03.2026

REVISED: 18.05.2026

ACCEPTED: 01.06.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their gratitude to the staff of the Kabardino-Balkarian Veterinary Department and the North Caucasus Hydrometeorological Center for providing data and assistance in conducting the study.

FUNDING

The study was conducted as part of the planned research work of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov

COPYRIGHT: © 2026 Khitieva A.Zh., Tebuev A.Kh.



Aminat Zh. Khitieva , Azamat Kh. Tebuev

Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Bovine brucellosis remains a significant zoonotic threat in the North Caucasus. Climate change and spatial heterogeneity require integrated predictive models.

AIM. To develop a practice-oriented predictive model incorporating long-term management trends, short-term climatic fluctuations, and spatial risk differentiation for the Kabardino-Balkarian Republic.

MATERIALS AND METHODS. Time series analysis of incidence (2000–2024) was applied using decSARIMA decomposition, correlation and regression analysis, kriging interpolation, cross-validation.

RESULTS. The model achieved a determination coefficient $R^2 = 0.84$. The mean forecast error on an independent test sample was 0.16 per 10,000 examined animals. Cross-validation confirmed model stability with a mean absolute error (MAE) ranging from 0.18 to 0.21. Spatial heterogeneity in risk was identified: the foothill zone (600–1200 m above sea level) exhibited a 2.3-fold higher risk compared to the plain. Seasonal peaks were observed in May–June (+35%) and October–November (+28%). The forecast for 2025 is 11–12 cases per 10,000 examined animals (95% confidence interval).

CONCLUSION. The developed model combines robust annual forecasting with spatial risk differentiation and analysis of the seasonal mechanisms of weather influence. Economic assessment shows that the costs of preventive measures in areas with predicted risk are 4–6 times lower than the losses from disease outbreaks. This model can serve as an additional decision-support tool for the veterinary service of the Kabardino-Balkarian Republic.

KEYWORDS: bovine brucellosis, prognostic model, climatic factors, spatial analysis, GIS, time series decomposition, economic efficiency

ВВЕДЕНИЕ

Бруцеллез — особо опасная зоонозная инфекция, актуальная для ветеринарии и здравоохранения. Из 12 видов *Brucella* эпизоотологическую значимость для крупного рогатого скота (далее — КРС) имеют три: *B. abortus*, *B. melitensis*, *B. suis*. Остальные виды не опасны для сельскохозяйственных животных [1; 2].

Экономические потери значительны: затраты на борьбу, снижение продуктивности, потери приплода [3]. Заражение происходит преимущественно алиментарным путем [1; 4]. Возбудитель *Brucella* сохраняется в почве, воде и навозе до 4 месяцев [5].

В глобальном масштабе бруцеллез остается одной из наиболее распространенных зоонозных инфекций [6]. Страны Европейского Союза (ЕС) реализуют долгосрочные программы по искоренению бруцеллеза, основанные на массовой вакцинации, строгом контроле перемещения скота и оздоровлении неблагополучных хозяйств. В Соединенных Штатах Америки (США) и Канаде благодаря многолетним программам удалось значительно снизить заболеваемость, однако инфекция продолжает регистрироваться в зоне Йеллоустоуна, где резервуаром служат дикие бизоны и лоси [7]. Экосистемный подход к контролю бруцеллеза, учитывающий контакты домашних и диких животных, предложен в работе Годфرويد и др. [8]. В странах Африки южнее Сахары бруцеллез остается одной из главных причин экономических потерь в животноводстве [9]. Проблема реэмергенции бруцеллеза в ряде регионов мира обсуждается в обзоре Seleem с соавт. [10]. В развивающихся странах (Латинская Америка, Юго-Восточная Азия) проблема бруцеллеза также стоит остро: диагностика и вакцинация часто недоступны для мелких производителей [11; 12].

Анализ заболеваемости в Российской Федерации и на Северном Кавказе

На территории Российской Федерации бруцеллез КРС остается одной из наиболее острых проблем ветеринарного благополучия. В целом по стране ежегодно регистрируется около 300 новых неблагополучных пунктов, выявляется 7–10 тыс. голов инфицированных животных. При этом более 80 % новых очагов сосредоточены в Северо-Кавказском федеральном округе (СКФО), Южном и Центральном федеральных округах. На Северный Кавказ приходится до 40 % случаев в Российской Федера-

ции [1]. Кабардино-Балкарская Республика (далее — КБР) имеет сложную пространственную структуру: равнины (<600 м), предгорья (600–1200 м), горы (>1200 м) [13], что определяет различия климата и систем животноводства.

В отличие от некоторых экосистем, например региона Йеллоустоуна, где бизоны и лоси служат значимым резервуаром *Brucella abortus* [7], на территории Северного Кавказа в последние десятилетия отсутствуют подтвержденные ветеринарной практикой случаи передачи инфекции от диких жвачных (олений, косулей, туров) к домашнему скоту [11; 13]. Данные официального мониторинга свидетельствуют о том, что дикие жвачные не являются значимым резервуаром бруцеллеза для крупного рогатого скота в условиях КБР. Погодные условия влияют на поведение животных (сроки выпаса, скученность), модулируя передачу инфекции [8; 9; 14].

Несмотря на многочисленные исследования бруцеллеза, количественных прогностических моделей, учитывающих комплекс управленческих, климатических и пространственных факторов для регионов с вертикальной зональностью (горы — предгорья — равнины), недостаточно. Большинство работ сосредоточены либо на климатических факторах в отдельности, либо на эпизоотологическом мониторинге без попытки количественного прогнозирования. Данное исследование направлено на восполнение этого пробела.

Цель исследования — разработать практико-ориентированную прогностическую модель, интегрирующую долгосрочные управленческие тренды, краткосрочные климатические колебания и пространственную дифференциацию рисков в условиях вертикальной зональности Кабардино-Балкарской Республики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Источники данных

- Временной диапазон: 2000–2024 гг. (25 лет).
- Эпизоотологические данные: отчеты Минсельхоза Российской Федерации, Россельхознадзора, Роспотребнадзора. Пропуски отсутствовали, расхождения менее 5 %.
- Метеорологические данные 8 метеостанций КБР (Северо-Кавказское УГМС): температура, осадки, скорость ветра, влажность.

- Пространственные данные: SRTM, данные о размещении животноводческих хозяйств, пастбищ и отгонных участков.

Статистические методы

Декомпозиция временных рядов

Применен подход декомпозиции временных рядов decSARIMA [15–17], позволяющий разделить ряд на трендовую, сезонную и случайную компоненты:

$$Y_{\text{факт}} = Y_{\text{тренд}} + S + \Delta Y, \quad (1)$$

где $Y_{\text{факт}}$ — фактическая заболеваемость; $Y_{\text{тренд}}$ — трендовая компонента (отражает долгосрочные изменения, связанные с ветеринарными мероприятиями); S — сезонная компонента (связана с биологическими циклами); ΔY — случайные отклонения (остаточные флуктуации) учитывающие метеорологические предикторы.

Декомпозиция выполнена методом X13-ARIMA-SEATS [15].

Пространственный анализ

Для учета вертикальной зональности КБР применен метод кригинг-интерполяции [14] с использованием ArcGIS 10.6. Пространственное моделирование включало:

- 1) построение полувариограммы (Gaussian semi-variance model);
- 2) интерполяцию заболеваемости с учетом высотных поясов;
- 3) выделение кластеров высокого риска методом пространственно-временного сканирования [14].

Регрессионный анализ и отбор предикторов

Для количественной оценки связей между метеофакторами и случайными отклонениями ΔY использована множественная линейная регрессия. Отбор предикторов выполнен на основе корреляционного анализа Пирсона с учетом биологически значимых лагов. Температура марта ($T3$) отражает условия начала вегетации; температура мая ($T5$) и июля ($T7$) соответствует периодам массового отела и пика пастбищного сезона. Осадки ноября ($R11$) выбраны с учетом лага в 3–4 месяца (инкубационный период). Скорость ветра в феврале ($V2$) влияет на условия перезимовки.

Коэффициенты корреляции составили:

- $T5$ (май): $r = 0,52$ ($p < 0,01$);

- $T7$ (июль): $r = 0,48$ ($p < 0,05$);
- $R11$ (ноябрь): $r = -0,41$ ($p < 0,05$);
- $W5-6$ (влажность май – июнь): $r = 0,44$ ($p < 0,05$).

Для исключения мультиколлинеарности рассчитаны коэффициенты VIF: все предикторы имеют $VIF < 3$. Проверка рядов на стационарность выполнена с помощью теста Дики – Фуллера ($p < 0,05$).

Математическая постановка задачи прогнозирования

Задача прогнозирования формулируется как минимизация средней абсолютной ошибки (MAE) на тестовой выборке при условии декомпозиции ряда

$$\min (1 / n) * \sum |Y_{\text{факт},i} - \hat{Y}_{i(\theta)}|, \quad (2)$$

где $\hat{Y}_{i(\theta)} = \hat{Y}_{\text{тренд},i} + \hat{S}_i + \Delta \hat{Y}_i$ — прогнозное значение; θ — вектор параметров модели (коэффициенты регрессии для метеопредикторов); $\hat{Y}_{\text{тренд},i}$ — оценка тренда; $\hat{S}_i$ — оценка сезонной компоненты; $\Delta \hat{Y}_i$ — оценка случайных отклонений.

Обработка выбросов

Временной ряд заболеваемости содержал экстремальное значение за 2009 год (0,56 % против 0,14 % в общественном секторе). Вместо исключения данного наблюдения как выброса применен метод дискретизации данных [18], позволяющий сохранить информацию об экстремальных событиях, одновременно снижая влияние шумовой компоненты. Для 2009 года проведен дополнительный анализ возможных причин (несанкционированный ввоз, сбой вакцинации), и данное наблюдение использовано в модели с пониженным весом.

Программное обеспечение

Расчеты выполнены в среде R (версия 4.3.1) с использованием пакетов seasonal (декомпозиция X13-ARIMA-SEATS), gstat (кригинг-интерполяция) и stats (регрессионный анализ). Визуализация выполнена с помощью пакета ggplot2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Декомпозиция временного ряда

Результаты декомпозиции временного ряда $Y_{\text{факт}}$ заболеваемости бруцеллезом КРС в КБР за 2000–2024 гг. представлены на рисунке 1.

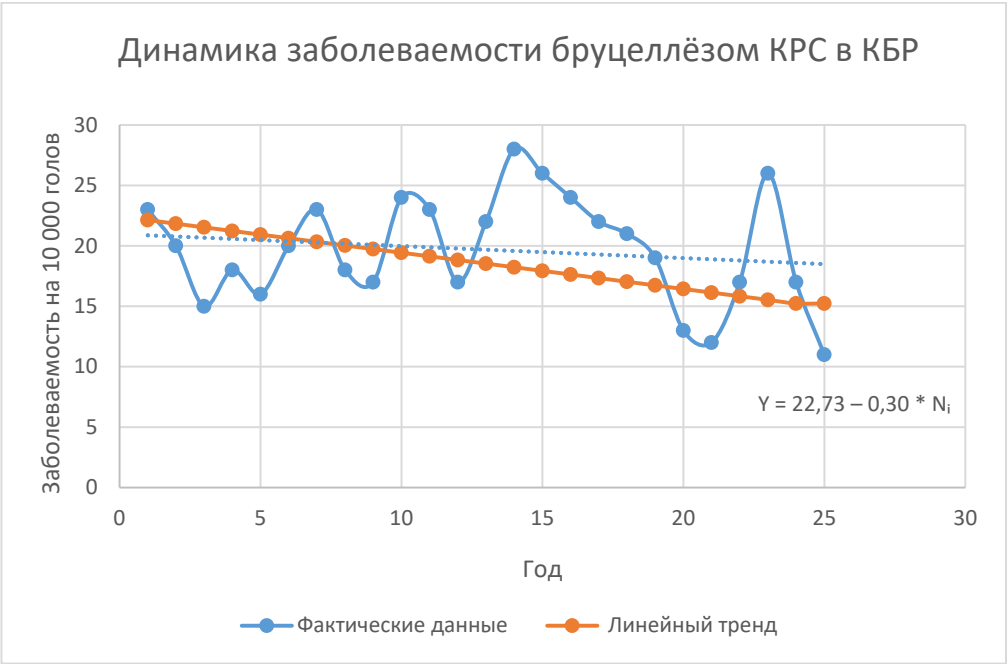


Рисунок 1
Декомпозиция временного ряда заболеваемости бруцеллезом КРС в КБР (в пересчете на 10 000 обследованных животных)

Примечание: на графике представлены три панели: исходный ряд заболеваемости (вверху), трендовая компонента с отрицательным наклоном (синяя линия) и случайные отклонения (оранжевый пунктир). По оси X всех графиков — годы (2000–2024).

Figure 1
Decomposition of the time series of bovine brucellosis incidence in the Kabardino-Balkarian Republic (per 10,000 animals examined)

Note: The graph presents three panels: the original incidence series (top), the trend component with a negative slope (blue line), and the random deviations (orange dashed line). The X-axis for all graphs represents years (2000–2024).

Трендовая компонента описывается линейным уравнением

$$Y_{\text{тренд}} = 22,73 - 0,30 t (R2 = 0,67), \quad (3)$$

что свидетельствует о тенденции к снижению числа инфицированных животных в среднем на 0,30 случая на 10 000 голов в год.

Сезонная компонента выявила два пика заболеваемости: весенне-летний (май – июнь) и осенний (октябрь – ноябрь). Амплитуда сезонных колебаний составляет ±2,3 случая на 10 000 голов. В мае – июне заболеваемость на 35 % выше среднегодового уровня, в октябре – ноябре — на 28 % выше.

Пространственное распределение рисков

Пространственный анализ с использованием кригинг-интерполяции [10] позволил выделить три зоны различного уровня риска (таблица 1).

Таблица 1
Пространственная дифференциация риска заражения бруцеллезом КРС по высотным поясам Кабардино-Балкарской Республики*

Table 1
Spatial differentiation of the risk of infection with bovine brucellosis by altitudinal zones of the Kabardino-Balkarian Republic*

Высотный пояс	Высота над уровнем моря	Относительный риск
Равнинный	< 600 м	1,0
Предгорный	600-1200 м	2,3
Горный	> 1200 м	0,7

*Примечание: относительный риск рассчитан как отношение числа случаев на 10 000 голов в данном поясе к аналогичному показателю в равнинном поясе за период 2000–2024 гг.

*Note: The relative risk was calculated as the ratio of the number of cases per 10,000 animals in a given zone to the corresponding figure in the plain zone for the period 2000–2024.

Кригинг-интерполяция [20] и SRTM выделили три пояса риска. Равнинный пояс — базовый уровень. Предгорья — риск в 2,3 раза выше, что может быть связано с особенностями ведения животноводства и микроклиматическими условиями. Горы — риск в 0,7 раза ниже из-за разреженного поголовья и низких температур. Согласно прогнозу, пространственное распределение на 2025 год: 45 % — предгорья, 35 % — равнина, 20 % — горы.

Влияние метеорологических факторов на случайные отклонения ΔY

На основе анализа помесечных данных с учетом биологических механизмов передачи определены критические диапазоны метеофакторов (таблица 2).

Итоговая регрессионная модель для случайных отклонений ΔY , учитывающая метеорологические предикторы, имеет вид

$$\Delta Y = 1,2T3 + 2,0T5 + 3,8T7 - 0,1R11 - 1,2V2 + 0,15W5-6 - 106,2, \quad (4)$$

где $T3$, $T5$, $T7$ — среднемесячные температуры марта, мая, июля ($^{\circ}\text{C}$); $R11$ — осадки ноября (мм); $V2$ — скорость ветра в феврале (м/с); $W5-6$ — средняя относительная влажность за май – июнь (%).

Проверка остатков модели с помощью теста Шапиро-Уилка подтвердила нормальность их распределения ($p = 0,23$). Коэффициенты VIF для всех предикторов менее 3. Коэффициент детерминации

модели $R^2 = 0,84$, средняя ошибка прогноза на тестовой выборке (2015–2016 гг.), выбранной как период со средними метеорологическими показателями и отсутствием экстремальных эпизоотических событий, составила 0,16 в пересчете на 10 000 обследованных.

Прогнозное значение $Y_{\text{пр}}$ рассчитывается по формуле:

$$Y_{\text{пр}} = Y_{\text{тренд}} + \Delta Y. \quad (5)$$

Прогноз на 2025 год

На основании разработанной модели выполнен прогноз заболеваемости на 2025 год (рисунок 2).

Ожидаемое число случаев в частном секторе составит 11–12 на 10 000 обследованных животных (95 % доверительный интервал). Пространственное распределение прогнозируемых случаев соответствует выявленной закономерности: 45 % — предгорная зона, 35 % — равнинная, 20 % — горная.

Для оценки устойчивости выполнена скользящая кросс-валидация с окном 10 лет (обучение на 2000–2009, тест на 2010–2019 и т.д.). Средняя абсолютная ошибка (MAE) на валидационных выборках составила 0,18–0,21, что близко к ошибке на тестовой выборке (0,16) и свидетельствует о стабильности модели.

Таблица 2

Влияние метеофакторов на риск заражения бруцеллезом крупного рогатого скота в условиях Кабардино-Балкарской Республики*

Table 2

The influence of meteorological factors on the risk of bovine brucellosis infection in the Kabardino-Balkarian Republic*

Фактор	Оптимум	Механизм	Эффект
Температура воздуха	17–25 $^{\circ}\text{C}$	Выживание возбудителя во внешней среде [4]	+1,8× при +10 → +20 $^{\circ}\text{C}$ [7]
Относительная влажность	>75 %	Сохранение в почве и на растениях	+25/10 % > 70 % [14]
Скорость ветра	>5 м/с	Аэрогенный перенос инфицированной пыли [7]	+2,3× [7]
Снежный покров	>30 см	Скученность на подкормке, контактная передача [14]	Качественно
Осадки (ливни)	двойное	Смыв бактерий (↓) и загрязнение водотоков (↑)	—

*Примечание: +1,8× — увеличение риска в 1,8 раза; +25/10 % — увеличение на 25 % на каждые 10 %; влажности сверх 70 %; +2,3× — увеличение в 2,3 раза; «качественно» — подтверждено качественно, без количественной оценки.

*Note: +1.8× indicates a 1.8 — fold increase in risk; +25/10 % denotes a 25 % increase for every 10 % of humidity above 70 %; +2.3× indicates a 2.3 — fold increase; “qualitatively” means confirmed qualitatively without quantitative assessment.

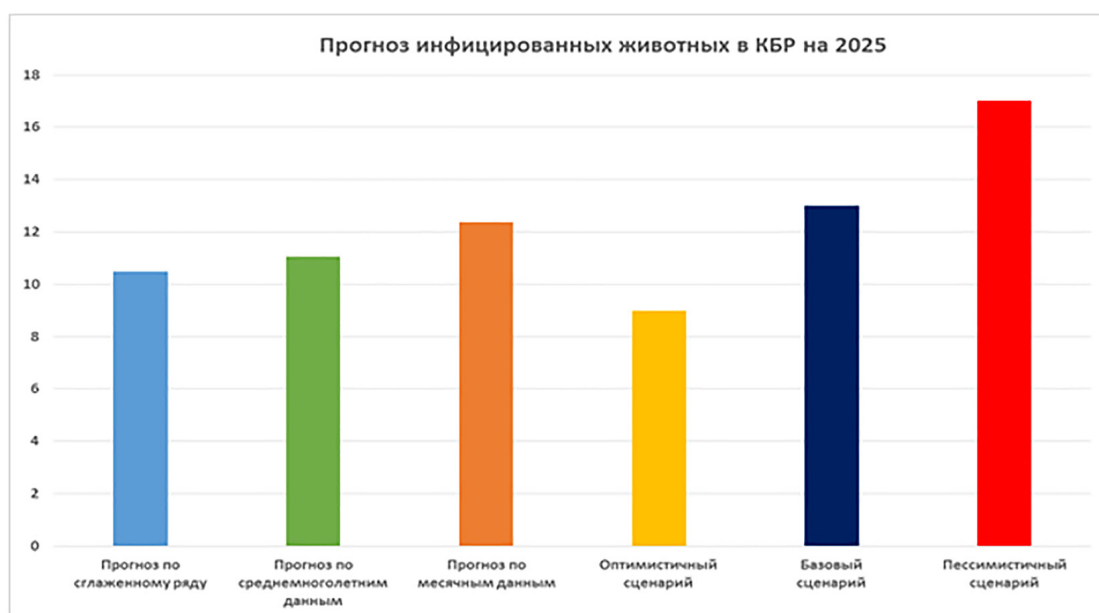


Рисунок 2

Прогноз заболеваемости бруцеллезом крупного рогатого скота в Кабардино-Балкарской Республике на 2025 год с 95 % доверительным интервалом

Figure 2

Forecast of the incidence of bovine brucellosis in the Kabardino-Balkarian Republic for 2025 with a 95% confidence interval

Сценарный анализ

Для оценки чувствительности модели к метеоусловиям выполнен расчет трех сценариев на 2025 год:

- **Оптимистичный** (холодная сухая весна):
Тмая = 14°C Тмая = 14 °C, W = 60W = 60 → прогноз 8–9 случаев;
- **Базовый** (среднеоголетние значения):
Тмая = 16,5 °C Тмая = 16,5 °C, W = 72W = 72 → прогноз 11–12 случаев;
- **Пессимистичный** (теплая влажная весна):
Тмая = 19 °C Тмая = 19 °C, W = 80W = 80 → прогноз 15–17 случаев.

Вариация метеоусловий может изменять прогнозную нагрузку на ветеринарную службу до 50 %, что обосновывает необходимость оперативной коррекции планов.

модель прогнозирования бруцеллеза овец в Китае объясняла 62 % дисперсии [12], а использование нейро-нечетких систем (ANFIS) в Иране достигало $R^2 = 0,70$ [6]. Применение декомпозиции временных рядов позволило разделить разнородные факторы и повысить точность прогноза, что согласуется с выводами Филатовой и Солнцева [15] о целесообразности использования decSARIMA для инфекций с выраженной сезонностью.

Выбор линейной регрессии обусловлен необходимостью интерпретируемости коэффициентов для практических рекомендаций. Альтернативные методы машинного обучения (случайный лес, градиентный бустинг) показали сходную точность ($R^2 = 0,82–0,85$) на обучающей выборке, однако уступают в прозрачности и требуют больших объемов данных для устойчивой работы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение с литературными данными

Разработанная модель демонстрирует более высокую объясняющую способность ($R^2 = 0,84$) по сравнению с аналогичными исследованиями. Например,

Биологическая интерпретация

Выявленные диапазоны температур, повышающих риск заражения (17–25 °C), соответствуют данным об оптимальных условиях выживания *Brucella* во внешней среде [5]. Метеофакторы действуют не изолированно, а через изменение поведения животных и условий передачи. Исследования

в экосистеме Большого Йеллоустоуна [19] показали, что факторы окружающей среды определяют пространственно-временную динамику риска передачи бруцеллеза через влияние на скученность животных и доступ к пастбищам.

Высокая влажность (>75 %) способствует сохранению возбудителя в почве и на пастбищной растительности, увеличивая вероятность алиментарного заражения. Ветровой перенос инфицированной пыли играет роль при скорости ветра >5 м/с [18].

Пространственная неоднородность рисков, выявленная в КБР, согласуется с данными о кластеризации бруцеллеза в эндемичных регионах [5; 13]. Предгорная зона выступает зоной повышенного риска вследствие оптимального сочетания влажности, температурного режима, а также плотности поголовья и интенсивности ветеринарного контроля [14; 19].

Экономическая эффективность прогнозирования

Заблаговременное выявление зон повышенного риска позволяет распределять ограниченные ресурсы ветеринарной службы с максимальной отдачей. Для условий КБР проведен предварительный экономический расчет. По данным Министерства сельского хозяйства КБР, средняя стоимость диагностических исследований одного животного составляет 150 руб., вакцинации — 200 руб. При прогнозируемом выявлении 11–12 случаев на 10 000 голов затраты на дополнительные исследования в зонах риска (предгорье, 45 % поголовья) составят около 1,2 млн руб. Экономические потери от одной вспышки (вынужденный убой 50–100 голов, потери приплода, карантинные мероприятия) на основе анализа отчетов Управления ветеринарии КБР за 2010–2020 гг. оцениваются в 5–8 млн руб. Таким образом, предотвращение даже одной вспышки окупает затраты на мониторинг в 4–6 раз. Это согласуется с данными о возврате инвестиций 3:1, полученными в других исследованиях [1; 10; 20].

Ограничения исследования

Авторы осознают, что предложенная модель имеет ряд ограничений:

- Человеческий фактор (несанкционированный ввоз животных, нарушения вакцинации) учтен косвенно, через трендовую компоненту $Y_{\text{тренд}}$. Перспективным является включение в модель

данных Россельхознадзора о перемещениях скота.

- Для экстраполяции модели на соседние регионы требуется дополнительная калибровка с учетом местных метеоусловий и структуры поголовья. Разработан протокол адаптации модели на основе первых трех лет наблюдений в новом регионе.

Тем не менее модель может служить полезным инструментом поддержки принятия решений на региональном уровне.

Практические рекомендации для ветеринарной службы КБР

На основе разработанной модели предложены следующие меры по оптимизации противоэпизоотических мероприятий, соответствующие Ветеринарным правилам (Приказ Минсельхоза Российской Федерации № 1664 от 28.12.2023):

1. **Сезонное усиление мониторинга:** в предгорной зоне проводить диагностические исследования четыре раза в год (февраль, май, август, ноябрь) с акцентом на май – июнь и октябрь – ноябрь (пики сезонной компоненты St).
2. **Территориальная дифференциация вакцинации:** в предгорной зоне (600–1200 м) обеспечить 100 % охват вакцинацией молодняка, тогда как в горной зоне (>1200 м) допустим стандартный режим.
3. **Метеорологическое оповещение:** при прогнозе теплой влажной весны (средняя температура мая >16 °C, влажность >70 %) заблаговременно увеличивать запас диагностикумов на 30–40 % для компенсации ожидаемого роста ΔY .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана прогностическая модель заболеваемости бруцеллезом крупного рогатого скота в Кабардино-Балкарской Республике. Модель интегрирует долгосрочные управленческие тренды, сезонные метеорологические факторы и пространственную неоднородность территории, что позволяет не только прогнозировать годовые показатели заболеваемости, но и дифференцировать профилактические мероприятия по зонам риска и календарным периодам.

Ключевые научные и практические результаты исследования

Модель обладает высокой объясняющей способностью ($R^2 = 0,84$) и стабильностью ($MAE = 0,18-0,21$), что подтверждено кросс-валидацией. Установлено, что наиболее напряженная ситуация складывается в предгорной зоне (600–1200 м над уровнем моря), где относительный риск заражения в 2,3 раза выше, чем на равнине. Выявлены сезонные пики регистрации случаев — май – июнь (+35 %) и октябрь – ноябрь (+28 %), что важно учитывать при планировании диагностических кампаний. Экономическая

оценка подтверждает целесообразность использования разработанной модели: затраты на усиленный мониторинг в зонах прогнозируемого риска в 4–6 раз ниже потенциальных потерь от вспышек бруцеллеза.

Модель рекомендуется в качестве дополнительного инструмента поддержки принятия решений при планировании противоэпизоотических мероприятий ветеринарной службой КБР. Дальнейшие исследования предполагают включение в модель методов машинного обучения и разработку сценарных прогнозов с учетом климатических изменений.

Вклад авторов:

А. Ж. Хитиева: разработка концепции, разработка методологии, проведение исследования, административное руководство исследовательским проектом, научное руководство, написание черновика рукописи.

А. Х. Тебугев: формальный анализ, предоставление ресурсов, валидация результатов, визуализация, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

Contributions:

A. Zh. Khitiev: conceptualization, methodology, investigation, project administration, supervision, writing-original draft.

A. Kh. Tebuev: formal analysis, resources, validation, visualization, writing-review and editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES

1. Пономаренко Д.Г., Матвиенко А.Д., Хачатурова А.А. и др. Анализ ситуации по бруцеллезу в мире и Российской Федерации. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2024;(2):36-50. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2024-2-36-50>
Ponomarenko D.G., Matvienko A.D., Khachaturova A.A. et al. Analysis of the brucellosis situation in the world and the Russian Federation. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2024;(2):36-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2024-2-36-50>
2. Захарова О.И., Бурова О.А., Яшин И.В. и др. Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу животных в Российской Федерации (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):20-29. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.20-29>
Zakharova O.I., Burova O.A., Yashin I.V. et al. Epizootic situation of animal brucellosis in the Russian Federation (review). *Agrarnaya Nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023;24(1):20-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.20-29>
3. Ambrósio R.S. Economic and financial aspects of bovine brucellosis in the state of Rondônia [dissertation]. São Paulo : Universidade Brasil; 2024.45.
4. Аскерова С.А., Гулюкин М.И., Гулюкин А.М. и др. *Модифицированные методы диагностики бруцеллеза сельскохозяйственных животных : монография*. Новосибирск : Изд. АНС «СибАК», 2019.262.
Askerova S.A., Gulyukin M.I., Gulyukin A.M. et al. *Modified Methods for Diagnosing Brucellosis in Farm Animals : monograph*. Novosibirsk : ANS "SibAK"; 2019.262. (In Russ.)
5. Arotolu T.E., Wang H., Lv J. et al. Modeling the current and future distribution of Brucellosis under climate change scenarios in Qinghai Lake basin, China. *Acta Veterinaria*. 2023;73(3):325-345. <https://doi.org/10.2478/acve-2023-0028>

6. Babaie E., Alesheikh A.A., Tabasi M. Spatial prediction of human brucellosis using a GIS-based adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Acta Tropica*. 2021;220:105951. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.105951>
7. Rayl N.D. et al. Modeling elk-to-livestock transmission risk to predict hotspots of brucellosis spillover. *The Journal of Wildlife Management*. 2019;83(4):817-829. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21645>
8. Godfroid J. et al. Brucellosis at the animal/ecosystem/human interface at the beginning of the 21st century. *Preventive Veterinary Medicine*. 2013;110(1):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.01.009>
9. Ducrotoy M.J. et al. Brucellosis in Sub-Saharan Africa: Current challenges for management, diagnosis and control. *Parasites & Vectors*. 2016;9(1):471. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1794-4>
10. Seleem M.N., Boyle S.M., Sriranganathan N. Brucellosis: A re-emerging zoonosis. *Veterinary Microbiology*. 2010;140(3-4):392-398. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.09.071>
11. Хацуков К.Х., Кудрявцев Ю.В., Жанукуев О.И. Эпиднадзор за бруцеллезом в Кабардино-Балкарской Республике. *Инфекция и иммунитет*. 2012;(1-2).
Khatsukov K.Kh., Kudryavtsev Yu.V., Zhanukuev O.I. Epidemiological surveillance of brucellosis in the Kabardino-Balkarian Republic. *Infektsiya i Immunitet*. 2012;(1-2). (In Russ.)
12. Zhang X. et al. A prediction model for sheep brucellosis in China based on environmental and socioeconomic data. *Journal of Veterinary Epidemiology*. 2020;15(3):123-135. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2295398>
13. Тебугев Х.Х. К вопросу глобального потепления климата. *Известия Кабардино-Балкарского ГАУ*. 2020;(4):177-183.
Tebuev Kh.Kh. On the issue of global climate warming. *Izvestia Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;(4):177-183. (In Russ.)
14. Мусинов С.Р., Сыздыков М.С. Выявление закономерностей территориального распределения бруцеллеза с использованием ГИС-технологий на эндемичных территориях Казахстана. Отчет о НИР. Алматы : Казахский научный центр карантинных и зоонозных инфекций; 2017.
Musinov S.R., Syzdykov M.S. *Identification of Patterns of Territorial Distribution of Brucellosis Using GIS Technologies in Endemic Territories of Kazakhstan. Research report*. Almaty : Kazakh Scientific Center for Quarantine and Zoonotic Infections; 2017. (In Russ.)
15. Филатова Е.Н., Солнцев Л.А. Смешанная техника прогнозирования инфекционной заболеваемости с применением методов декомпозиции временного ряда и SARIMA. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2019;96(3):76-83. <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-3-76-83>
Filatova E.N., Solntsev L.A. Mixed technique for forecasting infectious morbidity using time series decomposition and SARIMA. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2019;96(3):76-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-3-76-83>
16. Imai C., Armstrong B., Chalabi Z. et al. Time series regression model for infectious disease and weather. *Environmental Research*. 2015;142:319-327. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.040>
17. Тебугев Х.Х. Математическое обоснование репрезентативности трендовой составляющей временных рядов. *Известия Кабардино-Балкарского ГАУ имени В. М. Кокова*. 2019;1(23):11-22.
Tebuev Kh.Kh. Mathematical substantiation of the representativeness of the trend component of time series. *Izvestia Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov*. 2019;1(23):11-22. (In Russ.)
18. Cotterill G.G., Cross P.C., Merkle J.A. et al. Parsing the effects of demography, climate and management on recurrent brucellosis outbreaks in elk. *Journal of Applied Ecology*. 2020;57(4):674-684. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13553>
19. Cross P.C. et al. Linking spring phenology with mechanistic models of host movement to predict disease transmission risk. *Journal of Applied Ecology*. 2018;55(2):810-819. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13022>
20. Kiiza D. et al. A systematic review of economic assessments for brucellosis control interventions in livestock populations. *Preventive Veterinary Medicine*. 2023;213:105878. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2023.105878>

Сведения об авторах

Хитиева Аминат Жагафаровна —

кандидат экономических наук, доцент кафедры
высшей математики и информатики, Кабарди-
но-Балкарский государственный аграрный универ-
ситет имени В. М. Кокова, Нальчик, Россия

<https://orcid.org/0009-0004-6847-6328>

SPIN-код: 8085-7236

aminkahitieva@mail.ru

Тебурев Азамат Хызырович —

студент, Кабардино-Балкарский государственный
аграрный университет имени В. М. Кокова, Наль-
чик, Россия

existing13@mail.ru

About the authors

Aminat Zh. Khitieva —

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department
of Higher Mathematics and Informatics, Kabardino-
Balkarian State Agricultural University named after
V. M. Kokov, Nalchik, Russia

<https://orcid.org/0009-0004-6847-6328>

aminkahitieva@mail.ru

Azamat Kh. Tebuev —

Student, Kabardino-Balkarian State Agricultural
University named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia

existing13@mail.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-33-42>

Evaluation of introduced sweet cherry cultivars under arid conditions of Southern Russia

CORRESPONDENCE:

Margarita Y. Azarova

E-mail: azarova778@gmail.com

FOR CITATION:

Pismennaya E.V., Azarova M.Yu., Jamil A. Evaluation of introduced sweet cherry cultivars under arid conditions of Southern Russia. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):33-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-33-42>

RECEIVED: 20.02.2026

REVISED: 29.05.2026

ACCEPTED: 05.06.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Pismennaya E.V., Azarova M.Yu., Jamil A.



Elena V. Pismennaya¹ , Margarita Yu. Azarova¹ , Akash Jamil²

¹ Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

² Cholistan University of Veterinary and Animal Sciences (CUVAS), Bahawalpur, Pakistan

ABSTRACT

INTRODUCTION. The expansion of commercial sweet cherry cultivation in the arid regions of southern Russia is constrained by the lack of cultivars that combine adaptability to local soil and climatic conditions, regular bearing, and high fruit quality.

AIM. To identify the most promising introduced sweet cherry cultivars in terms of productivity and fruit quality when grown on Gisela 6 rootstock in the arid zone of Stavropol Krai.

MATERIALS AND METHODS. The research was conducted from 2023 to 2025 on the cultivars Sweet Early, Ferrovia, Samba, Skeena, Kordia, and Regina in an orchard established in 2021 with a planting spacing of 3.5 × 1.5 m. Yield, alternate bearing index, fruit morphometric parameters, and biochemical composition were assessed. Statistical processing was performed using Statistica v23 with cluster analysis.

RESULTS. All studied cultivars produced fruit annually; however, they exhibited significant differences in the level and stability of productivity. In 2023, the maximum yield was recorded for Kordia and Skeena (2.10 t/ha each); in 2024, for Sweet Early (4.52 t/ha); and in 2025, for Skeena (0.68 t/ha). Average fruit weight ranged from 9.1 to 11.1 g, average flesh weight from 8.2 to 10.3 g, and total sugar content from 16.7% to 23.0%. The smallest inter-cultivar distance for the trait complex was found between Samba and Kordia.

CONCLUSION. Under the conditions of the arid zone of Stavropol Krai, the cultivars Skeena, Kordia, Regina, and Samba, which were distinguished by a complex of economically valuable traits, are of greatest practical interest. The obtained results can be used to improve the sweet cherry cultivar assortment for intensive plantings in the region.

KEYWORDS: Sweet cherry, cultivar, arid zone, Stavropol Krai, yield, fruit quality, biochemical composition, cluster analysis

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-33-42>

Оценка интродуцированных сортов черешни в засушливых условиях Юга России

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Маргарита Юрьевна Азарова
E-mail: azarova778@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Письменная Е.В., Азарова М.Ю., Джамиль А. Оценка интродуцированных сортов черешни в засушливых условиях Юга России. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):33-42. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-33-42> EDN PPDNQB

ПОСТУПИЛА: 20.02.2026

ДОРАБОТАНА: 29.05.2026

ПРИНЯТА: 05.06.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Письменная Е.В., Азарова М.Ю., Джамиль А.



Е.В. Письменная¹ , М.Ю. Азарова¹ ✉, А. Джамиль²

¹ Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

² Чолистанский университет ветеринарных и зоотехнических наук, Бахавалпур, Пакистан

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Расширение промышленного возделывания черешни в засушливых районах юга России ограничивается недостатком сортов, сочетающих адаптивность к местным почвенно-климатическим условиям, регулярное плодоношение и высокое качество плодов.

ЦЕЛЬ. Выявить наиболее перспективные интродуцированные сорта черешни по продуктивности и качеству плодов при выращивании на подвое Gisela 6 в засушливой зоне Ставропольского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проведены в 2023–2025 гг. на сортах Sweet Early, Ferrovia, Samba, Skeena, Kordia и Regina в саду 2021 года закладки, созданном по схеме 3,5 × 1,5 м. Оценивали урожайность, индекс периодичности плодоношения, морфометрические показатели плодов и их биохимический состав. Статистическую обработку выполняли в программе Statistica v23 с применением кластерного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Все изученные сорта плодоносили ежегодно, однако заметно различались по уровню и устойчивости продуктивности. В 2023 году максимальная урожайность отмечена у сортов Kordia и Skeena — по 2,10 т/га, в 2024 году — у Sweet Early 4,52 т/га, в 2025 году — у Skeena 0,68 т/га. Средняя масса плодов варьировала от 9,1 до 11,1 г, средняя масса мякоти — от 8,2 до 10,3 г, содержание общих сахаров — от 16,7 до 23,0 %. Наименьшая межсортная дистанция по комплексу признаков установлена между Samba и Kordia.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В условиях засушливой зоны Ставропольского края наибольший практический интерес представляют сорта Skeena, Kordia, Regina и Samba, выделенные по комплексу хозяйственно ценных признаков. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании сортимента черешни для интенсивных насаждений региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: черешня, сорт, засушливая зона, Ставропольский край, урожайность, качество плодов, биохимический состав, кластерный анализ

INTRODUCTION

Sweet cherry (*Prunus avium* L.) is one of the most valuable fruit crops in warm-climate regions due to its early market arrival, high fruit palatability, and stable consumer demand [1; 2]. For commercial horticulture in southern Russia, this crop is of particular interest as an object for assortment diversification and enhancing the economic efficiency of intensive plantings [3; 4]. However, successful sweet cherry cultivation under arid conditions is determined not only by the biological characteristics of the species but also by the degree of cultivar adaptation to the specific growing environment [5; 6]. Under conditions of moisture deficit, high summer temperatures, and unstable winter-spring factors, cultivars may significantly differ in precocity, yield stability, fruit size, and biochemical fruit characteristics [7; 8]. Therefore, the introduction of new cultivars must be accompanied by their comprehensive evaluation directly in the target growing region [9].

Modern intensive orchard systems impose higher demands on cultivars compared to traditional plantings [10; 11]. For commercial use, cultivars combining satisfactory yield, relatively regular bearing, large fruit, and favorable chemical composition parameters are of greatest value [12]. These parameters are particularly important when using semi-dwarf rootstocks, which are becoming increasingly widespread in intensive sweet cherry plantings [13; 14].

For the arid zone of Stavropol Krai, identifying sweet cherry cultivars best adapted to local growing conditions is of particular importance [15]. The region requires cultivars capable of producing a marketable yield under arid climate conditions while simultaneously ensuring fruit quality that meets current market requirements. One approach to replenishing the regional commercial cultivar assortment is the introduction of foreign sweet cherry cultivars. However, cultivars differ in their adaptability to environmental stress factors, so their economic value must be assessed directly under specific agro-ecological growing conditions [16; 17]. The necessity of this approach justifies a comparative study of introduced sweet cherry cultivars under commercial orchard conditions in the arid zone of Stavropol Krai. In this regard, the objective of this study was to identify the most promising introduced sweet cherry cultivars in terms of productivity, bearing regularity, fruit size, and biochemical fruit parameters in the arid zone of Stavropol Krai.

MATERIALS AND METHODS

Study Conditions and Research Objects

The research was conducted from 2023 to 2025 in the second soil-climatic zone of Stavropol Krai, Russia (geographical coordinates: 45°49'33" N, 42°31'21" E). The agricultural enterprise was Krasochnoye LLC.

The research objects comprised six introduced sweet cherry cultivars with different ripening periods: Sweet Early, Ferrovia, Samba, Skeena, Kordia, and Regina, all grafted onto Gisela 6 rootstock. The cultivar Skeena was developed from a cross of 2N-60-7 × 2N-38-32 (British Columbia); Sweet Early from a cross of Burlat × Sunburst (registered with the Community Plant Variety Office of the European Union); Ferrovia is not patented; Samba from a cross of 2 S 84-10 × Stella 16 A-7 (Canada); Kordia is not patented (bred by J. Blazek, Czech Republic); and Regina from a cross of Schneiders Späte Knorpelkirsche × Rube (Hanover, Germany).

The sweet cherry orchard was established in 2021 with a planting spacing of 3.5 × 1.5 m. The tree training system was a slender spindle. The total number of record trees was 60, including 10 trees per cultivar, with three replications.

The soil cover of the experimental plot consisted of southern, carbonate, medium-thick, weakly humus-rich chernozems in combination with surface meadow-chernozem carbonate soils (up to 10%) (Table 1).

Table 1

Agrochemical analysis of the experimental plots (2023–2025)

Soil sampling depth, cm	pH (water extraction method*)	Available phosphorus, mg/kg soil (Machigin method as modified by CINAO**)	Available potassium, mg/kg soil (Machigin method as modified by CINAO***)	Organic matter, % (I.V. Tyurin method, CINAO***)
0–20	8.1–8.4	21–23	393–470	2.57–2.67
20–40	8.2–8.4	10–16	248–318	2.20–2.38
40–65	8.4–8.5	<9	235–258	1.76–1.82

Notes: *GOST 26423–85. Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract. 2011;8. (In Russ.) <https://files.stroyinf.ru/Data/201/20148.pdf>

**GOST 26205–91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by CINAO. 2023;10. (In Russ.) <https://internet-law.ru/gosts/gost/10373/>

***GOST 26213–91. Soils. Methods for determination of organic matter. 1993;8. (In Russ.) https://okhotin-grunt.ru/gost/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_26213-91.pdf

Weather Conditions

The climate of the intensive orchard area is arid. The hydrothermal coefficient ranges from 0.5 to 0.9. The average sum of active temperatures during the agricultural year (2023–2025) was 2630°C, total precipitation was 193.9 mm, maximum summer temperatures reached +30.1°C (July–August), and the minimum temperature was –8.9°C (January).

Methods

Yield was determined according to the program and methodology for cultivar evaluation of fruit, berry, and nut crops [18; 19; 20]. Biochemical and technological analysis of fruits was performed following the “Methodological Guidelines for the Determination of Chemical Substances for Assessing the Quality of Vegetable and Fruit Crop Yields”¹. Statistical processing was carried out using Statistica v23 (x64) software for cluster analysis. The squared Euclidean distance, calculated based on the following parameters, was used as the similarity measure: yield, alternate bearing index, average fruit weight, fruit diameter, soluble solids content, titratable acidity, and sugar-acid ratio.

RESULTS

Yield and Fruiting Periodicity

All studied sweet cherry cultivars came into bearing and produced a harvest annually during the observation period, but significantly differed in the level and stability of yield. In 2023, the highest yield was recorded for the cultivars Kordia and Skeena, with 2.10 t/ha each, while the lowest was for Sweet Early at 0.34 t/ha (Table 2).

In 2024, according to Table 2, the highest yield was observed for Sweet Early (4.52 t/ha), while the lowest was for Regina (0.90 t/ha). In 2025, Skeena was the most productive cultivar, with a yield of 0.68 t/ha, whereas the minimum value was again recorded for Sweet Early (0.14 t/ha).

The alternate bearing index also significantly differed among cultivars. The lowest index was found for Skeena (43.8%), and a slightly higher value was recorded for Regina (52.0%), indicating relatively lower irregularity of bearing under the experimental conditions. The highest index values were observed for Sweet Early (93.9%) and Ferrovia (89.3%), suggesting more pronounced year-to-year yield fluctuations.

Fruit Morphometric Parameters

According to the study data, all cultivars were classified as large-fruited. Average fruit weight ranged from 9.1 g (Sweet Early) to 11.1 g (Regina), while flesh weight ranged from 8.2 to 10.3 g (Table 3).

Table 2

Alternate bearing index of introduced sweet cherry cultivars under the arid zone conditions of Stavropol Krai

Cultivar	Yield, t/ha			Alternate bearing index, %	Group
	2023	2024	2025		
Early ripening					
Sweet Early	0,34	4,52	0,14	93,9	4
Medium ripening					
Ferrovia	0,61	3,00	0,17	89,3	4
Samba	1,05	2,92	0,31	80,8	3
Medium-late ripening					
Skeena	2,10	1,74	0,68	43,8	2
Late ripening					
Kordia	2,10	2,61	0,44	71,1	3
Regina	1,30	0,90	0,41	52,0	2

Notes: Based on the index value, cultivars were classified into groups: Group 1 (21–40%) — relatively regular bearing; Group 2 (41–60%) — moderate periodicity; Group 3 (61–80%) — strong periodicity; Group 4 (81–100%) — very strong periodicity.

¹ Guidelines for chemical-technological variety testing of vegetable, fruit and berry crops for the canning industry. 1993;107. (In Russ.)

Pit weight varied within a relatively narrow range (0.8 to 0.9 g); however, the pit proportion in the total fruit weight differed among cultivars. The highest value of this parameter was found for Sweet Early (9.9%), while the lowest was for Regina (7.2%); a similar result was obtained for Skeena (7.3%).

Fruit Biochemical Parameters

Substantial inter-cultivar variability was revealed in the biochemical composition of the fruits (Table 4).

Total sugar content ranged from 16.7% (Skeena) to 23.0% (Kordia); high values were also recorded for Regina (22.8%) and Samba (22.1%). Titratable acidity varied from 0.48% (Ferrovia) to 0.79% (Skeena), whereas the sugar-acid ratio ranged from 21.1 (Skeena) to 44.7 (Regina). These parameters indicate differences among cultivars not only in the level of sugar accu-

mulation but also in the sugar-to-acid balance, which is important for taste evaluation and technological suitability of the fruits. Skeena exhibited a sweet taste, while the remaining cultivars exhibited a very sweet taste.

Cluster Analysis of Sweet Cherry Cultivars

The dendrogram and proximity matrix revealed a pronounced differentiation of the cultivars based on the set of studied traits. The proximity matrix was calculated using squared Euclidean distance, which made it possible to determine the structure of the obtained data by grouping the most similar cultivars into clusters according to increasing distance. The smallest measure of dissimilarity was found between the cultivars Samba and Kordia (1.279), followed by the pairs Ferrovia and Kordia (5.713), as well as Sweet Early and Ferrovia (7.457) (Figure 1, Table 5).

Table 3

Qualitative parameters of sweet cherry cultivars under the arid zone conditions of Stavropol Krai, 2023–2025

Cultivar	Fruit weight, g	Flesh weight, g	Pit weight, g	Pit weight / fruit weight, %
Early ripening				
Sweet Early	9.1	8.2	0.9	9.9
Medium ripening				
Ferrovia	10.2	9.3	0.9	8.8
Samba	10.3	9.4	0.9	8.7
Medium-late ripening				
Skeena	11.0	10.2	0.8	7.3
Late ripening				
Kordia	10.2	9.3	0.9	8.8
Regina	11.1	10.3	0.8	7.2

Table 4

Biochemical analysis of sweet cherry fruits under the arid zone conditions of Stavropol Krai, 2023–2025

Cultivar	Total sugars, %	Titrateable acidity, %	Sugar:acid ratio
Early ripening			
Sweet Early	18.3	0.49	37.3
Medium ripening			
Ferrovia	18.9	0.48	39.4
Samba	22.1	0.51	43.3
Medium-late ripening			
Skeena	16.7	0.79	21.1
Late ripening			
Kordia	23.0	0.53	43.4
Regina	22.8	0.51	44.7

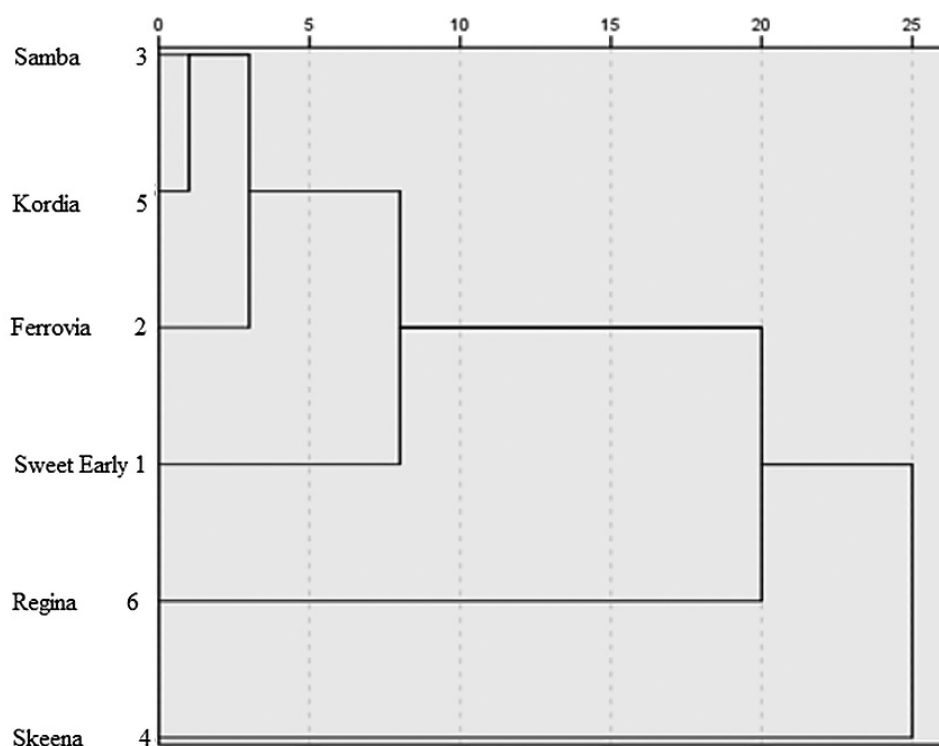


Figure 1
Dendrogram of intergroup relationships of sweet cherry cultivars under the arid zone conditions of Stavropol Krai

Table 5
Proximity matrix. Squared Euclidean distance

Cultivar	Sweet Early	Ferrovia	Samba	Skeena	Kordia	Regina
Sweet Early	—	7.457	10.149	40.574	10.548	40.376
Ferrovia	7.457	—	2.212	26.061	5.713	16.962
Samba	10.149	2.212	—	27.082	1.279	13.836
Skeena	40.574	26.061	27.082	—	27.563	22.383
Kordia	10.548	5.713	1.279	27.563	—	17.804
Regina	40.376	16.962	13.836	22.383	17.804	—

Note: The table was compiled based on the following data: yield (t/ha), alternate bearing index (%), total sugars (%), titratable acidity (%), sugar-acid ratio, fruit weight (g), flesh weight (g), pit weight (g), pit weight/fruit weight (%).

The largest distances were found between Sweet Early and Skeena (40.574), as well as between Sweet Early and Regina (40.376), indicating significant differences in the trait structure of these cultivars. Thus, the results of cluster analysis confirm that the degree of similarity among cultivars under the experimental conditions was determined by a complex of productivity and fruit quality traits, rather than solely by their belonging to a particular ripening group.

DISCUSSION

The obtained results confirm that introduced sweet cherry cultivars differ in their ability to realize their production potential when grown on the same rootstock, including under the arid conditions of Stavropol Krai [21; 22]. These findings are of fundamental importance for commercial horticulture in southern Russia, since a cultivar's suitability for introduction should be determined not by a single high parameter but by a combination of yield, bearing stability, and fruit quality traits [23; 24].

The conducted research revealed a discrepancy between maximum yield in a single year and overall bearing stability. For instance, the cultivar Sweet Early showed the highest yield in 2024, but simultaneously exhibited the highest alternate bearing index, which limits its value as a cultivar with stable productivity under arid zone conditions. In contrast, the cultivar Skeena combined relatively high yield performance with the lowest alternate bearing index, suggesting that it can be considered more stable for commercial production.

The data obtained on fruit marketability are also of great importance [25; 26]. Twenty fruits were sampled from each tree. After harvest, fruit weight, pit weight, flesh weight, and biochemical composition were measured for each individual fruit. It was revealed that Regina and Skeena exhibited the highest average fruit weight, with Regina simultaneously showing the maximum flesh weight and one of the lowest pit proportions relative to total fruit weight. This combination of traits can be considered favorable for fresh consumption, as it is associated with a higher proportion of edible portion and better visual appeal of the product.

The biochemical parameters complemented the fruit quality assessment across cultivars. Kordia, Regina, and Samba were characterized by high sugar content and high sugar-acid ratio values, indicating favorable taste potential of the fruits. At the same time, Skeena, which stood out for its large fruit size and more regular bearing, exhibited minimal sugar content and maximal acidity. This highlights the need for a more differentiated approach to cultivar evaluation: a single cultivar may be promising in terms of productivity but inferior in certain quality parameters [27; 28].

Additional analytical information was provided by the cluster analysis, which allowed interpretation of the results not by individual traits but by their combination. The proximity of Samba and Kordia indicates similarity in their economic-biological profiles under the experimental conditions, while the considerable distance of Sweet Early from Skeena and Regina reflects differences across the trait complex. Consequently, the grouping of cultivars under arid zone conditions is determined by a multi-component cultivar response to the natural environment (including soil-climatic and aerodynamic conditions) [29].

Based on the obtained data, Skeena can be considered promising for its combination of more regular bearing and large fruit size, whereas Regina, Kordia, and Samba are of primary interest for fruit quality and biochemical characteristics. This conclusion is consistent with the multi-criteria approach to cultivar evaluation that is adopted in contemporary fruit crop research [30; 31].

CONCLUSION

Under the arid conditions of Stavropol Krai, introduced sweet cherry cultivars on Gisela 6 rootstock differed significantly in yield, bearing periodicity, fruit morphometric parameters, and biochemical composition. Skeena stood out for its bearing periodicity and large fruit size, indicating a relatively more stable and economically valuable response under the experimental conditions. The cultivars Regina, Kordia, and Samba were distinguished by favorable fruit quality parameters, including high sugar content and high sugar-acid ratio values. The obtained results can be used to improve the sweet cherry cultivar assortment for intensive orchards in the arid zone of southern Russia.

Contributions

E. V. Pismennaya: conceptualization; project administration; writing-original draft.

M. Yu. Azarova: investigation; methodology; data curation; writing-review & editing.

A. Jamil: formal analysis; software; validation; writing-review & editing.

Вклад авторов

Е. В. Письменная: разработка концепции, административное руководство исследовательским проектом, написание черновика рукописи.

М. Ю. Азарова: получение финансирования, разработка методологии, курирование данных, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

А. Джамиль: формальный анализ, разработка программного обеспечения, валидация результатов, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

REFERENCES

1. Farias F.O., Muchanga F.J., Mussagy C.U. Potential of sweet cherry by-products: From agro-industrial residues to the sustainable recovery of bioactive compounds in a circular economy framework. *Food and Bioprocess Processing*. 2025;153:173-184. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.06.013>
2. Usenik V., Štampar F., Petkovšek M.M. et al. The effect of fruit size and fruit color on chemical composition in 'Kordia' sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015;38:121-130. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.10.007>
3. Dolya Yu.A., Zaremuk R.Sh. Current directions in improving the sweet cherry assortment for the south of Russia. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2020;61:16-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-61-16-23>
4. Zaremuk R.Sh., Dolya Yu.A., Kopnina T.A. Productivity potential of drup fruit varieties — biomorphological features of formation and realization under the climatic conditions of south Russia. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*. 2020;55(3):573-587. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.3.573eng>
5. Solonkin A.V., Nikolskaya O.A., Kikteva E.N. et al. Selection of an adaptive assortment of cherries for the conditions of the Volgograd region. *Scientific and Agronomic Journal*. 2019;4(107):44-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.34736/FNC.2019.107.4.014>
6. Guseynova B.M., Gadzimagedova S.G. Assessment of the degree of resistance of the introduced sweet cherry assortment to stressors of the growing environment. *Regional Aspects of Adaptation of the Agro-industrial Complex to Conditions of a Changing Climate*. 2025;50-54. (In Russ.) https://doi.org/10.33580/9785002780020_50
7. Kaya O., Kose C. How sensitive are the flower parts of the sweet cherry in sub-zero temperatures? *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2021;50(1):17-31. <https://doi.org/10.1080/1140671.2021.1890156>
8. Mineață I., Murariu O.C., Sîrbu S. et al. Effects of Ripening Phase and Cultivar under Sustainable Management on Fruit Quality and Antioxidants of Sweet Cherry. *Horticulturae*. 2024;10(7):720. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070720>
9. Dolya Yu.A. Study of the gene collection of sweet cherries as one of the tools for breeding improvement of varieties. *Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking*. 2022;34:40-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2022-34-40-45>
10. Eremin V.G., Gasanova T.A. The main results of research on garden crops and grapes carried out by Krimsky experimental breeding station in 2019. *Scientific Works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking*. 2020;27:52-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2020-27-52-62>
11. Popov M.A. Prospected cherry varieties for the middle zone of Russia. *The Current State of Horticulture in the Russian Federation, the Industry's Problems and Ways to Solve Them*. Proceedings of the scientific and practical conference held at the 15th All-Russian exhibition "Gardener's Day 2020." 2020;56-59. (In Russ.)
12. Zelený L., Stryhalová G., Blažek J. Sweet cherry world research overview 2018–2020. *Horticultural Science*. 2025;52(3):183-200. <https://doi.org/10.17221/28/2023-HORTSCI>
13. Eremina O.V., Sivoplyasov V.I. New early-fruited clonal rootstocks for cherries from promising forms of the species *P. makhaleb* L. *Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia*. 2020;65(5):32-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-5-65-32-45>
14. Saraginovsky N., Kipriyanovsky M. 'Kordia' and 'Regina' sweet cherry: bearing potential and fruiting shoots distribution as affected by rootstock genotype. *Acta Horticulturae*. 2021;1327:93-100. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1327.13>
15. Debiskaeva S.Yu. Selection as the basis for improving the assortment of cherries in the North Caucasus. *Fruit and Berry Growing in Russia*. 2008;20:66-69. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14628411>
16. Sarisu H., Ömer F.K., Fatma P.Ö. et al. Introducing Different Cherry Cultivars to Inner and Crossover Areas. *Journal of Agricultural Sciences*. 2019;25(1):11-20. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.538981>
17. Guseynova B.M., Abdulgamidov M.D. Comprehensive assessment of the gene pool of sweet cherry of Dagestan selection and determination of sources of selection-significant traits. *Tavrishesky Bulletin of Agrarian Science*. 2025;2(42):57-72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16563509>

18. Alekhina E.M. Formation of a productive assortment of cherries for the southern region of Russia. *Scientific Works of SKZNIISiV*. 2016;9:90-95. (In Russ.) EDN: WAZSOF
19. Jumakulova N.Sh., Kabulova F.D., Ismoilov K.T. Morphological and biochemical responses of blackberry (*Rubus spp.*) cultivars under agro-climatic conditions of the Samarkand region. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(1):82-90. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-82-90>
20. Churilina T.N. Entomopathogenic nematodes *Steinernema Feltiae* Filipjev in the protection of blackcurrant against *Agrilus Ribesi* Shafer. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(4):69-78. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-69-78>
21. Solonkin A.V., Nikolskaya O.A., Kikteva E.N. et al. Selection of an adaptive assortment of cherries for the conditions of the Volgograd region. *Scientific and Agronomic Journal*. 2019;4(107):44-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.34736/FNC.2019.107.4.014>
22. Guseynova B.M., Abdulgamidov M.D. Evaluation of cherry varieties of dagestan breeding by a complex of morphological characters and resistance to bio- and abio-stressors of the environment. *Priority Scientific Research in the Field of Production and Processing of Fruit and Vegetable Raw Materials and Grapes*. Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference, Makhachkala, September 12-13, 2023. Makhachkala : Limited Liability Company "ALEF Publishing House". 2023:65-72. (In Russ.)
23. Zaremuk R.Sh., Kopnina T.A. New varieties of cherries for southern gardening. 2016;3:62-64. *Breeding and Cultivating of Garden Crops*. (In Russ.)
24. Umut A., Öztürk B. Fruit Quality Characteristics of Different Sweet Cherry (*Prunus Avium* L.) Cultivars Grown in Ordu Province of Turkey. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*. 2022;12(1):168-77. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1000507>
25. Usenik V., Štampar F., Petkovšek M.M. et al. The effect of fruit size and fruit color on chemical composition in 'Kordia' sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015;38:121-130. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.10.007>
26. Díaz-Mula H.M., Castillo S., Martínez-Romero D. et al. Sensory, nutritive and functional properties of sweet cherry as affected by cultivar and ripening stage. *Journal of Berry Research*. 2009;15:535-543. <https://doi.org/10.1177/1082013209351868>
27. Guseynova B.M., Musaeva R.T. Nutrient profile of local breeding and introduced cherry varieties cultivated under Dagestan conditions. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2023;2-3(392):10-17. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.2-3.2>
28. Droficheva N.V. Chemical quality indicators of cherry fruit grown in southern Russia. *Scientific Works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Vitia and Winemaking*. 2023;37:163-169. (In Russ.)
29. Patzak J., Henychová A., Paprštein F. et al. Evaluation of genetic variability within sweet cherry (*Prunus avium* L.) genetic resources by molecular SSR markers. *Acta Scientiarum Polonorum*. 2019;18(3):157-165. <https://doi.org/10.24326/asphc.2019.3.15>
30. Zaremuk R.SH., Share Y.A. Sweet cherry competitive varieties for the horticulture of the Krasnodar Territory. *Gardening and Vitigrowing*. 2021;3:29-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-3-29-35>
31. Ates U., Ozturk B. Fruit Quality Characteristics of Different Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Cultivars. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*. 2022;12(1):168-177. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1000507>

About the authors

Elena V. Pismennaya —

Dr. Sci. (Agric.), Prof., Department of Land Management, Cadastre and Landscape Architecture, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>

pismennaya.elena@bk.ru

Сведения об авторах

Письменная Елена Вячеславовна —

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры землеустройства, кадастра и ландшафтной архитектуры, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>

SPIN-код: 2770-2383

pismennaya.elena@bk.ru

Margarita Y. Azarova —

Cand. Sci. (Agric.), Senior Lecturer, Department of
Agrochemistry and Plant Physiology, Stavropol State
Agrarian University, Stavropol, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-7109-1227>

azarova778@gmail.com

Akash Jamil —

PhD in Forestry and Rangeland Management, Prof., De-
partment of Rangeland, Forestry & Wildlife, Cholistan
University of Veterinary and Animal Sciences (CUVAS),
Bahawalpur, Pakistan

<https://orcid.org/0000-0003-0198-9327>

Akashjamil2@live.com

Азарова Маргарита Юрьевна —

кандидат сельскохозяйственных наук, старший
преподаватель кафедры агрохимии и физиологии
растений, Ставропольский государственный аграр-
ный университет, Ставрополь, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-7109-1227>

SPIN-код: 6737-8380

azarova778@gmail.com

Акаш Джамиль —

PhD в области лесного хозяйства и управления
пастбищными угодьями, профессор кафедры паст-
бищного лесоводства и охраны дикой природы, Чо-
листанский университет ветеринарных и зоотехни-
ческих наук, Бахавалпур, Пакистан

<https://orcid.org/0000-0003-0198-9327>

Akashjamil2@live.com

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-43-56>

Новый подход к предпосевной обработке семян: влияние низкотемпературного и микроволнового воздействия на урожайность озимой пшеницы

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Олег Николаевич Бахчевников
E-mail: oleg-b@list.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Пахомов В.И., Брагинец А.В., Бахчевников О.Н., Максак Д.А. Новый подход к предпосевной обработке семян: влияние низкотемпературного и микроволнового воздействия на урожайность озимой пшеницы. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):43-56. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-43-56> EDN GUIABP

ПОСТУПИЛА: 10.03.2026

ДОРАБОТАНА: 19.05.2026

ПРИНЯТА: 28.05.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Пахомов В.И., Брагинец А.В., Бахчевников О.Н., Максак Д.А.



В.И. Пахомов , А.В. Брагинец , О.Н. Бахчевников ,
Д.А. Максак
Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при сохранении экологического равновесия во многом определяется совершенствованием методов предпосевной обработки семян, что делает эту область исследований особенно значимой. Особый интерес представляет совершенствование метода предпосевной обработки семян СВЧ-излучением с целью раскрытия его полного потенциала.

ЦЕЛЬ. Определить влияние предпосевной обработки семян озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) последовательным воздействием охлаждения до -70°C и микроволнового излучения на ее урожайность в условиях полевого опыта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводили в 2023–2025 гг. в Ростовской области, Россия. Применяли кратковременное охлаждение семян до -70°C с последующим нагревом микроволновым излучением частотой 2450 МГц до температуры 40, 50 и 60°C . Результаты сравнивали с вариантами обработки только СВЧ-нагревом до 40, 50 и 60°C и протравливанием фунгицидом (контроль).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Комбинированное воздействие СВЧ и холода обеспечивает повышение биологической урожайности пшеницы на 9,8–19,0 % по сравнению с контролем (протравливание). Максимальная урожайность 9,62 т/га была достигнута при нагреве семян до 50°C после замораживания. Применение СВЧ-нагрева без предварительной заморозки было неэффективным. Положительный эффект достигнут за счет увеличения количества продуктивных стеблей (на 9,6–14,3 %), продуктивной кустистости (на 3,7–21,7 %) и массы чистого зерна (на 9,6–15,2 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Последовательное действие на семена холода и СВЧ-излучения имеет синергетический характер: охлаждение активирует синтез цитокининов, а микроволновое излучение стимулирует обмен веществ. Полученные результаты подтверждают перспективность физических методов как экологически безопасной альтернативы химическим способам предпосевной обработки семян.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: озимая пшеница, семена, предпосевная обработка семян, кратковременное охлаждение, СВЧ-излучение, эустресс, урожайность, структура урожайности

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-43-56>

New approach to pre-sowing seed treatment: the effect of low temperature and microwave exposure on the yield of winter wheat

CORRESPONDENCE:

Oleg N. Bakhchevnikov

E-mail: oleg-b@list.ru

FOR CITATION:

Pakhomov V.I., Braginets A.V., Bakhchevnikov O.N., Maksak D.A. New approach to pre-sowing seed treatment: the effect of low temperature and microwave exposure on the yield of winter wheat. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):43-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-43-56>

RECEIVED: 10.03.2026

REVISED: 19.05.2026

ACCEPTED: 28.05.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Pakhomov V.I., Braginets A.V., Bakhchevnikov O.N., Maksak D.A.



Viktor I. Pakhomov , Andrey V. Braginets ,
Oleg N. Bakhchevnikov , Dmitriy A. Maksak

Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Increasing crop yields while maintaining ecological balance is largely determined by improving pre-sowing seed treatment methods, which makes this area of research particularly significant. Of special interest is the improvement of the method using microwave radiation in order to realize its full potential.

AIM. To determine the effect of pre-sowing treatment of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds by sequential exposure to cooling to -70°C and microwave radiation on its yield under field experiment conditions.

MATERIALS AND METHODS. The research was conducted in 2023–2025 in Rostov Oblast, Russia. Short-term cooling of seeds to -70°C was applied, followed by heating with microwave radiation at a frequency of 2450 MHz to temperatures of 40, 50, and 60°C . The results were compared with treatments involving only microwave heating to 40, 50, and 60°C and with seed treatment (control).

RESULTS. Combined microwave and cold exposure provides an increase in biological wheat yield by 9.8–19.0% compared to the control (fungicide treatment). The maximum yield of 9.62 t/ha was achieved when seeds were heated to 50°C after freezing. The use of microwave heating without prior freezing was ineffective. The positive effect was achieved due to an increase in the number of productive tillers (by 9.6–14.3%), productive tillering capacity (by 3.7–21.7%), and clean grain weight (by 9.6–15.2%).

CONCLUSION. Sequential exposure of seeds to cold and microwave radiation is synergistic in nature: cooling activates cytokinin synthesis, while microwave radiation stimulates metabolism. The obtained results confirm the promise of physical methods as an environmentally safe alternative to chemical methods of pre-sowing seed treatment.

KEYWORDS: winter wheat, seeds, pre-sowing seed treatment, short-term freezing, microwave radiation, eustress, yield, yield structure

ВВЕДЕНИЕ

В современной аграрной науке разработка и совершенствование способов предпосевной подготовки семян является актуальным направлением исследований, нацеленным на улучшение их всхожести и, как следствие, на рост урожайности сельскохозяйственных культур [1]. Качество предпосевной подготовки семян определяет скорость и равномерность появления всходов, что особенно важно при возделывании культур в зонах рискованного земледелия. При этом все больше внимания уделяется экологически безопасным нехимическим технологиям, которые обеспечивают стимулирование прорастания семян [2]. Такая тенденция обусловлена тем, что широкое применение химических протравителей, несмотря на их доказанную эффективность против патогенов, имеет ряд существенных недостатков. К ним относятся накопление токсичных соединений в почве, формирование резистентных штаммов фитопатогенов, а также риск присутствия остаточных количеств ядовитых веществ в конечной сельскохозяйственной продукции [3].

К числу перспективных способов обработки семян относят воздействие различными физическими факторами, которые позволяют активировать биохимические процессы в семени без применения химикатов, что соответствует современным тенденциям устойчивого земледелия [4].

Одним из перспективных физических методов обработки семян считается использование микроволнового (СВЧ) излучения [5]. Было выявлено, что микроволновое излучение способствует активации физических и биохимических процессов в клетках растений, что помогает прервать состояние покоя семени и запустить процесс прорастания [6]. Под действием излучения происходит ускорение обменных реакций, повышение активности ферментов, участвующих в гидролизе запасных питательных веществ, и усиление дыхания [7], что обеспечивает более интенсивное развитие зародыша и улучшение стартовых показателей роста.

Применение СВЧ-излучения, как и других физических методов, для предпосевной обработки семян предотвращает поступление и накопление в почве токсичных веществ, входящих в состав протравителей.

В большинстве экспериментов обработка семян СВЧ-излучением положительно сказывалась на росте проростков и увеличении биомассы у разных ви-

дов растений [8; 9]. Тем не менее воздействие микроволнового излучения не во всех случаях приводило к достоверному улучшению прорастания семян. Установлено, что для каждого вида растений существует пороговый уровень интенсивности СВЧ-излучения и длительности его воздействия, превышение которого негативно сказывается на всхожести семян и жизнеспособности ростков [10].

Помимо прямой стимуляции прорастания семян, СВЧ-излучение в умеренных дозах выступает как экологический фактор, который может вызывать у растений реакции, аналогичные ответу на абиогенное стрессовое воздействие [2; 6]. Эта концепция, известная как гормезис, предполагает, что слабый стресс мобилизует защитные системы организма [11]. В некоторых научных работах отмечается, что предпосевная обработка семян микроволновым излучением в последующем повышает устойчивость растений к абиотическим стрессам [12]. Речь идет о таких факторах, как засуха, засоление почвы, а также резкие перепады температур. «Закалка» семян на начальном этапе формирует у растения своего рода «память» о стрессе, что позволяет ему в дальнейшем более эффективно и быстро реагировать на реальные угрозы в полевых условиях, более легко и быстро активируя защитные механизмы [13]. Данный факт позволяет рассматривать СВЧ-излучение как эустрессор, который способствует адаптации растений к неблагоприятным условиям окружающей среды. Таким образом, обработка перед посевом семян сельскохозяйственных культур, в частности пшеницы, микроволновым излучением потенциально может увеличить их урожайность.

Однако полевые опыты, проведенные ранее, продемонстрировали, что эффективность использования СВЧ-излучения в качестве метода обработки семян для повышения урожайности зерновых культур, в частности озимой пшеницы, уступает другим способам, таким как обработка ультрафиолетовым излучением и газообразным озоном. В полевых исследованиях, проведенных авторами настоящей статьи, также было показано, что урожайность ярового ячменя после СВЧ-обработки его семян достоверно не отличалась от контрольной группы, где применялось химическое протравливание [14]. Даже подбор оптимальных параметров обработки СВЧ способен лишь незначительно увеличить ее эффективность. Так, в результате обработки СВЧ-излучением с оптимальными параметрами семян гороха была получена прибавка урожайности

+14 % к контролю, тогда как действие УФ и озона дало прибавку +27 и +17 % соответственно [15].

Таким образом, существует необходимость в усовершенствовании потенциально перспективного способа предпосевной обработки семян СВЧ-излучением для увеличения его эффективности, выражающейся в повышении урожайности.

По нашему предположению, основанному на анализе ранее опубликованных работ, радикально повысить эффективность предпосевной обработки семян СВЧ-излучением для увеличения урожайности возможно комбинированием этого воздействия с другим способом обработки, являющимся эффективным эустрессором [2; 16].

Таким потенциальным способом обработки семян является воздействие холода — кратковременное замораживание [17]. Отрицательные температуры вызывают физический стресс у патогенных микроорганизмов, не нанося непоправимого вреда семенам, поскольку многие виды растений хорошо переносят условия, подобные криоконсервации [18]. По имеющейся информации, холодовой стресс индуцирует важные транскрипционные изменения, которые подготавливают клетки семян к быстрому росту [19]. При этом активируются гены, связанные с холодовым ответом и быстрым метаболизмом. Более того, цитокинины, также являющиеся антагонистами абсцизовой кислоты, стимулируют митотическое деление клеток [20]. Их активация в процессе охлаждения обеспечивает немедленный и сильный старт роста корня и побега сразу после посева семени в почву.

Так как в процессе действия СВЧ-излучения происходит нагрев обрабатываемых материалов [21], то обработка микроволновым излучением будет включать необходимый этап размораживания семян в сочетании со стимулирующим и дезинфицирующим действием и ускорять его осуществление.

Цель исследования — определить влияние предпосевной обработки семян озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) последовательным воздействием охлаждения до -70°C и микроволнового излучения на ее урожайность в условиях полевого опыта.

Задачи исследования: оценить изменение структуры урожайности озимой пшеницы под влиянием различных вариантов предпосевной обработки ее семян; установить оптимальные параметры комбинированного воздействия холода и микровол-

нового излучения, обеспечивающие наибольшую урожайность и положительное изменение структурных элементов урожая.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и локация исследования

Полевой опыт выполняли в 2023–2024 и 2024–2025 гг. на территории зерноградского района, расположенного на юге Ростовской области, Россия. Объектом исследований являлась мягкая озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Амбар [22]. Данный сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации в 2022 г., оригинатор — ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Почвенные условия

Почва на опытных участках была классифицирована сотрудниками «АНЦ «Донской» на основе полевых и лабораторных анализов в 2017 г. как «чернозем обыкновенный глубокий карбонатный тяжелосуглинистый» (Haplic Chernozem (Calcaric, Loamic, Pachic) согласно Международной реферативной базе по почвенным ресурсам WRB 2014 (update 2015)). Химический состав почвы свидетельствует о среднем сбалансированном уровне обеспеченности элементами питания и нейтральной реакции среды: содержание гумуса — 3,3 % (по Тюрину), общего азота — 28,3 мг/кг (по ГОСТ Р 58596–2019), подвижного фосфора — 20–25 мг/кг (по Кирсанову), обменного калия — 300–350 мг/кг (по Масловой), pH солевой вытяжки — 7,1 (по ГОСТ 26483–85).

Погодные условия

В период вегетации 2023–2024 гг. в осенний период наблюдался дефицит влаги в пахотном слое почвы. Зимой осадки были больше нормы. Весной возобновление вегетации произошло в условиях дефицита осадков (на 10–15 % ниже нормы), что замедлило кущение растений. Температура воздуха в этот период была немного выше многолетней нормы.

В 2024–2025 гг. вегетационный период характеризовался засушливыми условиями осенью (дефицит 30–40 % от нормы), нормальными зимой и значительным дефицитом осадков в апреле – июне (50–60 % ниже нормы). Температура воздуха в апреле – июне была существенно выше нормы. Такие условия привели к почвенной засухе в июне 2025 г.

Схема опыта

Полевой опыт был поставлен в четырехкратной повторности с систематическим размещением вариантов на опытном участке [23]. Однофакторный полевой опыт заложили в четырехкратной повторности. Общее количество опытных делянок составило 28 (7 вариантов × 4 повторности), каждая из которых имела размеры 30×1,2 м (36 м²). Делянки располагались параллельно, с разделительной защитной полосой между ними в 0,4 м.

Методы и оборудование для обработки семян

Предпосевная подготовка семян озимой пшеницы была осуществлена за сутки до начала посевных работ, при этом семена не увлажняли.

Семена влажностью 10–14 % вначале помещали в лабораторный морозильник «Bios Midea BD-86L108» (рисунок 1а) и охлаждали до температуры –70 °С. Температуру семян в камере контролировали с помощью термодатчиков.

Сразу после достижения этой температуры семена вынимали из морозильной камеры и помещали в экспериментальную СВЧ-установку (рисунок 1б), где обрабатывали излучением частотой 2450 МГц и мощностью 700 Вт, в результате чего семена нагревались до достижения температуры 40, 50

и 60 °С (на выходе из зоны действия магнетрона). Продолжительность воздействия СВЧ-излучения на семена, необходимая для достижения указанных температур, была определена в ходе предварительных экспериментов.

Часть семян пшеницы не подвергали кратковременному охлаждению, а нагревали в СВЧ-установке от комнатной температуры до 40, 50 и 60 °С.

Как контроль для сравнения использовали данные по структуре биологической урожайности озимой пшеницы, семена которой обрабатывали фунгицидом в поточном протравителе «Norogard-Bel R-1». Для этого использовали фунгицидный препарат «Скарлет МЭ», содержащий в качестве действующих веществ тебуконазол 60 г/л и имазалил 100 г/л. Режим протравливания: доза препарата 0,4 л/т, расход рабочей жидкости 10 л/т.

Методика посева и выращивания растений

Посев озимой пшеницы производили на опытном участке, где предшественником был черный пар. Для сева пшеницы использовали селекционную сеялку «СС-11 Альфа». Норма высева была установлена на уровне 180 кг/га, что эквивалентно 4,1 млн всхожих семян на гектар. На каждой опытной делянке высевали семена пшеницы, подвергнутые воздействию только одного из изучаемых режимов обработки.



а



б

Рисунок 1

Технические средства для предпосевной обработки семян пшеницы СВЧ и холодом: а — лабораторный морозильник «Bios Midea BD-86L108»; б — экспериментальная установка СВЧ

Figure 1

Hardware for pre-sowing treatment of wheat seeds with microwave radiation and cold: а — Bios Midea BD-86L108 laboratory freezer; б — experimental microwave radiation unit

Одновременно с посевом семян пшеницы в почву внесли минеральные удобрения (аммиачная селитра) из расчета 80 кг/га. В продолжение вегетационного периода пшеницы провели две подкормки растений с использованием аммиачной селитры (доза по 60 кг/га каждая): первая на стадии весеннего кущения, вторая была выполнена в фазе выхода в трубку.

Агротехника на опытном участке соответствовала рекомендованной для зоны: основная обработка почвы включала отвальную вспашку на 20–22 см, предпосевная культивация — на 6–8 см. Против сорняков в фазу кущения применяли гербицид Пума Супер (доза 0,4 л/га), защита от вредителей и болезней в период вегетации не проводилась для оценки фунгицидного эффекта изучаемых физических факторов.

Методы исследований

Биологическую урожайность и ее структурные элементы определяли после того, как зерно достигало фазы полной спелости¹. Биологическую урожайность определяли путем отбора снопов с площадок 1 м² перед уборкой. Комбайн «Sampo-Rozenlew SR2010» использовался для сплошной уборки делянок. Данные структурного анализа снопов приняты за основу как наиболее точные для малых делянок. Полученное в результате структурного анализа значение биологической урожайности пересчитывали на стандартную влажность 14 %.

Все числовые значения показателей биологической урожайности и ее структуры, приведенные в статье, являются средними за два года. Для подтверждения статистической значимости полученных данных полевого опыта по урожайности вычисляли наименьшую существенную разность (НСР) между выборками [23; 24]. Расчет НСР выполнили при 5 % уровне значимости (НСР₀₅). Для определения наименьшей существенной разности между средними показателями урожайности пшеницы за два года применяли метод обобщенной НСР [24]. Метод обобщенной НСР, впервые разработанный В. И. Короневским, предусматривает вычисление обобщенной наименьшей существенной разности для средних данных по ряду лет по сумме возведенных в квадрат величин НСР за каждый год, деленной на количество лет эксперимента, и извлечение из частного от деления квадратного корня [25].

При обработке результатов опытов сравнивали биологическую урожайность и ее структуру с делянок,

на которых были высеяны семена, подвергшиеся последовательному действию холода и СВЧ, с результатами делянок, где были высеяны семена, обработанные только СВЧ-излучением. Эти же результаты сравнивали с контролем (протравливание семян).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Фенологические наблюдения

Наблюдения за опытными посевами озимой пшеницы на делянках, выполняемые в продолжение всего вегетационного периода, показали, что предварительно обработанные семена дали хорошие всходы, а растения демонстрировали нормальное развитие, что в конце периода привело к получению хорошего урожая (рисунок 2).

Фенологические наблюдения показали, что длительность межфазных периодов «всходы — кущение», «кущение — выход в трубку», «выход в трубку — колошение» и «колошение — полная спелость» статистически значимо не различалась между вариантами опыта и составляла в среднем 15, 31, 28 и 44 дней соответственно при общей средней продолжительности вегетационного периода 277 дней.

Урожайность

В таблице 1 и на рисунке 3 приведены сравнительные данные по биологической урожайности озимой пшеницы, семена которой обрабатывали в различных комбинациях СВЧ-излучением и кратковременным действием холода.

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что предпосевная обработка семян, включающая последовательное применение кратковременного охлаждения и СВЧ-излучения, приводит к статистически достоверному росту биологической урожайности озимой пшеницы на 9,8–19,0 % в сравнении с традиционным методом протравливания. Наивысший показатель урожайности, составивший 9,62 т/га (на 19,0 % выше контроля), был зафиксирован при последовательном воздействии на семена холодом (–70 °С) и последующим СВЧ-нагревом до температуры 50 °С. Режимы с охлаждением до –70 °С и последующим нагревом до 40 °С и 60 °С были менее результативными, обеспечив увеличение урожайности только на 10,3 и 9,8 % соответственно.

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М. : ФГБУ «Госсорткомиссия», 2019. 329.

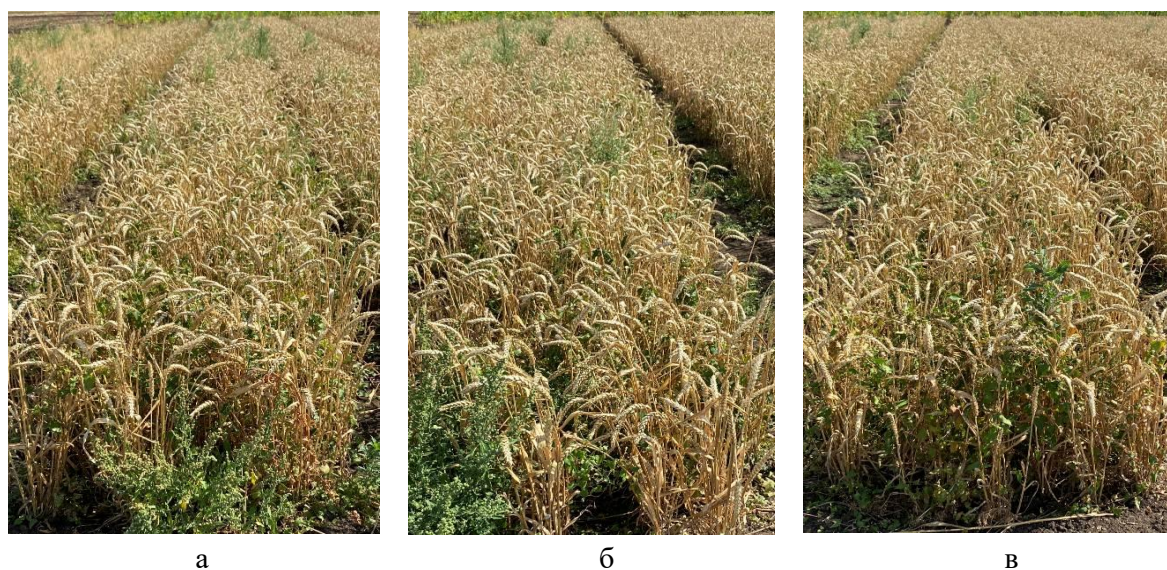


Рисунок 2

Состояние опытных посевов озимой пшеницы (в фазе полной спелости), семена которой были обработаны: а — контроль (протравливание); б — нагрев СВЧ до 50 °С; в — охлаждение до -70 °С, затем нагрев СВЧ до 50 °С

Figure 2

Condition of experimental winter wheat crops (in the full ripeness phase), the seeds of which were treated: a — control (fungicide treatment); b — microwave heating to 50°C; c — freezing to -70°C, then microwave heating to 50°C

Таблица 1

Изменение биологической урожайности озимой пшеницы в зависимости от примененного способа предпосевной обработки семян СВЧ и холодом

Table 1

Change in the biological yield of winter wheat depending on the method of seeds pre-sowing treatment with microwave radiation and cold

Вид обработки	Урожайность, т/га
Контроль (протравливание фунгицидом)	8,08
СВЧ нагрев до 40 °С	7,63
Заморозка до -70 °С, СВЧ нагрев до 40 °С	8,92*
СВЧ нагрев до 50 °С	7,31*
Заморозка до -70 °С, СВЧ нагрев до 50 °С	9,62*
СВЧ нагрев до 60 °С	9,00*
Заморозка до -70 °С, СВЧ нагрев до 60 °С	8,87*
НСР ₀₅	0,48

Примечание: * достоверно при $p \leq 0,05$

Note: * significant at $p \leq 0.05$

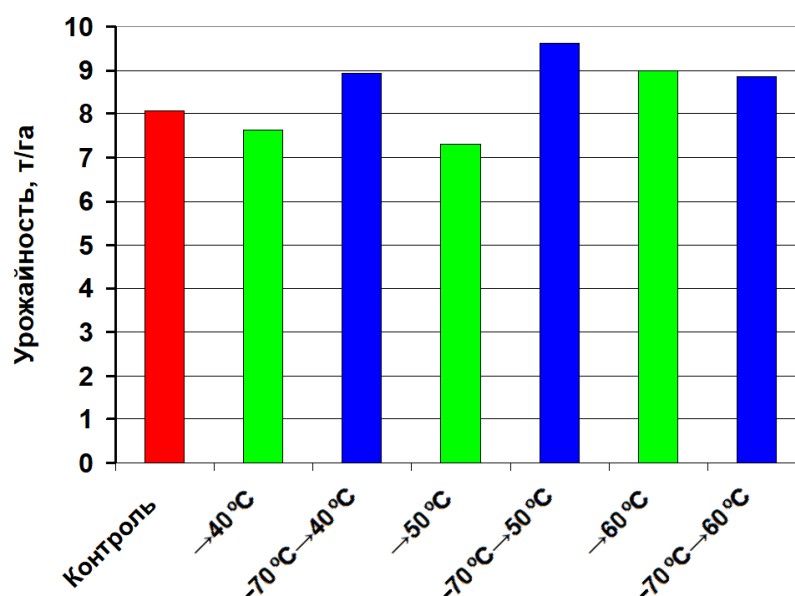


Рисунок 3

Биологическая урожайность озимой пшеницы в зависимости от примененного режима предпосевной обработки семян СВЧ-излучением и холодом

Figure 3

Biological yield of winter wheat depending on the method of pre-sowing seeds treatment with microwave radiation and cold

Обработка семян СВЧ-излучением без предварительного охлаждения в большинстве вариантов оказалась неэффективной, так как биологическая урожайность для таких делянок была достоверно меньше контрольных значений. Лишь для варианта СВЧ-обработки без заморозки с нагревом до 60 °С биологическая урожайность составила 9,0 т/га, что на 11,4 % выше контроля.

В целом, обработка семян пшеницы СВЧ после предварительной заморозки оказалась более эффективной, чем просто обработка СВЧ-излучением. Также следует отметить закономерность, согласно которой эффективность обработки семян холодом (–70 °С) и СВЧ имеет максимум при режиме нагрева до 50 °С, тогда как уменьшение или увеличение температуры нагрева от этого значения снижает урожайность пшеницы.

Сравнение данных по урожайности для режимов обработки семян СВЧ с предварительным охлаждением и без него показывает, что заморозка семян в большинстве случаев увеличивает урожайность пшеницы. Так, при использовании режима «охлаждение до –70 °С — нагрев до 40 °С» урожайность была на 16,9 % выше, чем для режима «нагрев до 40 °С». При

использовании режима «охлаждение до –70 °С — нагрев до 50 °С» урожайность была на 31,6 % выше, чем для режима «нагрев до 50 °С». И лишь для режима обработки «охлаждение до –70 °С — нагрев до 60 °С» величина урожайности достоверно не отличалась от значения для режима «нагрев до 60 °С».

Структура урожайности

Для понимания того, каким образом обработка семян СВЧ-излучением и холодом влияет на урожайность пшеницы, необходимо изучить структуру ее биологической урожайности. Ниже приведены данные по структуре биологической урожайности озимой пшеницы, семена которой были предварительно подвергнуты обработке холодом и СВЧ-излучением, в сравнении с контролем (таблица 2).

Дальнейший анализ экспериментальных данных (таблица 2) показал, что рост биологической урожайности пшеницы после обработки семян СВЧ-излучением и холодом и СВЧ был, в частности, обусловлен увеличением количества продуктивных стеблей на единицу площади (густоты продуктивного стеблестоя) (рисунок 4) и, как следствие, повышением значений продуктивной кустистости (рисунок 5).

Таблица 2

Структура биологической урожайности озимой пшеницы, семена которой были предварительно обработаны перед посевом СВЧ-излучением и холодом

Figure 2

Structure of the biological yield of winter wheat, the seeds of which were pre-treated with microwave radiation and cold before sowing

Показатель	Режим обработки							НСР ₀₅
	Контроль (фунгицид)	20→ 40 °С	–70→ 40 °С	20→ 50 °С	–70→ 50 °С	20→ 60 °С	–70→ 60 °С	
Количество растений на 1 м ² , шт.	89	94	98*	100*	87	101*	85	5
Количество продуктивных стеблей на 1 м ² , шт.	407	377	465*	412	458*	489*	446*	34
Продуктивная кустистость, шт/растение	4,57	4,01*	4,74	4,12*	5,26*	4,84*	5,25*	0,19
Масса чистого зерна с 1 м ² , г	767,8	689,4*	846,8*	728,4*	885,4*	867,4*	841,9*	42,1
Масса соломы с 1 м ² , г	1337,2	1170,1*	1578,2*	1356,6	1124,6*	1602,6*	1443,1*	94,9
Соотношение солома / зерно	1,75	1,73	1,88*	1,87*	1,30*	1,87*	1,73	0,12
Масса колоса, г	1,92	1,94	1,85*	1,70*	2,02*	1,77*	1,91	0,07
Количество зерен в колосе, шт.	43	47*	45*	46*	49*	45*	44	2
Масса 1000 зерен, г	44,26	39,48*	40,36*	38,61*	40,43*	39,61*	43,18	3,90
Биологическая урожайность, т/га	8,08	7,63	8,92*	7,31*	9,62*	9,00*	8,87*	0,48

Примечание: * достоверно при $p \leq 0,05$

Note: * significant at $p \leq 0.05$

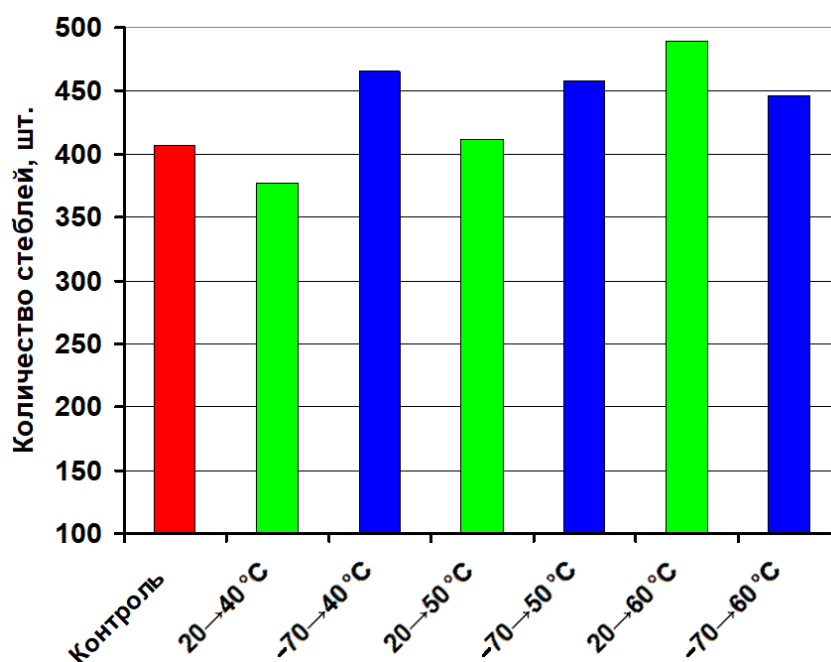


Рисунок 4

Влияние различных режимов предпосевной обработки семян озимой пшеницы СВЧ и холодом на количество продуктивных стеблей на единицу площади (густоту продуктивного стеблестоя)

Figure 4

Effect of different methods of pre-sowing treatment of winter wheat seeds with microwave radiation and cold on the number of productive stems per unit area (density of fertile tillers)

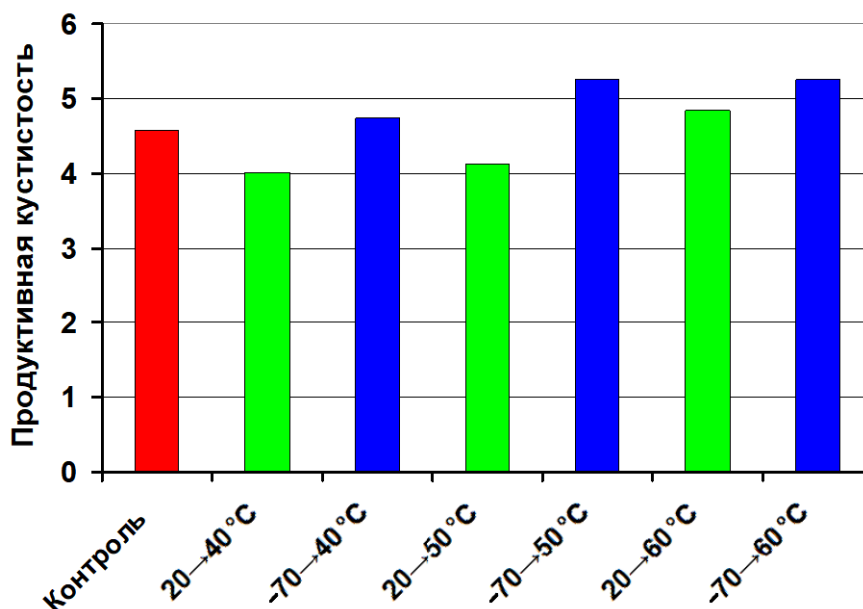


Рисунок 5

Влияние различных режимов предпосевной обработки семян озимой пшеницы СВЧ и холодом на продуктивную кустистость

Figure 5

Effect of different pre-sowing treatment regimes for winter wheat seeds with microwave radiation and cold on productive tillering

Сравнение данных для режимов обработки семян СВЧ с предварительным охлаждением и без него показывает, что заморозка семян однозначно увеличивает количество продуктивных стеблей пшеницы по сравнению с контролем в диапазоне 9,6–14,3 %. При использовании же режимов обработки семян СВЧ без охлаждения количество стеблей достоверно превысило контроль лишь для режима «нагрев до 60 °C».

Аналогично обработка семян СВЧ с предварительным охлаждением на всех режимах увеличивает значение продуктивной кустистости по сравнению с контролем на 3,7–21,7 %. При использовании режимов обработки семян СВЧ без охлаждения продуктивная кустистость достоверно превысила контроль лишь для режима «нагрев до 60 °C».

Увеличение продуктивной кустистости пшеницы в результате предпосевной обработки семян СВЧ и холодом приводит к увеличению значений количественного показателя «Масса чистого зерна с 1 м²». Установлено, что обработка семян пшеницы СВЧ-излучением с предварительным кратковременным охлаждением до –70 °C на всех примененных режимах увеличивает значения массы чистого зерна с делек на 9,6–15,2 % по сравнению с контролем. Максимальное значение для этого количественного признака было достигнуто при использовании режима «охлаждение до –70 °C — нагрев до 50 °C». При использовании режимов обработки семян СВЧ без охлаждения масса чистого зерна достоверно превысила контроль лишь для режима «нагрев до 60 °C».

Из других количественных признаков структуры урожайности пшеницы следует отметить изменения значений показателя «количество зерен в колосе» под действием СВЧ-обработки. Обработка семян только СВЧ-излучением в большинстве случаев значительно увеличивает количество зерен в колосе. После их нагрева СВЧ без заморозки значение этого показателя в среднем составило 46 шт. против 43 шт. у контроля (+7,0 %). Диапазон значений показателя «количество зерен в колосе» составил 45–47 шт., причем его значение уменьшалось по мере увеличения температуры СВЧ-обработки.

Среднее количество зерен в колосе у растений пшеницы, выращенных из семян с обработкой холодом и СВЧ-излучением, также составляет 46 шт., но в данном случае наблюдается больший разброс данных — от 44 до 49 шт. при разных режимах.

Но в то же время увеличение количества зерен в колосе не сопровождалось существенным увеличением массы колоса. Для большинства вариантов она не превысила значение контроля. Лишь для делек с режимом обработки «охлаждение до –70 °C — нагрев до 50 °C» масса колоса была на 5,2 % больше контроля.

Увеличение количества зерен в колосе при отсутствии одновременного повышения массы колоса привело к уменьшению значений массы 1000 зерен пшеницы по сравнению с контрольным вариантом для всех изученных режимов обработки семян, как только действием СВЧ, так и СВЧ и холодом.

Таким образом, предварительное кратковременное охлаждение семян озимой пшеницы до –70 °C повышает эффективность предпосевной обработки СВЧ-излучением, критерием чего служит увеличение биологической урожайности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате обработки экспериментальных данных двухлетнего полевого опыта было достоверно установлено, что применение комбинированной предпосевной обработки семян озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) последовательным воздействием холода и СВЧ-излучения является эффективным. Установлено, что применение такой обработки способствует достоверному увеличению биологической урожайности по сравнению с традиционным способом протравливания семян фунгицидом. Оптимальным режимом воздействия является кратковременное охлаждение семян до –70 °C с последующим нагревом в поле микроволнового излучения частотой 2450 МГц до температуры 50 °C. Другие температурные режимы нагрева (до 40 °C и 60 °C) в сочетании с заморозкой также продемонстрировали положительную динамику, увеличив урожайность. При этом использование только СВЧ-нагрева без предварительного замораживания в большинстве случаев не обеспечивало роста биологической урожайности, а при температуре нагрева семян 40 и 50 °C даже приводило к ее снижению относительно контроля.

Положительный эффект комбинированного воздействия холода и СВЧ проявляется в улучшении структурных элементов урожайности — увеличении количества продуктивных стеблей (густоты продуктивного стеблестоя), повышении кустисто-

сти и массы чистого зерна на единицу площади делянок. Для всех режимов обработки СВЧ, включавших предварительное охлаждение семян, было выявлено достоверное увеличение значений этих показателей.

Установленные зависимости указывают на синергетический характер взаимодействия холодогового и микроволнового факторов. Объяснением эффективности предложенного метода обработки семян холодом и СВЧ предположительно является положительное действие холодогового эустресса, ускоряющего и усиливающего прорастание семян и дальнейший рост растений. Предположительно предварительная заморозка семян может активировать биохимические процессы, связанные с холодовым ответом растений, включая синтез цитокининов и ускорение митотического деления клеток, что требует дальнейшего изучения. Последующее воздействие СВЧ-излучения не только обеспечивает размораживание семян, но и стимулирует обменные процессы, повышая энергетический потенциал прорастания. Таким образом, комбинированная обработка семян формирует у растений выраженную стрессовую устойчивость, что способствует более активному кущению и формированию большего количества продуктивных побегов.

Полученные результаты демонстрируют перспективность интеграции действия различных физических факторов в технологии предпосевной обработки семян. Комбинирование кратковременного охлаждения с воздействием СВЧ представляет собой безопасную альтернативу химическим методам стимуляции роста и обеззараживания посевного материала. Следует подчеркнуть, что эффективность метода определяется строгим соблюдением

режимов и параметров воздействия, так как отклонение температуры нагрева от оптимальных значений снижает урожайность растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты двухлетнего полевого опыта (2023–2025 гг.) достоверно подтвердили, что комбинированная предпосевная обработка семян озимой пшеницы охлаждением до -70°C и последующим микроволновым нагревом повышает биологическую урожайность на 9,8–19,0 % по сравнению с традиционным химическим протравливанием. Наивысший показатель урожайности 9,62 т/га зафиксирован при режиме замораживания с последующим СВЧ-нагревом до 50°C , тогда как СВЧ-обработка без предварительного охлаждения при температурах 40 и 50°C приводила к статистически значимому снижению урожая относительно контроля. Прирост продуктивности обеспечивался достоверным увеличением густоты продуктивного стеблестоя на 9,6–14,3, продуктивной кустистости на 3,7–21,7 и массы чистого зерна с 1 м² на 9,6–15,2 %. Выявленные количественные изменения структурных элементов урожая свидетельствуют о том, что предварительный холодоговый стресс существенно оптимизирует метаболическую активность семян для последующей СВЧ-стимуляции. В дальнейшем целесообразно уточнить физиологические и молекулярные механизмы синергизма холодогового и микроволнового факторов, а также адаптировать технологию для других зерновых культур. Полученные данные создают основу для разработки энергосберегающих и экологически безопасных технологий предпосевной подготовки семян, способных повысить урожайность и стрессоустойчивость растений.

Вклад авторов

В. И. Пахомов: административное руководство исследовательским проектом, научное руководство.

А. В. Брагинец: разработка методологии, проведение исследования.

О. Н. Бахчевников: написание черновика рукописи, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

Д. А. Максак: валидация результатов.

Contributions

V. I. Pakhomov: project administration, supervision.

A. V. Braginetz: methodology, investigation.

O. N. Bakhchevnikov: writing-original draft, writing-review & editing.

D. A. Maksak: validation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Carrera-Castano G., Calleja-Cabrera J., Pernas M. et al. An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants*. 2020;9(6):703. <https://doi.org/10.3390/plants9060703>
2. Bera K., Dutta P., Sadhukhan S. Seed priming with non-ionizing physical agents: plant responses and underlying physiological mechanisms. *Plant Cell Reports*. 2022;41(1):53-73. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02798-y>
3. Riedo J., Yokota A., Walther B. et al. Temporal dynamics of total and bioavailable fungicide concentrations in soil and their effect upon nine soil microbial markers. *Science of the Total Environment*. 2023;878:162995. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162995>
4. Rifna E.J., Ramanan K.R., Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;86:95-108. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.029>
5. Wang J., Ma H., Wang S. Application of ultrasound, microwaves, and magnetic fields techniques in the germination of cereals. *Food Science and Technology Research*. 2019;25(4):489-497. <https://doi.org/10.3136/fstr.25.489>
6. Haque N., Agrawal A., Pati A.K. A mini review on effects of microwave on seed germination. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2023;15(1):82-86. <https://doi.org/10.52711/0975-4385.2023.00012>
7. Iuliana C., Caprita R., Giancarla V. et al. Response of barley seedlings to microwaves at 2.45 GHz. *Scientific Papers: Animal Science & Biotechnologies*. 2013;46(1):185-191.
8. Maswada H.F., Sunoj V.S.J., Prasad P.V.V. A comparative study on the effect of seed pre-sowing treatments with microwave radiation and salicylic acid in alleviating the drought-induced damage in wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2021;40:48-66. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10079-3>
9. Lazim S.K., Ramadhan M.N. Effect of microwave and UV-C radiation on some germination parameters of barley seed using mathematical models of Gompertz and logistic: Analysis study. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. 2020;33(2):28-41. <https://doi.org/10.37077/25200860.2020.33.2.03>
10. Talei D., Valdiani A., Maziah M. et al. Germination response of MR 219 rice variety to different exposure times and periods of 2450 MHz microwave frequency. *The Scientific World Journal*. 2013;408026. <https://doi.org/10.1155/2013/408026>
11. Erofeeva E.A. Environmental hormesis of non-specific and specific adaptive mechanisms in plants. *Science of the Total Environment*. 2022;804:150059. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150059>
12. Araújo S.S., Paparella S., Dondi D. et al. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:646. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646>
13. Galviz Y.C., Ribeiro R.V., Souza G.M. Yes, plants do have memory. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 2020;32(3):195-202. <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00181-y>
14. Пахомов В.И., Бахчевников О.Н., Брагинец А.В. и др. Влияние предпосевной обработки семян неионизирующим излучением на урожайность ярового ячменя. *Пермский аграрный вестник*. 2025;(1):70-76. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2025_49_70
Pakhomov V.I., Bakhchevnikov O.N., Braginets A.V. et al. Effect of pre-sowing seed treatment with non-ionising radiation on spring barley yields. *Perm Agrarian Journal*. 2025;(1):70-76. (In Russ.) https://doi.org/10.47737/2307-2873_2025_49_70
15. Брагинец А.В., Бахчевников О.Н., Хоменко П.А. Влияние предпосевной обработки семян электрофизическими и химическими способами на урожайность гороха посевного. *Таврический вестник аграрной науки*. 2024;(4):8-18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14184269>
Braginets A.V., Bakhchevnikov O.N., Khomenko P.A. Effect of electrophysical and chemical methods of pre-sowing seed treatment on *Pisum sativum* L. yield. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024;(4):8-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.14184269>
16. Liu H., Able A.J., Able J.A. Priming crops for the future: rewiring stress memory. *Trends in Plant Science*. 2022;27(7):699-716. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.015>
17. Bhattacharya A. Effect of low-temperature stress on germination, growth, and phenology of plants: A review. *Physiological Processes in Plants Under Low Temperature Stress*. 2022;1-106. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9037-2_1
18. Meng A., Wen D., Zhang C. Dynamic changes in seed germination under low-temperature stress in maize. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(10):5495. <https://doi.org/10.3390/ijms23105495>

19. Yu M., Luobu Z., Zhuoga D. et al. Advances in plant response to low-temperature stress. *Plant Growth Regulation*. 2025;105(1):167-185. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01253-8>
20. Kidokoro S., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Transcriptional regulatory network of plant cold-stress responses. *Trends in Plant Science*. 2022;27(9):922-935. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.01.008>
21. Taheri S., Brodie G., Gupta D. Fluidisation of lentil seeds during microwave drying and disinfection could prevent detrimental impacts on their chemical and biochemical characteristics. *LWT-Food Science and Technology*. 2020;129:109534. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109534>
22. Киринов А.В., Марченко Д.М., Иванисов М.М. и др. Формирование урожайности и элементов структуры сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох в условиях ФГБНУ «АНЦ «Донской». *Зерновое хозяйство России*. 2024;16(3):33-39. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-92-3-33-39>
Kirin A.V., Marchenko D.M., Ivanisov M.M. et al. Formation of yield structure elements of winter bread wheat varieties when sown after peas in the conditions of the FSBSI "ARC "Donskoy". *Grain Economy of Russia*. 2024;16(3):33-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-92-3-33-39>
23. Гуреев И.И. Совершенствование методики полевого опыта. *Земледелие*. 2026;(3):18-22. <https://10.24412/0044-3913-2026-3-18-22>
Gureev I.I. Improving the field study methodology. *Zemledelie*. 2026;(3):18-22. (In Russ.) <https://10.24412/0044-3913-2026-3-18-22>
24. Логвинова Е.В., Емельянова А.А., Новикова В.Т. Оценка сортов и линий озимой пшеницы в питомнике конкурсного сортоиспытания. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019;(3):60-64.
Logvinova E.V., Emelyanova A.A., Novikova V.T. Evaluation of winter wheat varieties and lines in the nursery of competitive variety testing. *Bulletin of the Kursk State Agrarian University*. 2019;(3):60-64. (In Russ.)
25. Берестов И.И. К вопросу определения достоверности различий средних за ряд лет показателей краткосрочных полевых опытов. *Земледелие и растениеводство*. 2022;(6):16-20.
Berestov I.I. To the question of determining the reliability of short-term field experiments average differences indicators for a number of years. *Crop Farming and Plant Growing*. 2022;(6):16-20. (In Russ.)
26. Короневский В.И. К методике статистической обработки данных многолетних полевых опытов. *Земледелие*. 1985;(11):56-57.
Koronevskij V.I. To a technique of statistical data processing of long field experiments. *Agriculture*. 1985;(11):56-57. (In Russ.)

Сведения об авторах

Пахомов Виктор Иванович —

доктор технических наук, член-корреспондент РАН,
директор, Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>

SPIN-код: 5815-4913

vniizk30@mail.ru

Брагинец Андрей Валерьевич —

кандидат технических наук, научный сотрудник,
Аграрный научный центр «Донской», Зерноград,
Россия

<https://orcid.org/0000-0002-7188-4179>

SPIN-код: 6352-1932

AI.55552015@yandex.ru

About the authors

Viktor I. Pakhomov —

Dr. Sci. (Tech.), Corresponding member of RAS, Director,
Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd,
Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>

vniizk30@mail.ru

Andrey V. Braginetz —

Cand. Sci. (Tech.), Researcher, Agricultural Research
Centre Donskoy, Zernograd, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-7188-4179>

AI.55552015@yandex.ru

Бахчевников Олег Николаевич —

кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>

SPIN-код: 3350-9055

oleg-b@list.ru

Максак Дмитрий Андреевич —

аспирант, Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Россия

<https://orcid.org/0009-0001-0056-8857>

SPIN-код: 7236-3097

maksak.1998@mail.ru

Oleg N. Bakhchevnikov —

Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher,
Agricultural Research Centre Donskoy,
Zernograd, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>

oleg-b@list.ru

Dmiriy A. Maksak —

Postgraduate, Agricultural Research Centre Donskoy,
Zernograd, Russia

<https://orcid.org/0009-0001-0056-8857>

maksak.1998@mail.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-57-68>

Влияние концентрации углекислого газа, кислотности и электропроводности на продуктивность томата в условиях гидропоники Чеченской Республики

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Патимат Магомедовна Ахмедова

E-mail: apm64@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Исаева П.М., Ахмедова П.М.
Влияние концентрации углекислого газа, кислотности и электропроводности на продуктивность томата в условиях гидропоники Чеченской Республики. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):57-68. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-57-68> EDN NROLAX

ПОСТУПИЛА: 06.03.2026

ДОРАБОТАНА: 05.05.2026

ПРИНЯТА: 28.05.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Исаева П.М.,
Ахмедова П.М.



П.М. Исаева ¹, П.М. Ахмедова ² 

¹ Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, Грозный, Россия

² Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Для повышения продуктивности томата в гидропонной культуре важна точная регуляция углекислого газа (CO₂), кислотности (pH) и электропроводности (ЕС), однако их совместное действие в сочетании с различными субстратами в условиях Чеченской Республики остается недостаточно изученным.

ЦЕЛЬ. Оценить влияние концентрации CO₂, значений pH и ЕС питательного раствора на урожайность и агробиологические показатели гибридов томата Мерлис F₁ и Сантиана F₁ при гидропонном выращивании на субстратах GRODAN и BIOGROW.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проведены в тепличном комплексе ООО ТК «ЮгАгроХолдинг» (г. Грозный). Изучали четыре уровня CO₂: 400 ppm (контроль), 850, 1200 и 1500 ppm. В опыте контролировали pH в диапазоне 5,0–6,5 и ЕС 1,5–4,5 мСм/см при досветке 18 000 лк и фотопериоде 16 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что повышение CO₂ до 850–1500 ppm, поддержание pH на уровне 5,5–6,5 и ЕС 3,2–3,6 мСм/см способствуют увеличению урожайности обоих гибридов. Субстрат BIOGROW обеспечивал более высокие показатели по сравнению с GRODAN.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Наибольшая продуктивность томата достигается при сочетании повышенной концентрации CO₂, оптимальных значений pH и ЕС, а также использовании органического субстрата BIOGROW. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования технологий тепличного производства томатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: томат, гидропоника, углекислый газ, pH, электропроводность, субстрат, урожайность

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-57-68>

Effect of carbon dioxide concentration, pH, and electrical conductivity on tomato yield in hydroponics of the Chechen Republic

CORRESPONDENCE:

Patimat M. Akhmedova

E-mail: apm64@mail.ru

FOR CITATION:

Isaeva P.M., Akhmedova P.M.
Effect of carbon dioxide concentration,
pH, and electrical conductivity on tomato
yield in hydroponics of the Chechen
Republic. *Agrarian Bulletin of the North
Caucasus*. 2026;16(2):57-68. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-57-68>

RECEIVED: 06.03.2026

REVISED: 05.05.2026

ACCEPTED: 28.05.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Isaeva P.M.,
Akhmedova P.M.



Petmat M. Isaeva ¹, Patimat M. Akhmedova ² 

¹ A. A. Kadyrov Chechen State University, Russia

² Federal Agrarian Research Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. To increase tomato productivity in hydroponic cultivation, precise regulation of carbon dioxide (CO₂), acidity (pH), and electrical conductivity (EC) is essential. However, their combined effects in combination with different substrates under the conditions of the Chechen Republic remain insufficiently studied.

AIM. To evaluate the effect of CO₂ concentration, pH, and EC of the nutrient solution on the yield and agrobiological parameters of Merlis F₁ and Santiana F₁ tomato hybrids grown hydroponically on GRODAN and BIOGROW substrates.

MATERIALS AND METHODS. The research was conducted in the greenhouse complex of YugAgroHolding LLC (Grozny). Four CO₂ levels were studied: 400 ppm (control), 850, 1200, and 1500 ppm. The experiment controlled pH in the range of 5.0–6.5 and EC of 1.5–4.5 mS/cm under supplemental lighting of 18,000 lx and a photoperiod of 16 h.

RESULTS. It was found that increasing CO₂ to 850–1500 ppm, maintaining pH at 5.5–6.5, and EC at 3.2–3.6 mS/cm contribute to increased yield of both hybrids. The BIOGROW substrate provided higher performance compared to GRODAN.

CONCLUSION. The highest tomato productivity is achieved by combining elevated CO₂ concentration, optimal pH and EC values, and the use of the organic substrate BIOGROW. The obtained results can be used to improve greenhouse tomato production technologies.

KEYWORDS: tomato, hydroponics, carbon dioxide, pH, electrical conductivity, substrate, yield

ВВЕДЕНИЕ

Развитие гидропонных тепличных комплексов в Чеченской Республике отвечает современным трендам агропромышленного сектора. Технология обеспечивает полный контроль над условиями выращивания: от состава питательного раствора до микроклимата, что гарантирует стабильные урожаи высокого качества. Благодаря исключению почвы из производственного цикла удается полностью контролировать питание растений, минимизировать потери воды и удобрений, а также предотвратить накопление патогенов в субстрате. Природные преимущества региона — длительный вегетационный период и мягкая зима — создают идеальные условия для круглогодичной эксплуатации гидропонных установок. Данное преимущество формирует экономическую привлекательность выращивания овощей в регионе по сравнению с территориями с суровым климатом.

Томат является одной из главных овощных культур в Чеченской Республике. Овощ выращивают как в больших агрохозяйствах, так и на частных огородах. Развитие промышленного производства томатов способствует обеспечению продовольственной безопасности региона, созданию рабочих мест в сельской местности и развитию перерабатывающей промышленности (строительство консервных заводов) [1]¹. Подтверждением активного внедрения современных технологий служит тепличный комплекс ООО «ТК ЮгАгроХолдинг» (окрестности Грозного), где ежегодно производят около 6 тысяч тонн томатов с применением автоматизированных систем управления микроклиматом, биозащиты и опыления шмелями. Благодаря этому предприятие получает продукцию высокого качества, востребованную по всей России.

Для дальнейшего повышения эффективности тепличного производства необходим переход на более точные методы управления условиями выращивания. Томат — одна из ключевых овощных культур, широко распространенная в мировом тепличном производстве. Эта культура является основным источником фитонутриентов [2]. Тепличная технология — это гибкое решение для устойчивого круглогодичного выращивания томатов, особенно в регионах с не-

благоприятными климатическими условиями или ограниченными земельными участками и ресурсами. Точное знание потребностей растений на разных стадиях роста и при различных условиях освещения может способствовать разработке стратегий адаптивного управления для более экономичного и конкурентоспособного производства [3].

Тепличное производство томатов требует многих экологических, технологических и биологических методов для оптимизации производства и качества плодов [4]. Гидропоника как метод выращивания растений без почвы позволяет оптимизировать условия питания, контролировать водно-воздушный режим и минимизировать потери ресурсов. Гидропонная система может обеспечить хорошее качество рассады и всхожесть семян [5]. В исследовании Х. Инден и др. [6] говорится, что применение блоков из минеральной ваты и перлита в гидропонных тепличных системах для выращивания томатов способствует увеличению урожайности по сравнению с альтернативными инертными материалами.

Продуктивность томата в таких системах зависит от множества факторов, включая концентрацию углекислого газа (CO_2), параметры питательного раствора (кислотность pH и электропроводность EC) и тип субстрата. Известно, что углекислый газ является ключевым субстратом для фотосинтеза, и его дефицит в закрытом грунте часто ограничивает рост растений [7]. Повышение уровня углекислого газа до 800–1200 ppm усиливает фотосинтез и ускоряет созревание плодов². В исследованиях [8] изучалось совместное влияние повышенного уровня CO_2 (400 и 800 ppm) и разных доз азотных удобрений (100 и 200 мг/кг почвы) на урожайность и качество томатов при различных режимах орошения (от цветения до плодоношения). Результаты показали, что повышенный уровень CO_2 ослабил негативное влияние сокращенного орошения на урожайность, а сочетание сокращенного орошения, повышенного CO_2 и высокого содержания азота улучшило комплексное качество плодов. Исследование [9] рассматривает влияние повышения концентрации CO_2 в атмосфере на урожайность сельскохозяйственных культур, включая томаты. Авторы отмечают, что дополнительное обогащение воздуха углекислым газом может увеличить рост растений в среднем на 20 %, а урожайность — на 25 %. У ряда авторов [10] исследование посвящено изучению вли-

¹ Терекбаев А.А., Адаев Н.Л., Палаева Д.О., Эскиев В.В. Современная технология возделывания томатов открытого грунта в условиях Чеченской Республики : методические рекомендации. Грозный, ЧНИИСХ, 2018. 28 с.

² Jones J.B. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower. 2nd ed. CRC Press, 2016. 368 p.

яния обогащения воздуха CO_2 на рост томатов в субстрате из минеральной ваты (гидропоника) при разных условиях водоснабжения.

Наряду с углекислым газом важнейшими регулируемыми параметрами являются кислотность (pH) и электропроводность (ЕС) питательного раствора. Оптимальные значения кислотности и электропроводности питательного раствора напрямую влияют на доступность питательных веществ и здоровье корневой системы [3; 4]. Оптимальные значения pH 5,5–6,5 и ЕС 3,0–3,5 мСм/см обеспечивают доступность питательных веществ и предотвращают токсичность³. Тип субстрата определяет водно-воздушный режим, что сказывается на развитии корневой системы и общем состоянии растения. Оптимизация этих параметров позволяет не только увеличить урожайность, но и снизить затраты на удобрения, улучшить качество продукции и сделать технологию более ресурсосберегающей [7].

Кроме того, на конечный результат влияют внешние условия и состояние здоровья растений. Уровень радиации, температура, влажность, ветровая и снеговая нагрузки накладывают определенный отпечаток на технологию выращивания томата, чем и обуславливают актуальность проблемы разработки научно обоснованных элементов технологий их производства, обеспечивающих высокую урожайность овощных растений и экологически чистую внесезонную продукцию [11].

Важно также учитывать запросы конечных потребителей. Современные потребители при выборе томатов обращают внимание не только на внешний вид плодов, форму, но и на пищевую ценность, которая с каждым годом приобретает большее значение у потребителей [12; 13]. На качество плодов томата оказывают влияние не только генетические особенности сорта, но и факторы окружающей среды (параметры микроклимата), а также элементы технологии выращивания [14].

Сахара и органические кислоты, которые составляют значительную долю сухого вещества томатов, имеют большее отношение к вкусовым качествам, чем к питательной ценности томатов, причем антиоксиданты томатов играют важную роль в последнем аспекте [15].

Томат обладает огромным потенциалом гетерозиса в отношении скороспелости, общей урожайности, характеристик устойчивости и однородности. Гибриды томатов будут по-прежнему преобладать в сельскохозяйственном производстве с высокими технологическими затратами, где они могут демонстрировать свои преимущества [16]. Основой получения высоких урожаев томата является создание сортов и гибридов, обладающих высокими значениями хозяйственно ценных признаков, способных обеспечить эффективность производства и качество продукции с наименьшими затратами труда. Получение гибридных семян у томата связано с большими затратами ручного труда, что является одной из причин их высокой стоимости [17].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности тепличного производства в Чеченской Республике, где умеренные зимы и продолжительный вегетационный период создают благоприятные предпосылки для круглогодичного выращивания томатов, но без адаптации параметров CO_2 , pH, ЕС и типа субстрата к локальным условиям эти преимущества остаются нереализованными. Хотя интерес к технологиям защищенного грунта продолжает расти, существующие данные фрагментарны и не дают возможности однозначно установить наилучшие сочетания факторов среды для максимальной продуктивности культуры в данном регионе.

Цель исследования — изучить влияние концентрации CO_2 , pH и ЕС питательного раствора, а также типа субстрата на продуктивность томата в гидропонных системах. Задачи: 1) оценить эффект различных концентраций CO_2 на рост, развитие и урожайность томата; 2) определить оптимальные диапазоны pH и ЕС питательного раствора для разных фаз вегетации; 3) сравнить эффективность органических и неорганических субстратов; 4) выявить взаимодействие изучаемых факторов и их комплексное влияние на агробиологический потенциал культуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Место, объект и условия исследования

Экспериментальные исследования проводились в тепличном хозяйстве ООО «ТК ЮгАгроХолдинг», за-

³ Котов В.П., Адрицкая Н.А., Пуць Н.М. и др. Овощеводство. СПб.: Лань, 2022. 496 с.

нимающем общую площадь 8,99 гектара и расположенном в Чеченской Республике, в городе Грозный, Ленинском районе, в селе Алхан-Чурт, на правом берегу реки Нефтянка. Опыты проводились в лабораторных и полевых условиях.

Схема опытов и факторы:

Опыт 1. Гибрид томата (фактор А): Мерлис F₁; Сантиана F₁. Уровни CO₂ (фактор В): 400 ppm (контроль); 850 ppm; 1 200 ppm; 1 500 ppm. Субстрат (фактор С): Grodan (минеральная вата); Biogrow (органический субстрат). Повторность 3-кратная, по 3 растения в деланке. Трехфакторный опыт (гибрид × уровень CO₂ × субстрат). Общее число вариантов: 2 (гибрид) × 4 (CO₂) × 2 (субстрат) = 16 вариантов. Контроль: вариант с гибридом Мерлис F₁ на субстрате Grodan при 400 ppm CO₂ (урожайность 50,2 кг/м²). Условия выращивания (одинаковые для всех вариантов): температура 22±2 °С, влажность 65±5 %, световой день 16 ч, досветка 18 000 люкс, состав питательного раствора N:P:K=18:6:20

Использовались изолированные блоки теплицы для каждого уровня CO₂, чтобы исключить перекрестное влияние концентраций газа.

Опыт 2. Тип субстрата (фактор А): GRODAN (минеральная вата); BIOGROW (органический субстрат). Параметры питательного раствора (фактор В): pH 5,56 (GRODAN), 5,60 (BIOGROW); ЕС 3,6 мСм/см (GRODAN), 3,2 мСм/см (BIOGROW). Повторность 3-кратная, по 3 растения в деланке.

Методы измерений и учетные показатели

Этапы развития: рассадный период, цветение 1–3 кисти, 3–5 кистей, 5–10 кистей. Параметры контроля: pH (5,0–6,5), ЕС (1,5–4,5 мСм/см). Минеральные субстраты были изготовлены из каменной ваты компании GRODAN (Нидерланды), а органические — из кокосового волокна BIOGROW (Франция). Для эксперимента использовались гибриды томатов Мерлис F₁ и Сантиана F₁. Исследования проводились в период с 2019 по 2022 год в условиях продленного оборота. Агротехнические мероприятия включали посадку рассады в конце января, когда ее возраст составлял

45–50 дней, и плотность посадки составляла 2,5 растения на квадратный метр. Условия выращивания: температура: 22±2 °С; влажность: 65±5 %; световой день: 16 ч; состав раствора: N:P:K = 18:6:20; досветка: 18 000 лк. Для измерения pH и электрической проводимости (ЕС) в ООО «ТК ЮгАгроХолдинг» использовались приборы немецкого производства фирмы STEP GmbH: портативный кондуктометр ЕСО ЕС и портативный pH-метр ЕСО pH. Эти устройства оснащены multifunctional дисплеями.

Тепличный комбинат ООО «ТК ЮгАгроХолдинг» оснащен полностью автоматизированными системами климат-контроля «Sercot», которые управляют следующими параметрами:

1. Питание растений.
2. Влажностный режим и защита от перегрева.
3. Тепловой и световой режимы в дневное и ночное время.
4. Подача диоксида углерода (CO₂).
5. Измерение и регулирование температуры и влажности воздуха.

Исследования проводились в соответствии с «Методическими рекомендациями по проведению опытов с овощными культурами в сооружениях защищенного грунта»⁴ и Методики полевого опыта в овощеводстве^{5, 6}.

В теплице применяется малообъемная технология выращивания овощей на различных субстратах. Учетные показатели: урожайность (кг/м²); среднесуточный рост (см/сутки); число плодов на растение; средняя масса плода (г); коэффициент эффективности (кг/м² на ед. ЕС). Статистическая обработка: дисперсионный анализ, расчет HCP_{0,05}, корреляционный анализ (Statistica 10.0, Microsoft Excel).

Выбор гибридов Мерлис F₁ и Сантиана F₁ для исследований обусловлен их адаптацией к условиям защищенного грунта, высокой урожайностью, устойчивостью к некоторым заболеваниям и пригодностью для продленного оборота. Эти характеристики делают их перспективными для экспериментов в гидропонных системах и при интенсивной досветке. Гибрид Мерлис F₁ предназначен для выращивания в продленном обороте на искусственных субстратах. Это подтверждается его включе-

⁴ Методические указания по селекции сортов и гибридов томата для открытого и защищенного грунта. М. : ВНИИССОК, 1986. 64 с.

⁵ Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М. : Россельхозакадемия, 2011. 649 с.

⁶ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

нием в Госреестр селекционных достижений РФ с рекомендацией для Центрального и Волго-Вятского регионов. Гибрид имеет комплексную устойчивость к ряду заболеваний, включая: высокую устойчивость (*HR*) к мозаике томата (*ToMV:0-2*), бурой пятнистости листьев (*Ff:A-E*), фузариозному увяданию (*Fol:0,1*), фузариозной гнили корневой шейки и корней (*For*), вертициллезному увяданию (*Va:0/Vd:0*). Гибрид Сантиана F_1 разработан для выращивания в продленном обороте и на светокультуре. Отличается высокой ранней и общей урожайностью, хорошей товарностью плодов. При выборе этих гибридов для исследований также учитывались их популярность в профессиональном овощеводстве, доступность семян от надежных производителей (De Ruiter Seeds, Rijk Zwaan) и опыт предыдущих успешных культиваций в схожих условиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние уровня CO_2 на урожайность

Углекислый газ — один из основных факторов окружающей среды. В окружающем воздухе уровень углекислого газа на сегодняшний день составляет 420 ppm, или 0,042 %. Повышение концентрации углекислого газа в воздухе повышает интенсивность фотосинтеза в 2–3 раза. Дозируя углекислый газ, можно добиться

сокращения продолжительности вегетативной фазы развития растений, обеспечивая тем самым получение раннего урожая. Исследования в тепличном комплексе ООО «ТК ЮгАгроХолдинг» показали эффективность повышения уровня углекислого газа в зависимости от субстратов (таблица 1). Эксперимент был проведен при температуре 22 ± 2 °C, влажности 65 ± 5 %, световом дне 16 ч, составе раствора N:P:K=18:6:20.

Экспериментальные данные в таблице отражают влияние уровня CO_2 (400–1 500 ppm) и типа субстрата (Grodan/Biogrow) на урожайность гибридов Мерлис F_1 и Сантиана F_1 при гидропонном выращивании. Для обоих гибридов зафиксировано последовательное повышение урожайности с ростом концентрации CO_2 от 400 до 1 500 ppm. В нашем эксперименте максимальный прирост урожайности относительно контроля отмечен у гибрида Мерлис F_1 — до 24,7 % при 1 500 ppm CO_2 , тогда как у Сантианы F_1 прирост составил 20,2 %. Это указывает на генотипическую специфику реакции разных гибридов на изменение концентрации углекислого газа. На всех уровнях CO_2 субстрат Biogrow обеспечивал статистически значимую прибавку урожайности: 6,6–9,0 % для Мерлис F_1 и 6,7–8,7 % для Сантианы F_1 по сравнению с Grodan. Вероятно, это связано с лучшими водно-воздушными свойствами Biogrow, обеспечивающими оптимальный режим влагообеспечения и питания корневой системы.

Таблица 1

Урожайность гибридов томатов Мерлис F_1 и Сантиана в зависимости от субстрата при разном уровне CO_2

Table 1

Yield of tomato hybrids Merlis F_1 and Santiana depending on the substrate at different CO_2 levels

Гибрид томата	Досветка (люкс)	Уровень CO_2 (ppm)	Grodan (кг/м ²) $\pm Sx$	Biogrow (кг/м ²) $\pm Sx$	Прибавка (%)	Прирост к контролю (%)	p значение
Мерлис F_1	18 000	400 (контр.)	50,2 $\pm$ 1,1	53,5 $\pm$ 1,3	6,6	0	—
	18 000	850	58,1 $\pm$ 1,2	62,4 $\pm$ 1,4	7,4	15,7	p < 0,05
	18 000	1200	61,5 $\pm$ 1,3	66,7 $\pm$ 1,5	8,5	22,9	p < 0,01
	18 000	1500	62,2 $\pm$ 1,3	67,8 $\pm$ 1,5	9,0	24,7	p < 0,01
Сантиана F_1	18 000	400 (контр.)	55,4 $\pm$ 1,2	59,1 $\pm$ 1,4	6,7	0	—
	18 000	850	61,9 $\pm$ 1,3	67,3 $\pm$ 1,5	8,7	11,7	p < 0,05
	18 000	1200	65,6 $\pm$ 1,4	71,1 $\pm$ 1,6	8,4	18,6	p < 0,01
	18 000	1500	66,4 $\pm$ 1,4	71,8 $\pm$ 1,6	8,1	20,2	p < 0,01
НСР 0,05			1,50 кг/м ²		—		
НСР 0,05 фактор А			0,53		—		
НСР 0,05 фактор В			0,75		—		
НСР 0,05 фактор С			0,53		—		

Значимость различий на уровнях $p < 0,05$ и $p < 0,01$ подтверждает, что наблюдаемые эффекты обусловлены именно варьированием факторов (CO_2 , субстрат, гибрид), а не случайными отклонениями. Полученные результаты согласуются с данными других исследований [7; 9], демонстрирующих положительное влияние обогащения воздуха CO_2 на продуктивность томатов в условиях защищенного грунта. Все представленные в таблице приросты урожайности (11,7–24,7 %) превышают НСР, что подтверждает статистическую значимость влияния факторов CO_2 и субстрата на урожайность томатов.

Гибрид (А): влияние значимо ($F = 211,6 > 4,15$). Сантиана F_1 (63,4 кг/м²) достоверно превосходит Мерлис F_1 (58,6 кг/м²) на 4,8 кг/м² ($> \text{НСР}_{0,05} = 0,53$ кг/м²). Уровень CO_2 (В): влияние крайне значимо ($F = 268,8 > 2,90$). Максимальный эффект при 1200–1 500 ppm. Разница между крайними уровнями (400 и 1 500 ppm) составляет 10,0 кг/м² ($> \text{НСР}_{0,05} = 0,75$ кг/м²). Субстрат С: влияние значимо ($F = 270,1 > 4,15$). Biogrow (64,0 кг/м²) дает прибавку 6,1 кг/м² по сравнению с Grodan (57,9 кг/м²) ($> \text{НСР}_{0,05} = 0,53$ кг/м²).

Значимые взаимодействия АВ и ВС указывают на то, что эффект CO_2 различается для гибридов (Мерлис сильнее реагирует на повышение CO_2); влияние субстрата зависит от уровня CO_2 . Влияние субстрата не зависит от гибрида (АС): эффект от использования субстратов Grodan и Biogrow проявляется одинаково у обоих гибридов — Мерлис F_1 и Сантиана F_1 . То есть прибавка урожайности от Biogrow по сравнению с Grodan примерно одинакова для обоих гибридов (6,6–9,0 % для Мерлиса и 6,7–8,7 % для Санти-

аны) и не зависит от генотипа растения. Отсутствие тройного взаимодействия (АВС): реакция гибридов на разные уровни CO_2 не меняется в зависимости от типа субстрата. Это означает, что закономерности влияния CO_2 (последовательный рост урожайности с повышением концентрации) наблюдаются одинаково на обоих субстратах; эффективность субстрата Biogrow сохраняется при всех уровнях CO_2 как для Мерлиса F_1 , так и для Сантианы F_1 ; нет особых комбинаций «гибрид + субстрат + CO_2 », которые давали бы неожиданный (синергетический или антагонистический) эффект.

Положительная линейная зависимость — $y = 0,0122x + 50,24$, $R^2 = 0,89$ — прогнозируемая урожайность (кг/м²); x — уровень CO_2 (ppm); 0,0122 — коэффициент регрессии: показывает, что при повышении концентрации CO_2 на 1 ppm урожайность томатов в среднем увеличивается на 0,0122 кг/м²; 50,24 — свободный член уравнения (точка пересечения с осью Y). Уравнение показывает, что урожайность томатов линейно растет с повышением концентрации CO_2 в диапазоне, изученном в эксперименте (400–1500 ppm). Значение $R^2 = 0,89$ свидетельствует о сильной связи между уровнем CO_2 и урожайностью. Прирост CO_2 на каждые 100 ppm дает прибавку урожайности около 1,22 кг/м². Значимость фактора CO_2 ($F = 268,8 > F$ -критического 2,90) в таблице 2 подтверждает, что влияние CO_2 на урожайность достоверно и не случайно.

Рисунок 1 наглядно демонстрирует зависимость урожайности гибридов томатов Мерлис F_1 и Сантиана F_1 от уровня концентрации CO_2 при выращивании в условиях гидропоники с досветкой 18 000 люкс.

Таблица 2

Математическая обработка 3-факторного дисперсионного анализа (гибрид × уровень CO_2 × субстрат)

Table 2

Mathematical processing of three-way analysis of variance (hybrid × CO_2 level × substrate)

Источник вариации	Степени свободы (<i>df</i>)	Сумма квадратов (<i>SS</i>)	Средний квадрат (<i>MS</i>)	<i>F</i> -наблюдаемое	<i>F</i> -критическое (0,05)	Значимость
Гибрид (А)	1	172,8	172,8	211,6	4,15	Значим
CO_2 (В)	3	658,2	219,4	268,8	2,90	Значим
Субстрат (С)	1	220,5	220,5	270,1	4,15	Значим
АВ (взаимодействие)	3	12,6	4,2	5,1	2,90	Значим
АС (взаимодействие)	1	0,9	0,9	1,1	4,15	Не значим
ВС (взаимодействие)	3	8,4	2,8	3,4	2,90	Значим
АВС (взаимодействие)	3	2,1	0,7	0,86	2,90	Не значим
Ошибка	32	26,1	0,816	—	—	—
Общая	47	1 091,6	—	—	—	—

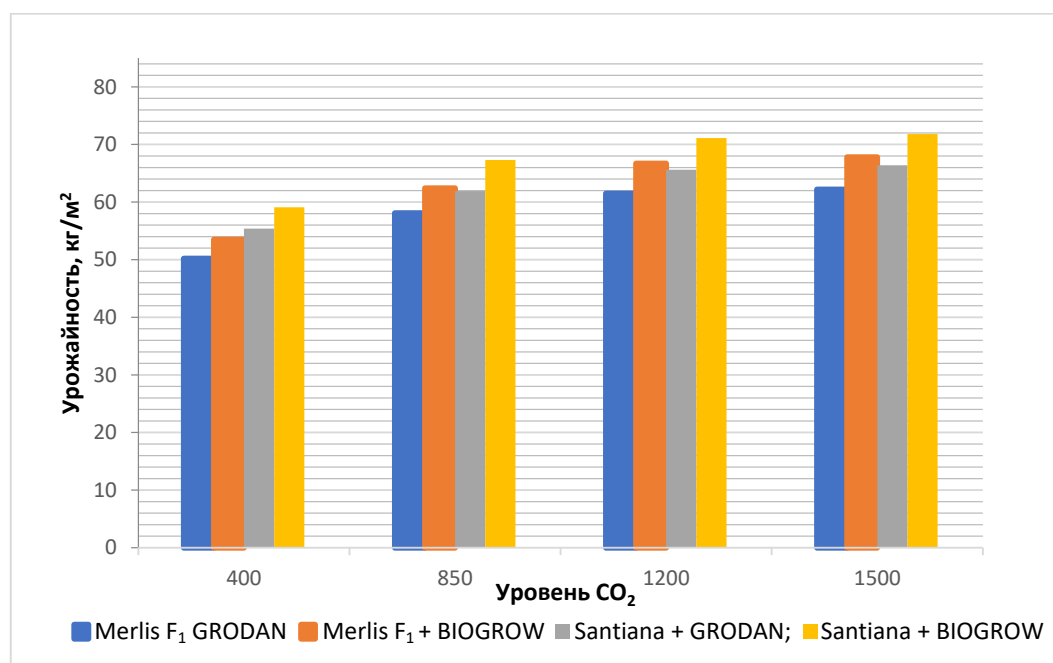


Рисунок 1

Влияние уровня концентрации CO₂ на урожайность

Figure 1

Effect of CO₂ concentration level on yield

Полученные данные подтверждают целесообразность применения контролируемого обогащения CO₂ в тепличных комплексах для повышения эффективности гидропонного выращивания томатов.

Влияние типа субстрата на урожайность

Для оптимального управления подачей питательных веществ в субстратах необходимо учитывать химический состав субстратного раствора, концентрацию и взаимное соотношение ионов в подаваемом питательном растворе и дренаже, уровень воды и влажность, pH, ЕС (электропроводность), температуру, свет (лучистая энергия и досветка), объем и форму субстрата, плотность корневой системы и т. д.

В таблице 3 представлены результаты экспериментального изучения влияния двух субстратов (GRODAN и BIOGROW) на агробиологические показатели томата гибрида Мерлис F₁ в условиях гидропоники при интенсивной досветке (18 000 лк). Эти показатели представляют собой усредненные значения 2019–2022 гг. выращивания (в нашем случае — за продленный оборот) в питательном растворе.

Субстрат BIOGROW демонстрирует превосходство над GRODAN по всем ключевым показателям:

урожайность выше на 6,3; число плодов — на 7,1; масса плода — на 2,4; коэффициент эффективности — на 9,3 %. Среднесуточный линейный рост (см/сутки) — индикатор скорости вегетации. Увеличение на 3,2 % для BIOGROW согласуется с приростом урожайности, указывая на стимулирование ростовых процессов.

Число плодов/растение и средняя масса плода (г) — компоненты структуры урожая. BIOGROW обеспечивает как большее количество плодов (на 7,1 %), так и их повышенную массу (на 2,4 %), что объясняет суммарный прирост продуктивности. Коэффициент эффективности (кг/м² на ед. ЕС) — расчетный показатель, отражающий отдачу на единицу минерального питания. Значение 19,36 для BIOGROW против 16,69 для GRODAN свидетельствует о более рациональном использовании питательных веществ.

Физико-химические параметры корневой зоны (pH, ЕС) остаются в допустимых пределах, исключая токсическое воздействие солей или дисбаланс кислотности. Увеличение урожайности обусловлено как количественным (больше плодов), так и качественным (большая масса плода) факторами. BIOGROW обеспечивает более рациональное использование минеральных веществ, что важно для снижения затрат на удобрения.

Эти результаты согласуются с выводами исследований по субстратам [5; 6], где субстраты на основе органических компонентов также показали повышенную эффективность по сравнению с минеральной ватой за счет лучшей аэрации и влагоемкости. В работах по морфологии корневой системы [11] отмечено, что субстраты с высокой пористостью стимулируют развитие корневой системы, что косвенно влияет на поглощение питательных веществ и, как следствие, на продуктивность растений.

Оптимальные параметры pH и ЕС

В рамках исследования мы придерживались рецептуры минерального питания томата, разработанной с учетом фаз развития растения. Основой для нашей работы послужили исследования М. П. Ладогина [18] и публикации

А. Б. Хорошкина, Д. В. Юнга [19]. Авторы акцентируют внимание на необходимости корректировки состава питательных растворов в зависимости от фазы развития растения, что позволяет оптимизировать урожайность и качество продукции. Мы адаптировали предложенные рекомендации с учетом конкретных условий нашего эксперимента (тип субстрата, система полива, климатические условия), что позволило достичь стабильных результатов в выращивании томата в защищенном грунте. Данные исследования выявили оптимальные значения pH и ЕС на разных этапах развития растений (таблица 4).

Оптимальные значения ЕС в растворах должны повышаться на разных этапах роста растений (таблица 5). Оптимальный уровень pH при разных этапах развития в растворах составляет 5,5; в матах значение pH должно повышаться до 5,5–6,5.

Таблица 3

Урожайность томата Мерлис F₁ в зависимости от pH и ЕС субстрата с досветкой 18 000лк

Table 3

Yield of tomato Merlis F₁ depending on substrate pH and EC under supplemental lighting of 18,000 lx

Субстрат	pH	ЕС (мСм/см)	Урожайность (кг/м ²) ± S _x	Среднесуточный рост (см/сутки) ± S _x	Число плодов/растение	Средняя масса плода (г)	Прибавка к GRODAN (%)	Коэффициент эффективности (кг/м ² на ед. ЕС)
GRODAN	5,56	3,6	60,1 ± 1,2	3,09 ± 0,05	28 ± 1	125 ± 3	—	16,69
BIOGROW	5,60	3,3	63,9 ± 1,1	3,19 ± 0,04	30 ± 1	128 ± 3	6,32	19,36

Таблица 4

Значения pH и ЕС на этапах выращивания растений томата в рассадной

Table 4

pH and EC values at tomato seedling stage

Этап выращивания	pH	ЕС мСм/см ²
Пропитка кубиков	5,0	1,5
Период прорастания	5,0	1,5
Появление всходов	5,5	2,0
10–21-е сутки (до высадки на произв. площадь)	5,5–5,7	3,0
Пропитка матов до высадки растений	5,5	2,5
Полив	5,7	2,5–2,7

Таблица 5

Оптимальные pH и ЕС в разные периоды роста томатов

Table 5

Optimal pH and EC values during different tomato growth periods

Показатели	В растворах				В матах
	Рассадной	Цветение			
		1–3 кисти	3–5 кисти	5–10 кисти	
pH	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5–6,5
ЕС	1.8	2.3	3.0–3.2	3.0–3.6	до 4.5

Оптимальные значения ЕС в растворах должны повышаться на разных этапах роста растений: в период цветения 1–3 кисти 2,3 мСм, в период цветения 3–5 кисти и 5–10 кисти повышается до 3–3,6 мСм. В матах показатель ЕС должен быть до 4,5 мСм. Увеличение концентрации солей в растворе замедляет поступление воды в корни. Но нехватка некоторых элементов, например бора или марганца, может привести к отравлению корней.

Недостаток или избыток питания растений может быть обусловлен не только их количеством, но и возможным проявлением антагонизма и синергизма при их поглощении из почвы и усвоении из удобрений. В итоге это отражается на питании культур, урожайности и качестве [20].

Полученные диапазоны pH (5,5–6,5) и ЕС (1,8–4,5 мСм/см) согласуются с рекомендациями [4] для гидропонного выращивания томатов. В частности, авторы [3] подчеркивают, что поддержание pH в диапазоне 5,8–6,2 обеспечивает максимальную доступность фосфора и микроэлементов. В работе Н. А. Адаева, П. М. Исаева, А. Г. Амаева [7] показано, что превышение ЕС выше 4,0 мСм/см на поздних стадиях развития может вызвать осмотический стресс, что подтверждается нашими данными: при ЕС > 4,5 мСм/см наблюдалось снижение темпов роста и качества плодов. Таким образом, комплексное управление уровнем CO₂, выбором субстрата и контролем pH/ЕС позволяет существенно повысить уро-

жайность томатов в условиях защищенного грунта. Наибольший эффект достигается при сочетании повышенного содержания CO₂ (850–1500 ppm), использования субстрата BIOGROW и строгого соблюдения оптимальных параметров питательного раствора на каждом этапе развития растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили комплексно оценить влияние CO₂, типа субстрата, pH и ЕС на продуктивность томата в условиях гидропоники Чеченской Республики. Установлено, что повышение концентрации углекислого газа до 850–1500 ppm, поддержание pH в диапазоне 5,5–6,5 и ЕС 3,2–3,6 мСм/см достоверно увеличивают урожайность гибридов Мерлис F₁ и Сантиана F₁. Гибрид Мерлис F₁ показал более высокую отзывчивость на обогащение CO₂, что свидетельствует о генотипической специфике. Органический субстрат BIOGROW превосходит минеральный GRODAN по урожайности и эффективности использования питательных веществ благодаря лучшим водно-воздушным свойствам. Наибольшая продуктивность достигнута при сочетании повышенного CO₂, субстрата BIOGROW и фазовой корректировки pH и ЕС. Полученные результаты могут быть масштабированы в тепличных хозяйствах для повышения рентабельности и снижения ресурсозатрат.

Вклад авторов

П. М. Исаева: проведение исследования, формальный анализ, валидация результатов, визуализация, написание черновика рукописи.

П. М. Ахмедова: разработка концепции, разработка методологии, административное руководство исследовательским проектом, научное руководство, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

Contributions

P. M. Isaeva: investigation, formal analysis, validation, visualization, writing-original draft.

P. M. Akhmedova: conceptualization, methodology, project administration, supervision, writing-review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Магоматов А.С., Оказова З.П., Магоматов С.А. Применение регуляторов роста на основе гуминовых веществ для возделывания томатов в условиях открытого грунта лесостепи Чеченской Республики. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2026;1:45-50. https://doi.org/10.55186/25876740_2026_69_1_88
Magomadov A.S., Okazova Z.P., Magomadov S.A. Application of growth regulators based on humic substances for cultivation of tomatoes in open-ground conditions of the forest-steppe of the Chechen Republic. *International Agricultural Journal*. 2026;1:45-50. (In Russ.) https://doi.org/10.55186/25876740_2026_69_1_88

2. Mauro R.P., Rizzo V., Leonardi C. et al. Influence of harvest stage and rootstock genotype on compositional and sensory profile of the elongated tomato cv. "Sir Elyan.". *Agriculture*. 2020;10(3)82. <https://doi.org/10.3390/agriculture10030082>
3. Shamshiri R.R., Jones J.W., Thorp K.R. et al. Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International Agrophysics*. 2018;32(2):287-302. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005>
4. Franco J.L., Rodriguez N., Diaz M. et al. Influence of different pruning methods in cherry tomato grown hydroponically in a cropping spring cycle: effects on the production and quality. *International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics*. 2008;843:165-170. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.843.20>
5. Mehwish L., Arshad M.M., Muhammad I. et al. Evaluation of Growth Parameters and Germination Behaviour of Different Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivars under Hydroponic Condition. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 2020;33(3):1-6. <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.3.544.549>
6. Inden H., Torres A. Comparison of four substrates on the growth and quality of tomatoes. *International Symposium on Growing Media and Hydroponics*. 2004;644:205-210. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.644.27>
7. Адаев Н.Л., Исаева П.М., Амаева А.Г. Влияние уровня углекислого газа на урожайность томатов в условиях гидропоники. *Особенности развития сельского хозяйства в Российской Федерации : материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Грозный, 21 октября 2022 года. Грозный : Чеченский государственный университет имени Ахмата Абдулхамидовича Кадырова. 2022.103-108. <https://doi.org/10.36684/81-2022-1-103-108>
Adaev N.L., Isaeva P.M., Amaeva A.G. The effect of carbon dioxide levels on tomato yields under hydroponic conditions. *Features of agricultural development in the Russian Federation : proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Grozny, October 21, 2022. Grozny : Akhmat Abdulhamidovich Kadyrov Chechen State University. 2022.103-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.36684/81-2022-1-103-108>
8. Wey Z., Du T., Li X. et al. Interactive effects of elevated CO₂ and N fertilization on yield and quality of tomato grown under reduced irrigation regimes. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:328. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00328>
9. Idso C.D., Idso K.E. Forecasting world food supplies: the impact of the rising atmospheric CO₂ concentration. *Technology*. 2000;7(S)33-56. <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2013-5-14>
10. Akhlaq M., Zhang C., Yan H. et al. Response of tomato growth to continuous elevated CO₂ concentration under controlled environment. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering (IJABE)*. 2022;15(6):51-59. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221506.7418>
11. Ахмедова П.М. Оценка новых гибридов томата в защищенном грунте. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021;1:37-41. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/37-41>
Akhmedova P.M. Assessment of new tomatoes hybrids in a covered crop. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2021;1:37-41. (In Russ.) <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/37-41>
12. Causse M., Buret M., Robini K. et al. Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science*. 2003;68(7):2342-2350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05770.x>
13. Wang F., Kang S., Du T. et al. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. *Agricultural Water Management*. 2011;98(8):1228-1238. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.03.004>
14. Krumbein A., Schwarz D. Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants? *Scientia Horticulturae*. 2013;149:97-107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.003>
15. Petrovic I., Savic S., Jovanovic Z. et al. Fruit quality of cherry and large fruited tomato genotypes as influenced by water deficit. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019;106(2):123-128. <https://doi.org/10.13080/z-a.2019.106.016>
16. Cheema D.S., Dhaliwal M.S. Hybrid tomato breeding. *Journal of New Seeds*. 2004;6(2-3):1-14. https://doi.org/10.1300/J153v06n02_01

17. Добродькин А.М., Добродькин М.М., Пугачева И.Г. и др. Экономическая эффективность возделывания в открытом и защищенном грунте гибридов томата с повышенной лежкостью плодов. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;1:132-136. EDN: ECVOES
Dobrodkin A.M., Dobrodkin M.M., Pugacheva I.G. et al. The economic efficiency of cultivating tomato hybrids with increased fruit shelf life in open and protected soil. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2023;1:132-136. (In Russ.)
18. Ладогина М.П. О корректировке питательных растворов при выращивании плодовоовощных культур на минеральной вате. Гавриш, [gavrishshop.ru];1999
Ladogina M.P. On the correction of nutrient solutions in the cultivation of fruit and vegetable crops on mineral wool. Gavrish, [gavrishshop.ru];1999.
19. Хорошкин А.Б., Юнг Д.В. Обновленная рецептура питания томата и огурца в защищенном грунте. Гавриш, [gavrishshop.ru];2020 URL: <https://gavrishshop.ru/articles/novaya-receptura-pitaniya-tomata-i-ogurca-v-zashchishchennom-grunte>
Khoroshkin A.B., Jung D.V. Updated nutrition recipe for tomatoes and cucumbers in protected soil. Gavrish, [gavrishshop.ru];2020 URL: <https://gavrishshop.ru/articles/novaya-receptura-pitaniya-tomata-i-ogurca-v-zashchishchennom-grunte>
20. Bhattacharya D., Ghosh R., Tripathy S. et al. Evaluation of tomato growth, yield, phytochemical properties under varied nutrient regimes in hydroponic system with traditional soil system. *Journal of Plant Nutrition*. 2025;48(17):3043-3061. <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2506687>

Сведения об авторах

Исаева Петмат Мусаевна —

старший преподаватель, кафедра химии,
Чеченский государственный университет
им. А. А. Кадырова, Грозный, Россия

SPIN-код: 7285-5210

fatima_isaeva74@mail.ru

Ахмедова Патимат Магомедовна —

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий
научный сотрудник отдела плодовоовощеводства
и переработки, Федеральный аграрный научный
центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4617-4359>

SPIN-код: 7727-4054

apm64@mail.ru

About the authors

Petmat M. Isaeva —

Senior Lecturer, Department of Chemistry,
A. A. Kadyrov Chechen State University, Russia

fatima_isaeva74@mail.ru

Patimat M. Akhmedova —

Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Department of
fruit and vegetable growing and processing, Federal
Agrarian Research Center of the Republic of Dagestan,
Makhachkala, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4617-4359>

apm64@mail.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80>

Влияние микроудобрений и регуляторов роста на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Евгений Викторович Жеряков
E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Жеряков Е.В., Семина С.А.,
Жеряков И.С. Влияние микроудобрений и регуляторов роста на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):69-80. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80> EDN OMASVN

ПОСТУПИЛА: 03.12.2025

ДОРАБОТАНА: 20.05.2026

ПРИНЯТА: 21.05.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Жеряков Е.В.,
Семина С.А.,
Жеряков И.С.



Е.В. Жеряков , С.А. Семина , И.С. Жеряков

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях лесостепи Среднего Поволжья (Россия), характеризующихся контрастными погодными условиями, оптимизация микроэлементного питания сахарной свеклы с использованием хелатных форм микроудобрений и регуляторов роста является важным направлением повышения урожайности и технологических качеств корнеплодов. Однако системные данные о синергическом или антагонистическом влиянии их совместного применения на баланс накопления сахарозы и мелассообразующих веществ в регионе отсутствуют.

ЦЕЛЬ. Установить закономерности и количественные оценки влияния некорневой обработки хелатными микроудобрениями в сочетании с регуляторами роста на формирование технологических качеств корнеплодов сахарной свеклы и выявить наиболее синергичные комбинации, обеспечивающие минимизацию мелассообразующих веществ при максимизации выхода сахара.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Объект исследований — односемянный диплоидный гибрид сахарной свеклы на стерильной основе N-типа Скала селекции «СоюзСемСвекла». Работу выполняли в 2024–2025 гг. на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях Пензенской области. Некорневую обработку проводили в фазе 3–4 пар настоящих листьев сахарной свеклы различными микроэлементными удобрениями (Микровит-7 Бор, Амицид «Бор» и Микровит Стандарт) и регуляторами роста (Фуrolан, Цитодеф-100 и Стимунол ЕФ).

РЕЗУЛЬТАТЫ. В среднем за годы эксперимента максимальная сахаристость (17,93 %) и наибольший прогнозируемый сбор сахара (10,33 т/га) были получены при совместном применении Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ. Наименьшие технологические потери сахара в мелассе (1,21 %) отмечены в варианте Микровит-7 Бор + Фуrolан. Применение Амицид «Бор» повышало сахаристость, но сопровождалось накоплением α-аминного азота и калия, ухудшающих выход сахара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Для лесостепи Среднего Поволжья выявлено разнонаправленное действие различных хелатных форм микроудобрений и регуляторов роста на технологический баланс «сахароза — мелассообразующие вещества». Для производственных условий рекомендовано совместное применение Микровит Стандарт и регулятора роста Стимунол ЕФ, обеспечивающее оптимальный баланс между накоплением сахарозы и минимизацией потерь сахара в мелассе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарная свекла, микроудобрения, регулятор роста, некорневая обработка, сахаристость, сбор сахара

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80>

Influence of micronutrient fertilizers and growth regulators on the technological qualities of sugar beet roots

CORRESPONDENCE:

Evgeny V. Zheryakov

E-mail: zheryakov.e.v@pgau.ru

FOR CITATION:

Zheryakov E.V., Semina S.A., Zheryakov I.S. Influence of micronutrient fertilizers and growth regulators on the technological qualities of sugar beet roots. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):69-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-69-80>

RECEIVED: 03.12.2025

REVISED: 20.05.2026

ACCEPTED: 21.05.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Zheryakov E.V.,

Semina S.A.,

Zheryakov I.S.



Evgeny V. Zheryakov , Svetlana A. Semina , Igor S. Zheryakov 

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In the forest-steppe conditions of the Middle Volga region (Russia), which are characterized by contrasting weather patterns, optimizing the micronutrient nutrition of sugar beet using chelated forms of micronutrient fertilizers and plant growth regulators is an important strategy for increasing productivity and the technological quality of roots. However, systematic data on the synergistic or antagonistic effects of their combined application on the balance of sucrose accumulation and molassogenic substances in the region are lacking.

AIM. To establish the patterns and quantitative estimates of the effect of foliar treatment with chelated micronutrient fertilizers in combination with plant growth regulators on the formation of technological quality traits of sugar beet roots, and to identify the most synergistic combinations that minimize molassogenic substances while maximizing sugar yield.

MATERIALS AND METHODS. The paper studied the single-seed diploid sugar beet hybrid Skala (N-type sterile basis), bred by SoyuzSemSvekla. The work was carried out in 2024–2025 on leached heavy loamy chernozem under the conditions Penza Region. Foliar treatment was applied at the stage of 3–4 pairs of true leaves of sugar beet using various micronutrient fertilizers (Microvit-7 Bor, Amicide “Bor”, Microvit Standard) and plant growth regulators (Furolan, Tsitodef-100, Stimmul EF).

RESULTS. On average over the experiment years, the maximum sugar content (17.93%) and the highest predicted sugar yield (10.33 t/ha) were obtained with the combined application of Microvit Standard + Stimmul EF. The lowest technological sugar losses to molasses (1.21%) were recorded in the Microvit-7 Bor + Furolan treatment. The application of Amicide “Bor” increased sugar content but was accompanied by the accumulation of α -amino nitrogen and potassium, which reduced sugar yield.

CONCLUSION. In the forest-steppe of the Middle Volga region, chelated micronutrient fertilizers and plant growth regulators exhibited multidirectional effects on the technological “sucrose — molassogenic substances” balance. For production conditions, the combined application of Microvit Standard and Stimmul EF is recommended, as it provides an optimal balance between sucrose accumulation and reduced sugar losses to molasses.

KEYWORDS: sugar beet, micronutrient fertilizers, growth regulator, foliar treatment, sugar content, sugar yield

ВВЕДЕНИЕ

Сахарная свекла занимает второе место среди сахароносных культур в мире после сахарного тростника, обеспечивая около 20–25 % мирового производства сахара [1; 2]. Ежегодное производство корнеплодов в мире достигает приблизительно 278 миллионов тонн, причем лидирующие позиции занимает Европейский Союз, где производится около 17 миллионов тонн свекловичного сахара в год [3]. По имеющимся оценкам, потери урожайности сахарной свеклы от водного стресса в Европе могут достигать 15–40 %, а инфицирование вирусными заболеваниями (такими как вирус желтухи свеклы) снижает урожайность до 47 % [2].

Основным сырьем для производства сахара в России является сахарная свекла, с 2012 года ее доля превышает 90 %. Пензенская область по площади посева сахарной свеклы является одним из лидеров в Приволжском федеральном округе (ПФО): в 2025 г. — 65,4 тыс. га, или 28,9 % от общей площади в ПФО. Урожайность сахарной свеклы в Пензенской области в сезоне 2025 года составила 45,7 т/га, что на 12,3 % больше, чем в ПФО [4].

Основными элементами, которые сахарная свекла потребляет в относительно больших объемах, являются азот, фосфор, калий, однако немаловажное значение в питании данной культуры принадлежит микроэлементам. Особую значимость в системе минерального питания приобретают бор, марганец, цинк и медь, выступающие в роли существенных кофакторов ферментативных систем. Дефицит элементов в критические периоды органогенеза детерминирует нарушения в углеводном и белковом метаболизме, что негативно отражается на сахаронакоплении и технологических свойствах корнеплодов [5; 6]. Физиологическая роль микроэлементов проявляется в их участии в активации ключевых ферментов фотосинтеза, синтезе ауксинов и других фитогормонов, стабилизации клеточных мембран, формировании механизмов антиоксидантной защиты [7].

Современные исследования [8–10] демонстрируют выраженную региональную специфику эффективности различных хелатных форм микроэлементов. Оптимизация микроэлементного питания представляет собой стратегическое направление интенсификации свекловодства, обеспечивающее повышение коэффициента использования макроэ-

лементов, усиление стрессоустойчивости растений, улучшение технологических качеств сырья [11–13].

Хелатные формы микроэлементов представляют собой комплексные соединения, в которых ион металла (например, Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+}) связан с органическим лигандом (чаще всего EDTA, ДТРА или EDDHA) посредством координационных связей. Ключевое отличие хелатных удобрений от неорганических солей заключается в их повышенной биодоступности и стабильности в различных условиях среды. При внекорневом (фолиарном) применении хелатные микроудобрения обеспечивают значительно более высокую эффективность по сравнению с традиционными минеральными солями. Исследования показывают, что хелатные формы обеспечивают более быстрое проникновение через кутикулу листа благодаря оптимальному размеру и липофильности молекул комплекса, удержание листьями до момента поглощения, что особенно важно в дождливую погоду, а также высокую транслокационную мобильность: некоторые хелатные формы (в частности, бора и молибдена) активно перемещаются по флоэме к точкам роста и запасующим органам, включая корнеплоды [14; 15].

Регуляторы роста растений — это органические соединения, которые в малых концентрациях модулируют физиолого-биохимические процессы в растениях. Исследования показывают, что обработка Фуrolан, Цитодеф-100, Стимунол ЕФ увеличивает интенсивность фотосинтеза на 8,0–12,3 % по сравнению с необработанными посевами [16].

Несмотря на установленную исследованиями высокую потенциальную эффективность хелатных форм микроэлементов и регуляторов роста растений, а также понимание того, что их действие носит выраженный региональный и погодозависимый характер, в условиях лесостепи Среднего Поволжья (Пензенская область) отсутствуют системные данные о синергическом или антагонистическом влиянии совместного применения различных типов хелатных микроудобрений (моно- и поликомпонентных) и регуляторов роста разной химической природы на технологические показатели качества сахарной свеклы, в особенности на баланс накопления сахарозы и мелассообразующих веществ (K, Na, α -аминного азота). Также остается невыясненным, какое сочетание обеспечивает стабильный технологический эффект в контрастных по увлажнению условиях вегетации.

Цель исследований — установить закономерности и количественные оценки влияния некорневой обработки хелатными микроудобрениями в сочетании с регуляторами роста на формирование технологических качеств корнеплодов сахарной свеклы и выявить наиболее синергичные комбинации, обеспечивающие минимизацию мелассообразующих веществ при максимизации выхода сахара.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Условия проведения исследования

Испытания проведены в двухфакторном полевом опыте в условиях ООО «Красная Горка» Колышлейского района Пензенской области в России (52°33'43" с. ш., 44°31'09" в. д.). ООО «Красная Горка» является сельскохозяйственным предприятием, занимающимся выращиванием сахарной свеклы и зерновых культур. Почва — чернозем выщелоченный среднесуглинистый, пахотный слой которого характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса — 5,49–5,65 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213–91); подвижных форм — азота 103–108 мг/кг (по Корнфилду), фосфора — 81–94, калия — 112–119 (по Чирикову) (ГОСТ 26204–91); рН_{KCl} 5,21–5,52 (потенциометрически, ГОСТ 26483–85); Нг — 4,8–5,1 мг-экв. (ГОСТ 26212–91); сумма поглощенных оснований 28,6–30,2 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 27821–88). Предшественник — озимая пшеница. Норма высева 120 тыс. шт/га. На все делянки опыта под культивацию были внесены минеральные удобрения ($N_{120}P_{120}K_{120}$ — рекомендованная доза для чернозема выщелоченного в почвенно-климатических условиях Пензенской области).

Объект исследований

В качестве объекта исследования выступал односемянный диплоидный гибрид сахарной свеклы на стерильной основе N-типа Скала селекции «СоюзСемСвекла». Технология возделывания сахарной свеклы на опытах не отличалась от зональной технологии. Погодные условия 2024 г. отличались недостаточным количеством выпавших за вегетацию осадков (115,0 мм) на фоне повышенных температур, что не позволило полностью реализовать потенциальные возможности гибрида сахарной свеклы. В мае среднесуточная температура

воздуха была на 2,57 °C ниже среднесезонной. Наиболее теплыми были июнь и июль (средняя температура воздуха 21,5–22,5 °C). В августе и сентябре среднесуточная температура была на уровне среднесезонных значений. Распределение осадков было неравномерным и дефицитным, за исключением августа. Наблюдались длительные засушливые периоды: в третьей декаде мая, первой и третьей декадах августа, а также полное отсутствие дождей в течение всего сентября. Основным объемом осадков был отмечен в августе (55 мм) и 32 мм в июле. В период вегетации 2025 г. количество осадков составило 190,3 мм, и выпадали они достаточно равномерно, а температура воздуха была на уровне среднесезонных значений, что положительно отразилось на формировании урожайности корнеплодов. Температурный режим был умеренно теплым. Среднесуточная температура воздуха в мае составила 14,9 °C, что соответствовало среднесезонным значениям. В июне температура была на 0,5 °C ниже климатической нормы, а в июле, наоборот, на 1,7 °C выше среднесезонных значений. В августе и сентябре температура воздуха была на уровне среднесезонных значений. Количество осадков в мае составило 18,5 мм, при этом более 70 % от общего количества пришлось на первую декаду. В июне было отмечено равномерное выпадение осадков по декадам, а общее количество за месяц было на 23 мм больше среднесезонных значений. За июль выпало 53 мм осадков, из которых 30 мм пришлось на первые десять суток. В августе выпало 48 мм осадков.

Схема исследования

Фактор А — Микроудобрение: 1. Контроль (без микроудобрения); 2. Микровит-7 Бор (В — 130 г/л, N — 50 г/л, Мо — 1 г/л) — 1,0 л/га; 3. Амицид «Бор» (N — 70 г/л; В — 150 г/л; Мо — 5 г/л; L-аминокислоты — 50 г/л; янтарная кислота — 10 г/л; гидроксикарбоновые кислоты — 40 г/л — 1,0 л/га; 4. Микровит Стандарт (N — 100,5 г/л; P — 1 г/л; K₂O — 26 г/л; SO₃ — 140 г/л; Mg — 30 г/л; Fe — 30 г/л; Mn — 25 г/л; В — 9 г/л; Zn — 8 г/л; Cu — 8 г/л; Мо — 5 г/л; Co — 1 г/л; органические энергетические кислоты — 173 г/л) — 2,0 л/га. Фактор В — Регулятор роста растений: 1. Контроль (без регулятора роста); 2. Фуrolан (2-(1,3-диоксоланил-2) фурана) — 3,4 мл/га; 3. Цитодеф-100 (N-(1,2,4-триазол-4-ил)-N-фенилмочевины) — 0,3 кг/га; 4. Стимунол ЕФ (L-аргинин +

+ L-пролин + L-лейцин) — 0,3 л/га. В контроле проведена обработка водой. Некорневую обработку проводили в фазе 3–4 пар настоящих листьев сахарной свеклы. Микроэлементы в удобрениях в разных соотношениях находятся в форме хелатов. Дозы микроудобрений и регуляторов роста растений взяты из рекомендаций производителя. Учетная площадь делянки — 54 м². Повторность — 4-кратная.

Методы анализа

В корнеплодах определяли: сахаристость — методом холодного водного дигерирования (ГОСТ Р 53036–2008), содержание калия и натрия — потенциометрически, α-аминного азота — фотометрически. Стандартные потери сахара при образовании мелассы рассчитывали по формуле Брауншвейгского университета. Содержание очищенного сахара вычисляли как разницу между сахаристостью и потерями сахара при экстракции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Главным критерием качества сахарной свеклы является содержание сахара в корнеплодах. В результате технологической оценки корнеплодов выявлено, что на содержание сахарозы влияли как экспериментальные микроудобрения и регуляторы роста, так и гидротермические условия вегетации. В условиях более засушливого лета и неравномерного выпадения осадков в 2024 г. получены корнеплоды с большим содержанием сахарозы, а при ГТК 0,82–1,72 за вегетацию 2025 г. получена большая урожайность, но сформировались корнеплоды с меньшей сахаристостью (таблица 1). По результатам двухлетних исследований (2024–2025 гг.) установлено, что применение микроудобрений и регуляторов роста оказывало неоднозначное влияние на сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, при этом выявлен сильный лимитирующий фактор погодных условий второго года исследований (2025 г.), вызвавший снижение содержания сахара по всем вариантам в среднем на 3,5–4,5 % по сравнению с 2024 г.

Таблица 1
Сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, %

Table 1
Sugar content in sugar beet roots, %

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	2024 г.	2025 г.	Среднее за 2024–2025 гг.
Контроль (без микроудобрения)	Контроль (без регулятора роста)	19,28	15,19	17,24
	Фуrolан	19,54	15,24	17,39
	Цитодеф-100	19,31	15,44	17,38
	Стиммунол ЕФ	19,26	15,16	17,21
Микровит-7 Бор	Контроль (без регулятора роста)	19,25	14,58	16,92
	Фуrolан	19,29	14,91	17,10
	Цитодеф-100	19,86	14,45	17,16
	Стиммунол ЕФ	19,57	14,39	16,98
Амицид «Бор»	Контроль (без регулятора роста)	20,04	15,37	17,70
	Фуrolан	20,31	15,44	17,88
	Цитодеф-100	20,01	15,36	17,68
	Стиммунол ЕФ	19,84	15,17	17,50
Микровит стандарт	Контроль (без регулятора роста)	19,07	14,54	16,80
	Фуrolан	19,76	15,35	17,56
	Цитодеф-100	19,95	14,87	17,41
	Стиммунол ЕФ	20,11	15,75	17,93
НСР ₀₅ А		0,25	0,19	—
НСР ₀₅ В и АВ		0,25	0,19	—
НСР ₀₅ частных различий		0,49	0,38	—

Наиболее стабильное и статистически значимое повышение сахаристости относительно контроля (17,24 %) обеспечило применение Амицид «Бор» (средняя 17,69 %). Варианты с «Микровит-7 Бор» и «Микровит стандарт» в среднем по фактору А не превысили контрольный уровень или уступали ему, что указывает на возможный антагонизм компонентов или несбалансированность состава на фоне стрессовых условий. В 2024 г. достоверное превышение контроля отмечено в варианте Амицид «Бор» + Фуролан (20,31 %) и Амицид «Бор» без регулятора (20,04 %). В 2025 г. только вариант Микровит стандарт + Стимунол ЕФ (15,75 %) значимо превысил контроль по году (15,19 %), что подтверждает стабилизирующую роль этой комбинации в стрессовых условиях.

В среднем за два года наибольший прирост сахаристости относительно контроля без регулятора (17,16 %) обеспечивало внесение Стимунол ЕФ (17,40 %), однако эта разница находилась на границе статистической значимости. Препараты Фуролан и Цитодеф-100 показали близкие однонаправленные тренды, но их действие сильно варьировало по годам.

Наибольшее значение сахаристости корнеплодов было отмечено при совместном применении Микровит стандарт + Стимунол ЕФ (17,93 %), что превысило контроль на 0,69 % и оказалось выше НСР₀₅ частных различий (0,49). Это свидетельствует о синергизме данной комбинации за счет оптимизации борного

питания и стимуляции метаболизма углеводов. Внесение микроудобрений без учета регуляторов роста неэффективно, а в случае с Микровитом-7 Бор приводит к достоверному снижению сахаристости (16,92 % против 17,24 % в контроле). Наибольший агрономический и статистический эффект достигается только при совместном применении «микроудобрение — регулятор роста», где выделена комбинация Микровит стандарт + Стимунол ЕФ.

Установлено, что комбинация микроудобрений и регуляторов роста достоверно повышала биологический сбор сахара. На контроле (без обработок) средний сбор составил 9,18 т/га. Обработка регуляторами без микроудобрений увеличивала показатель на 6,2 %. При совместном внесении Микровит-7 Бор с Фуроланом сбор сахара составил 10,25 т/га, а Амицид «Бор» с Фуроланом — 10,83 т/га. Наибольшее значение биологического сбора сахара были отмечены при обработке посевов сахарной свеклы Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ, который составил 11,13 т/га, что на 21,2 % выше контроля (9,18 т/га). Увеличение выхода сахара из корнеплодов наряду с повышением их сахаристости возможно путем снижения содержания мелассобразующих веществ. Наиболее низкое содержание калия обеспечивало применение Микровит-7 Бор в сочетании с Фуроланом, что ниже контроля на 0,43 ммоль/100 г. Обработка только Амицид «Бор» способствовала значительному росту концентрации K⁺ до 4,45 ммоль/100 г (таблица 2).

Таблица 2
Влияние приемов возделывания на содержание несахаристых веществ в корнеплодах сахарной свеклы, среднее за 2024–2025 гг.

Table 2
Effect of cultivation technologies on non-sugar content in sugar beet roots, average for 2024–2025

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	Содержание, ммоль/100 г свеклы		
		K+	Na+	α-аминоазот
Контроль (без микроудобрения)	Контроль (без регулятора роста)	3,47	0,71	0,72
	Фуролан	3,67	0,66	1,30
	Цитодеф-100	3,47	0,63	1,31
	Стимунол ЕФ	3,29	0,76	1,11
Микровит-7 Бор	Контроль (без регулятора роста)	3,24	0,79	1,14
	Фуролан	3,03	0,80	1,11
	Цитодеф-100	3,83	0,82	1,30
	Стимунол ЕФ	3,61	0,94	1,40

Продолжение

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	Содержание, ммоль/100 г свеклы		
		К+	Na+	α-аминоазот
Амицид «Бор»	Контроль (без регулятора роста)	4,45	0,67	1,98
	Фуrolан	4,14	0,46	2,19
	Цитодеф-100	3,86	0,65	1,98
	Стиmmунол ЕФ	3,44	0,84	1,53
Микровит стандарт	Контроль (без регулятора роста)	4,11	0,69	1,37
	Фуrolан	3,63	0,64	1,43
	Цитодеф-100	3,59	0,65	1,39
	Стиmmунол ЕФ	3,13	0,57	1,33
HCP ₀₅ А		0,05–0,08	0,01–0,02	0,02–0,03
HCP ₀₅ В и АВ		0,05–0,08	0,01–0,02	0,02–0,03
HCP ₀₅ частных различий		0,10–0,17	0,02–0,04	0,05–0,06

Содержание натрия в корнеплодах изменялось в пределах от 0,46 ммоль/100 г свеклы в варианте Амицид «Бор» + Фуrolан, до 0,94 ммоль/100 г свеклы в варианте Микровит-7 Бор + Стиmmунол ЕФ. В то же время при применении Амицид «Бор», но с регулятором Стиmmунол ЕФ содержание натрия, напротив, повышалось. Следовательно, эффект регуляторов роста не является односторонним и сильно зависит от фона микроэлементного питания. Наибольшее технологическое преимущество по фактору снижения Na⁺ отмечено при совместном применении Амицид «Бор» + Фуrolан. Содержание α-аминоазота оказалось максимальным именно в вариантах с Амицид «Бор»: от 1,53 до 2,19 ммоль/100 г, что в 2,1–3,0 раза выше, чем на контроле. Наименьшее содержание α-аминоазота было отмечено при применении только регулятора роста Стиmmунол ЕФ и совместной обработке Микровит-7 Бор + Фуrolан, что соответствовало 1,11 ммоль/100 г. Технологически ценным является сочетание низкого содержания всех трех мелассообразователей, и этому критерию наиболее полно удовлетворяет вариант Микровит-7 Бор + Фуrolан.

Проведенные исследования выявили разнонаправленное действие изучаемых агроприемов на технологическое качество корнеплодов сахарной свеклы. Установлено, что применение Амицид «Бор» независимо от регулятора роста приводит

к статистически значимому накоплению α-аминоазота и калия, ухудшающих выход сахара, а Микровит-7 Бор, особенно в сочетании с Фуrolаном, способствует формированию наиболее сбалансированного биохимического состава корнеплодов с минимальным содержанием мелассообразующих веществ.

Потери сахара в мелассе являются интегральным показателем технологического качества сырья: чем они ниже, тем эффективнее переработка. Минимальное значение зафиксировано в варианте Микровит-7 Бор + Фуrolан и составило 1,21 %, что ниже контроля на 0,15 %. Максимальные потери в мелассе были отмечены в вариантах с Амицид «Бор»: контроль без регулятора роста — 1,57 %, с Фуrolаном — 1,55 %, что связано с высоким содержанием α-аминоазота и калия, установленным ранее (таблица 3).

Прогнозируемый выход сахара в тоннах с гектара является конечным хозяйственно значимым показателем. Абсолютный максимум был получен в варианте Микровит Стандарт + Стиmmунол ЕФ и составил 10,33 т/га, что на 22,4 % выше контроля. Близкие значения были отмечены при совместном применении Микровит Стандарт + Фуrolан (10,03 т/га) и Микровит стандарт + Цитодеф-100 (10,01 т/га), что подтверждает высокую эффективность микроудобрения «Микровит Стандарт».

Таблица 3
Влияние приемов возделывания на прогнозируемый выход сахара, среднее за 2024–2025 гг.

Table 3
Effect of cultivation technologies on promising sugar yield, average for 2024–2025

Микроудобрение (фактор А)	Регулятор роста растений (фактор В)	Потери сахара в мелассе, %	Прогнозируемый выход сахара	
			%	т/га
Контроль (без микроудобрения)	Контроль (без регулятора роста)	1,36	15,88	8,44
	Фуrolан	1,32	16,08	8,81
	Цитодеф-100	1,29	16,10	9,01
	Сtimмунол ЕФ	1,23	15,98	9,02
Микровит-7 Бор	Контроль (без регулятора роста)	1,24	15,69	9,09
	Фуrolан	1,21	15,92	9,51
	Цитодеф-100	1,35	15,81	9,34
	Сtimмунол ЕФ	1,36	15,63	9,33
Амицид «Бор»	Контроль (без регулятора роста)	1,57	16,15	9,44
	Фуrolан	1,55	16,36	9,87
	Цитодеф-100	1,49	16,19	9,72
	Сtimмунол ЕФ	1,36	16,14	9,65
Микровит Стандарт	Контроль (без регулятора роста)	1,38	15,43	9,26
	Фуrolан	1,33	16,23	10,03
	Цитодеф-100	1,32	16,08	10,01
	Сtimмунол ЕФ	1,24	16,69	10,33

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате двухлетних полевых исследований установлено, что применение микроудобрений и регуляторов роста оказывает разнонаправленное влияние на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы. Наибольший прогнозируемый сбор сахара (т/га) был получен при сочетании Микровит Стандарта и регулятора роста Сtimмунол ЕФ. Максимальная сахаристость отмечена на вариантах с Амицид «Бор», однако он же сопровождался повышенным накоплением α-аминоазота и калия, что увеличивало потери сахара в мелассе. Наименьшие технологические потери сахара зафиксированы на варианте Микровит-7 Бор + Фуrolан, однако он уступал по абсолютному сбору сахара. Контрольный вариант без обработок ожидаемо показал наихудшие результаты по большинству показателей.

Полученные результаты подтверждают положение, согласно которому хелатная форма микроэлементов обеспечивает более высокую сахаристость кор-

неплодов по сравнению с неорганическими солями. Согласно проведенным ранее исследованиям [17], некорневая обработка микроэlementными удобрениями способствует повышению сахаристости корнеплода на 0,62–1,72 абс. % в зависимости от генотипа гибрида. Авторы также отмечают, что наиболее перспективной является некорневая обработка борсодержащим удобрением, способствующая повышению биологического сбора сахара на 19,2–23,2 %. В проведенных исследованиях максимальные значения сахаристости и прогнозируемого выхода сахара были достигнуты на вариантах с хелатными формами (Амицид «Бор», Микровит Стандарт), что согласуется с литературными данными. О. А. Минакова и др. [18] в исследованиях на черноземных почвах ЦЧР установили, что применение Микровита совместно с Органо-Бором на фоне основного внесения N₅₀P₅₀K₅₀ обеспечивает прибавку урожайности корнеплодов до 9,8 т/га, подтверждая высокую эффективность комплексного применения микроудобрений на фоне сбалансированного макроэlementного питания.

Согласно данным А. Рахими и др. [19], содержание калия, натрия и α -аминоазота в корнеплодах сахарной свеклы изменяется в широких пределах в зависимости от обеспеченности микроэлементами, при этом доля кристаллического сахара может составлять 77,72–79,59 %. В наших исследованиях прогнозируемый выход сахара в процентах варьировал от 15,43 до 16,69 %, что соответствует доле кристаллического сахара около 88–92 % от валовой сахаристости. Расхождения могут объясняться различиями в почвенно-климатических условиях и генотипах исследуемых гибридов.

В наших предыдущих исследованиях [17] применение борсодержащих удобрений сопровождалось увеличением содержания калия в корнеплодах, но снижало содержание натрия и α -аминоазота. В нашем опыте на фоне Амицид «Бор» также отмечено повышение калия (до 4,45 ммоль/100 г) и снижение натрия (минимально 0,46 ммоль/100 г на варианте с Фуроланом), однако α -аминоазот, вопреки ожиданиям, возростал (до 2,19 ммоль/100 г). Это расхождение может быть связано с тем, что в состав Амицид «Бор» входят L-аминокислоты и янтарная кислота, которые сами могут служить предшественниками α -аминоазота или изменять направленность азотного метаболизма. По данным производителя, Амицид «Бор» содержит 150 г/л бора в органической форме, а также 50 г/л L-аминокислот и 10 г/л янтарной кислоты. Аминокислотная составляющая, с одной стороны, повышает проникающую способность компонентов баковой смеси и проявляет антистрессовый эффект, но с другой — может увеличивать пул свободных аминокислот в тканях корнеплода, что мы и наблюдали в виде повышенного содержания α -аминоазота.

С. Гейдарзаде и др. [20] в исследованиях на сахарной свекле показали, что некорневое применение микроэлементов (Mn, Zn, B) способствует снижению содержания Na и аминоказота в корнеплодах, что улучшает количественные и качественные показатели. В наших исследованиях максимальный выход сахара (т/га) достигнут при сочетании Микровит Стандарт и Стимунол ЕФ. Этот регулятор роста обеспечил наилучшие результаты именно на фоне хелатного микроудобрения, что указывает на синергетический эффект комбинации. В работе [21] было установлено, что влияние фолиарных препаратов на урожайность и качество сахарной свеклы высокодостоверно зависит от погодных условий: в год с достаточным увлажнением препараты значительно увеличивали урожайность и саха-

ристость, снижая содержание мелассообразующих веществ. Наши данные подтверждают этот вывод: в менее благоприятном 2025 г. эффективность обработок оказалась ниже, однако вариант Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ сохранил преимущество, что свидетельствует об адаптогенном эффекте данной комбинации.

Сравнивая эффективность различных форм бора, следует отметить, что Микровит Стандарт, содержащий комплекс EDTA-хелатированных микроэлементов с высоким содержанием бора (6 %), обеспечил максимальный выход сахара (10,33 т/га) в сочетании со Стимунол ЕФ. Этот факт согласуется с данными производителя о том, что полная хелатация микроэлементов обеспечивает их быструю доступность растениям и способствует высокому содержанию сахара при снижении α -аминоазота в корнях. Особого внимания заслуживает влияние изучаемых приемов на содержание α -аминоазота — одного из главных мелассообразующих веществ. Высокое качество сахарной свеклы характеризуется не только количеством сахарозы, но и низким содержанием α -аминоазота, калия и натрия, поскольку эти вещества не удаляются в ходе очистки сока и увеличивают количество сахара в мелассе. В своих предыдущих исследованиях [17] мы отмечали, что увеличение выхода сахара из корнеплодов, наряду с повышением их сахаристости, возможно путем снижения содержания мелассообразующих веществ. В нашем опыте наименьшие потери сахара в мелассе (1,21 %) зафиксированы в варианте Микровит-7 Бор + Фуролан, что коррелирует с умеренным содержанием калия и α -аминоазота в этом варианте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты в целом согласуются с основными положениями о преимуществе хелатных форм микроэлементов и положительной роли регуляторов роста. Однако по результатам проведенных исследований выявлено важное уточнение: максимальная сахаристость не гарантирует максимального выхода сахара с гектара из-за возможного ухудшения несахаристого комплекса. Наиболее эффективной в условиях опыта была обработка Микровит Стандарт + Стимунол ЕФ, которая обеспечивала наилучший баланс между сахаристостью и потерями в мелассе. Данный вывод расширяет и дополняет рекомендации, имеющиеся в литературе, и может служить основой для корректировки

региональных систем удобрения сахарной свеклы. Результаты исследований имеют непосредственное практическое значение для сельскохозяйственных предприятий, возделывающих сахарную свеклу, а также для перерабатывающих заводов. На основании комплексной оценки сахаристости, содер-

жания несахаристых веществ, потерь сахара в мелассе и прогнозируемого выхода сахара с единицы площади установлено, что для производственных условий наиболее эффективной является технология совместного применения Микровит Стандарт и регулятора роста Стимунол ЕФ.

Вклад авторов

Е. В. Жеряков: проведение исследования, написание черновика рукописи.

С. А. Семина: научное руководство, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

И. С. Жеряков: проведение исследования, написание черновика рукописи.

Contributions

E. V. Zheryakov: investigation, writing-original draft.

S. A. Semina: supervision, writing-review & editing.

I. S. Zheryakov: investigation, writing-original draft.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen S., Zhang C., Liu J. et al. Current status and prospects of the global sugar beet industry. *Sugar Tech.* 2024;26:1199-1207. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01508-8>
2. Mall A.K., Srivastava S., Mulet J. M. et al. Sugar beet special issue: biotechnology and breeding techniques for stress-resistant sugar beet. *Sugar Tech.* 2024;26:1195-1198. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01501-1>
3. Jan-Peter Nap, Frank J. de Ruijter, Daan S. van Es et al. The case of sugar beet in Europe: a review of the challenges for a traditional food crop on the verge of climate change and circular agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research.* 2025;24:102343.
4. Голобоков С.В., Чукарева М.М., Медведева С.Н. и др. Влияние затрат энергии на экономические показатели сахарного комбината. *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : сборник материалов Международной научно-практической конференции.* Саранск : Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 2019;144-151.
Golobokov S.V., Chukareva M.M., Medvedeva S.N. et al. Influence of energy costs on the economic indicators of a sugar refinery. *Energy-Efficient and Resource-Saving Technologies and Systems : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference.* Saransk : Ogarev Mordovia State University; 2019:144-151. (In Russ.)
5. Семина С.А., Жеряков Е.В., Жерякова Ю.И. Динамика содержания макроэлементов в растениях сахарной свеклы при применении микроудобрений. *Аграрный вестник Урала.* 2021;1(204):21-29. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-21-29>
Semina S.A., Zheryakov E.V., Zheryakova Yu.I. Dynamics of the macronutrients content in sugar beet plants under the application of microfertilizers. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2020;1(204):21-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-21-29>
6. Аристархов А.Н., Яковлева Т.А. Агрохимическая и агроэкономическая эффективность применения борных удобрений разными способами под сахарную свеклу (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* alef.). *Агрохимия.* 2019;(2):21-36. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020030>
Aristarkhov A.N., Yakovleva T.A. Agrochemical and agro-economic efficiency of application of boron fertilizers in different ways for sugar beet (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* alef.). *Agrokhimiya.* 2019;(2):21-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0002188119020030>
7. Ёрова Б.С., Бекова Г.М. Роль микроэлементов в жизни растений. *Вестник науки.* 2024;(2(71)):693-697.
Erova B.S., Bekova G.M. Role of trace elements in plant life: author's research. *Vestnik Nauki (Herald of Science).* 2024;(2(71)):693-697. (In Russ.)
8. Минакова О.А., Косякин П.А., Александрова Л.В. Удобрение сахарной свеклы в центрально-черноземном районе РФ. *Агрохимия.* 2022;(1):10-20. <https://doi.org/10.31857/S0002188122010082>

- Minakova O.A., Kosyakin P.A., Alexandrova L.V. Sugar beet fertilizing in the central black-earth region. *Agricultural Chemistry*. 2022;(1):10-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188122010082>
9. Уткин А.А. Системы удобрения сахарной свеклы. *Сахар*. 2024;(1):20-28. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-1-20-28>
- Utkin A.A. Fertilizer systems for sugar beet. *Sugar*. 2024;(1):20-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-1-20-28>
10. Лицуков С.Д., Акинчин А.В., Трофимова Е.А. Влияние микроудобрений на урожай и качество сахарной свеклы в условиях юго-западной части ЦЧР. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014;(9):40-42.
- Litsukov S.D., Akinchin A.V., Trofimova E.A. Influence of micronutrient fertilizers on the yield and quality of sugar beet in the southwestern part of the Central Chernozem Region. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2014;(9):40-42. (In Russ.)
11. Подрезов П.И., Мязин Н.Г., Кожокина А.Н. Влияние многолетнего внесения удобрений на урожайность и качество урожая сахарной свеклы, выращиваемой на черноземе типичном. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021; (14, 4(71)): 49-57. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_49
- Podrezov P.I., Myazin N.G., Kozhokina A.N. Long-term application of fertilizers and its impact on crop productivity and quality of yield of sugar beet cultivated on typical chernozem. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2021;14(4):49-57. (In Russ.) https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_49
12. Märlander B., Lange T., Wulkow A. Dispersal principles of sugar beet from seed to sugar with particular relation to genetically modified varieties. *Journal für Kulturpflanzen*. 2011;(63,11):349-373.
13. Füllgrabe H., Claassen N., Hilmer R. et al. Potassium deficiency reduces sugar yield in sugar beet through decreased growth of young plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022;(185,5):545-553. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200064>
14. Ducatti R.D.B., Tironi S.P. Enhancing the efficiency and sustainability of foliar fertilization in agriculture. *Agronomy Science and Biotechnology*. 2024;(10):1-21.
15. Putilina L.N., Kosyakin P.A., Minakova O.A. et al. Efficiency of foliar fertilization in crops of modern sugar beet hybrids under various soil methods. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;(48): 482-491.
16. Жеряков И.С., Семина С.А., Жеряков Е.В. и др. Влияние оптимизации условий выращивания на фотосинтетическую деятельность посевов и продуктивность сахарной свеклы. *Нива Поволжья*. 2025;(3(75)):1015. <https://doi.org/10.36461/NP.2025.75.3.026>
- Zheryakov I.S., Semina S.A., Zheryakov E.V. et al. Impact of cultivation conditions on photosynthetic activity and yield of sugar beet crops. *Niva Povolzhya*. 2025;(3(75)):1015. (In Russ.) <https://doi.org/10.36461/NP.2025.75.3.026>
17. Жеряков Е.В., Семина С.А., Жерякова Ю.И. Роль микроэлементных удобрений в повышении технологических качеств сахарной свеклы. *Сахар*. 2023;(5):34-38. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-5-34-38>
- Zheryakov E.V., Semina S.A., Zheryakova Yu.I. The role of micronutrient fertilizers in improving the technological quality of sugar beet. *Sugar*. 2023;(5):34-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-5-34-38>
18. Минакова О.А., Тамбовцева Л.В., Александрова Л.В. Сравнительная эффективность применения удобрений в период вегетации сахарной свеклы. *Земледелие*. 2016;(1):25-28.
- Minakova O.A., Tambovtseva L.V., Alexandrova L.V. Comparative efficiency of fertilizer application during sugar beet vegetation. *Zemledelie*. 2016;(1):25-28.19. (In Russ.)
19. Rahimi A., Arslan N., Esmazad S. Effect of Micronutrients (Fe, Zn, B and Mn) on Quality Criteria of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Biotech Studies*. 2016;(25):071-076. <http://doi.org/10.21566/tarbitderg.281853>
20. Heydarzadeh S., Gitari H., Rahimi A. et al. Yield and Quality Traits of Field-grown Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Response to Foliar Application of Micronutrients and Different Levels of Manure. *International Journal of Bioresource Science*. 2021;(08(02)):103-112.
21. Fecková J., Pačuta V., Černý I. Effect of foliar preparations and variety on sugar beet yield and quality. *Journal of Central European Agriculture*. 2005;(3):295-308.

Сведения об авторах

Жеряков Евгений Викторович —

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры растениеводства и лесного хозяйства,
Пензенский государственный аграрный университет,
Пенза, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-1288-6323>

SPIN-код: 7261-0379

zheryakov.e.v@pgau.ru

Семина Светлана Александровна —

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры переработки сельскохозяйственной
продукции, Пензенский государственный
аграрный университет, Пенза, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-7015-8175>

SPIN-код: 3607-1613

semina.s.a@pgau.ru

Жеряков Игорь Сергеевич —

аспирант, Пензенский государственный аграрный
университет, Пенза, Россия

<https://orcid.org/0009-0000-5734-9463>

hikapik2525@mail.ru

About the authors

Evgeny V. Zheryakov —

Cand. Sci. (Agric.), Assoc. Prof., Department
of Crop Production and Forestry, Penza State
Agrarian University, Penza, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-1288-6323>

zheryakov.e.v@pgau.ru

Svetlana A. Semina —

Dr. Sci. (Agric.), Prof., Department of Processing
of Agricultural Products, Penza State Agrarian
University, Penza, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-7015-8175>

semina.s.a@pgau.ru

Igor S. Zheryakov —

Postgraduate student, Penza State Agrarian
University, Penza, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-5734-9463>

hikapik2525@mail.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96>

Фракционный состав соединений меди (Cu), хрома (Cr) и свинца (Pb) в лекарственных растениях Ростовской и Новосибирской областей

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Виктор Анатольевич Чаплыгин
E-mail: chaplygin@sfedu.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Чаплыгин В.А., Сиромля Т.И., Черникова Н.П., Барахов А.В., Смахунов А.Е., Бадмаева А.А., Кесвани Ч., Манджиева С.С., Минкина Т.М. Фракционный состав соединений меди (Cu), хрома (Cr) и свинца (Pb) в лекарственных растениях Ростовской и Новосибирской областей. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):81-96. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96> EDN OXQLNB

ПОСТУПИЛА: 09.04.2026

ДОРАБОТАНА: 28.05.2026

ПРИНЯТА: 03.06.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-77-10097-П) в Южном федеральном университете.

COPYRIGHT: © 2026

Чаплыгин В.А., Сиромля Т.И., Черникова Н.П., Барахов А.В., Смахунов А.Е., Бадмаева А.А., Кесвани Ч., Манджиева С.С., Минкина Т.М.



В.А. Чаплыгин ¹ , Т.И. Сиромля ² , Н.П. Черникова ¹ , А.В. Барахов ¹ , А.Е. Смахунов ¹ , А.А. Бадмаева ¹ , Ч. Кесвани ¹ , С.С. Манджиева ^{1,3} , Т.М. Минкина ¹

¹ Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

³ Калмыцкий научный центр РАН, Элиста, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В России около 40 % используемых фитопрепаратов изготавливаются из дикорастущего растительного сырья, поэтому необходимость учета его экологического состояния остается актуальной. В то же время фракционный состав меди (Cu), хрома (Cr) и свинца (Pb) в лекарственных растениях на импактных территориях изучен недостаточно, что ограничивает оценку их безопасности при получении фитопрепаратов.

ЦЕЛЬ. Оценить фракционный состав соединений Cu, Cr и Pb в дикорастущих лекарственных растениях Ростовской и Новосибирской областей и выявить влияние региональных и антропогенных факторов на распределение этих элементов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Объектами исследования были виды семейства *Asteraceae*, *Plantaginaceae*, *Papaveraceae* и *Urticaceae*. Фракционный состав элементов в растительных образцах определяли по авторской методике Сиромля.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Для Cr и Cu преобладающей оказалась водная фракция (ФI) по сравнению с водно-спиртовой (ФII), тогда как для Pb ситуация обратная — большая доля приходилась на ФII. Во всех исследованных видах доминировала солянокислая фракция (ФIII). Наибольшая подвижность отмечена у Cu, наименьшая — у Cr. Существенный рост содержания металлов отмечен преимущественно в двух первых фракциях, соответствующих методикам получения фитопрепаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Распределение металлов в растениях определяется как химическими свойствами самих элементов, так и биологическими особенностями видов. Полученные данные могут быть использованы при пересмотре и уточнении нормативов Государственной фармакопеи. Перспективным направлением дальнейших исследований является расширение географии мониторинга и перечня анализируемых элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяжелые металлы, техногенное загрязнение, нормативы фармакопеи, экологический мониторинг, фракционный состав

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96>

Fractional composition of copper (Cu), chromium (Cr), and lead (Pb) compounds in medicinal plants of the Rostov and Novosibirsk Oblasts

CORRESPONDENCE:

Viktor A. Chaplygin

E-mail: chaplygin@sfedu.ru

FOR CITATION:

Chaplygin V.A., Siromlya T.I., Chernikova N.P., Barakhov A.V., Smekhunov A.V., Badmaeva A.A., Keswani Ch., Mandzhieva S.S., Minkina T.M. Fractional composition of copper (Cu), chromium (Cr), and lead (Pb) compounds in medicinal plants of the Rostov and Novosibirsk Oblasts. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):81-96. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96>

RECEIVED: 09.04.2026

REVISED: 28.05.2026

ACCEPTED: 03.06.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

FUNDING.

The study was supported by the Russian Science Foundation (project No. 22-77-10097-P) at the Southern Federal University.

COPYRIGHT: © 2026 Chaplygin V.A., Siromlya T.I., Chernikova N.P., Barakhov A.V., Smekhunov A.V., Badmaeva A.A., Keswani C., Mandzhieva S.S., Minkina T.M.



Viktor A. Chaplygin ¹ , Tatyana I. Siromlya ² , Natalya P. Chernikova ¹ , Anatoliy V. Barakhov ¹ , Anatoliy V. Smekhunov ¹ , Alina A. Badmaeva ¹ , Chetan Keswani ¹ , Saglara S. Mandzhieva ^{1,3} , Tatyana M. Minkina ¹

¹ Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

² Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³ Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Elista, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In Russia, approximately 40% of the herbal medicinal products used are manufactured from wild-growing plant raw materials. Therefore, the need to account for the ecological status of such raw materials remains highly relevant. At the same time, the fractional composition of copper (Cu), chromium (Cr), and lead (Pb) compounds in medicinal plants growing in impacted areas remains insufficiently studied, which limits the ability to assess their safety for the production of herbal medicine.

AIM. To evaluate the fractional composition of Cu, Cr, and Pb compounds in wild-growing medicinal plants from the Rostov and Novosibirsk regions and to identify the influence of regional and anthropogenic factors on the distribution of these elements.

MATERIALS AND METHODS. The research studied plant species belonging to *Asteraceae*, *Plantaginaceae*, *Papaveraceae* and *Urticaceae* families. The fractional composition of the elements in samples was determined using Siromlya's original method.

RESULTS. For Cr and Cu, the aqueous fraction (FI) predominated over the aqueous-alcoholic fraction (FII), whereas for Pb, the opposite pattern was observed — the majority of the element was found in FII. The hydrochloric acid fraction (FIII) dominated in all the studied species. Cu exhibited the highest mobility, while Cr showed the lowest mobility. A significant increase in the metal content was noted mainly in the first two fractions corresponding to the extraction methods used in the preparation of herbal medicines.

CONCLUSION. The distribution of metals in plants was determined both by the chemical properties of the elements themselves and by the biological characteristics of the species. The findings may be used in the revision and clarification of the regulations of the State Pharmacopoeia. A promising area for further research is to expand the geographical scope of monitoring and the range of elements analyzed.

KEYWORDS: heavy metals, technogenic pollution, pharmacopoeial standards, environmental monitoring, fractional composition

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация промышленного и энергетического производства в России и мире способствует резкому росту площади деградированных земель и обуславливает устойчивый рост загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ), которые признаны приоритетными токсикантами наземных экосистем и ключевым фактором риска для здоровья населения [1–3]. Атмосферные выбросы тепловых электростанций (ТЭЦ), металлургических и машиностроительных предприятий формируют пространственную структуру техногенной нагрузки в большинстве регионов России, создавая контрастные градиенты концентраций марганца (Mn), цинка (Zn), меди (Cu), никеля (Ni), свинца (Pb), кадмия (Cd) и хрома (Cr) в почвах и растительности, что подтверждено многочисленными исследованиями промышленных агломераций Центральной и Восточной Европы, Поволжья и Сибири [4; 5]. Также серьезную проблему представляет загрязнение дикорастущих лекарственных растений: в отличие от сельскохозяйственных культур, они практически не контролируются по содержанию элементов-токсикантов, но активно используются населением в виде отваров и настоев, что создает дополнительный, трудно учитываемый источник поступления металлов в организм человека. Около 40 % фитопрепаратов, применяемых в России, производят из дикорастущего растительного сырья, что подчеркивает актуальность контроля экологического состояния лекарственных растений [6].

Современные исследования показывают, что лекарственные растения из зон техногенного влияния накапливают канцерогенные и нефротоксичные элементы (Cd, Pb, Ni) в концентрациях, сопоставимых с фармакопейными нормативами и рекомендациями ВОЗ или превышающих их [7; 8]. При этом реальный риск определяется не столько валовым содержанием металлов в сырье, сколько их фактическим переходом в подвижные формы и биодоступностью [9]. Современные глобальные исследования по фитодепонированию металлов демонстрируют значительную видовую специфичность и указывают на высокий потенциал ряда таксонов семейств *Asteraceae* и *Urticaceae* к накоплению Cd, Ni и Zn, что совпадает с перечнем массово заготавливаемых в России лекарственных видов [6; 9; 10].

В качестве объектов исследования в данной работе выбраны степная зона юга европейской части Рос-

сии и лесостепная зона юго-востока Западной Сибири — два контрастных, но сопоставимых по уровню антропогенной трансформации региона. Здесь сочетаются крупные объекты теплоэнергетики, горнодобывающей и металлургической промышленности с территориями особо охраняемых природных территорий и рекреационными зонам [11; 12]. Для степной зоны Северного Приазовья характерно преобладание таких типов почв, как черноземы обыкновенные и лугово-черноземные почвы [11; 13], тогда как в лесостепной зоне Новосибирской агломерации широко распространены различные подтипы черноземов, дерново-подзолистые и серые лесные почвы [12]. Они существенно различаются по гранулометрическому составу, емкости катионного обмена и буферным свойствам, что определяет особенности биодоступности элементов для растений. При этом для обоих регионов характерно богатое фиторазнообразие дикорастущих лекарственных трав из семейств *Asteraceae*, *Plantaginaceae*, *Papaveraceae* и *Urticaceae*, которые традиционно используются местным населением и формируют существенный, но практически неизученный источник поступления металлов в трофические цепи [7; 11; 14].

Долгое время содержание ТМ в растениях считалось концентрацией относительно однородных биодоступных соединений, на основе которой формировались нормативы [15]. Впервые было установлено, что поглощенные организмом растения элементы имеют различную подвижность, на основании которой делятся на несколько фракций. В настоящее время в литературе обычно приводится информация о содержании элементов в водных и водно-спиртовых экстрактах лекарственных растений, поскольку они применяются именно в таких лекарственных формах [16]. Для более подробного изучения качественных и количественных особенностей перехода химических элементов в различные экстракты из лекарственных растений Т. И. Сиромля [16] была разработана схема последовательного фракционирования ТМ из растений, аналогичная методикам, применяющимся при определении форм соединений ТМ в почвах. Ее базовым принципом является последовательная экстракция из одной навески, начиная с самого «слабого» экстрагента и заканчивая наиболее «сильным». Данная схема хорошо зарекомендовала себя при изучении *Plantago major*, отобранного на территории г. Новосибирска.

Цель работы — изучить фракционный состав соединений Cu, Cr и Pb в дикорастущих травянистых

лекарственных растений юга европейской части России и юго-востока Западной Сибири на основе разработанной схемы последовательного экстрагирования и определить степень извлечения металлов из лекарственного сырья различными экстрагентами, применяемыми для приготовления фитопрепаратов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Этические аспекты

Исследование выполнено на дикорастущих лекарственных травянистых растениях и почвах импактных территорий. Работа не предусматривала экспериментов на животных или людях, поэтому этические заключения не требовались.

Объекты и площадки исследования

Экспедиционные исследования проведены в степной зоне Ростовской области на импактной территории Новочеркасской ГРЭС (НчГРЭС) и в лесостепной зоне Новосибирской области на импактной территории Новосибирского оловянного комбината (НОК). Для оценки влияния техногенного загрязнения на фракционный состав тяжелых металлов (ТМ) в дикорастущих лекарственных растениях в различных почвенно-климатических зонах были выбраны две площадки мониторинга, подверженные наиболее высокому уровню антропогенной нагрузки. На импактной территории в степной зоне юга европейской части России (Ростовская область) была заложена площадка мониторинга, расположенная в 1,6 км от НчГРЭС на линии преобладающего направления ветров в данном районе. В лесостепной зоне юго-востока Западной Сибири (Новосибирская область) площадка мониторинга расположена в непосредственной близости (90 м) от НОК.

Отбор растительного материала

С площадок мониторинга отобраны лекарственные дикорастущие травянистые растения, широко представленные в исследуемых зонах: тысячелистник щетинистый (*Achillea setacea* Waldst. & Kit.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.),

ромашка лекарственная (*Matricaria chamomilla* L.), подорожник большой (*Plantago major* L.), полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), полынь Сиверса (*Artemisia sieversiana* Willd), чистотел большой (*Chelidonium majus* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg. S.l.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.).

Растения извлекались из почвы с корневой частью в различных точках площадок мониторинга вместе с монолитом почвы, во избежание потери части корневой системы¹. Проанализирован элементный состав лекарственных травянистых растений исследуемых территорий и распределение ТМ в различных частях растений. Фракционный состав форм соединений ТМ в растениях основан на 4 последовательных стадиях обработки растительных образцов различными экстрагентами и позволяет выделять FI — водную (H₂O дист.), FII — водно-спиртовую (40 % C₂H₅OH), FIII — солянокислую (10 % HCl) и FIV — кислотную (конц. HNO₃ + конц. HCl + 30 % H₂O₂) фракции [16]. Остаток, нерастворимый после обработки концентрированными кислотами, выделяется в V фракцию (силикатную). Водные отвары и водно-спиртовые (40 % C₂H₅OH) настои готовили по стандартным методикам [17; 18]: измельченное сырье (около 5 мм) заливали дистиллированной водой (100 °C) в соотношении 1:10 и кипятили 30 минут, остужали при комнатной температуре в течение 10 минут. После FI фильтр (синяя лента) с сырьем помещался в исходную колбу, высушивался, затем проводилась экстракция по FII. К сырью после FI приливали 40 % C₂H₅OH в соотношении 1:10 и нагревали на водяной бане 10 минут, остужали при комнатной температуре 30 минут, выдерживали плотно закрытые колбы при температуре 5 °C 2 суток. После FII сырье из колбы максимально полно переносили на фильтр, который затем помещали в кварцевую чашку, высушивали, озоляли в муфельной печи (500 °C) в течение 3 часов, добавляли 25 мл 10 % HCl, кипятили 10 минут, остужали, фильтровали, доводили до 50 мл 1 % раствором HNO₃. Озоляли фильтр с остатком золы, нерастворимой в 10 % HCl, в муфельной печи (450–550 °C). Проводили экстракцию смесью кислот: 2 мл HNO₃ конц., 2 мл HCl конц., 2 мл 30 % H₂O₂, выпаривали до влажных солей. Добавляли 1 % HNO₃ для растворения осадка. Содержание ТМ в экстрактах опреде-

¹ ГОСТ 27262–87. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб: Межгосударственный стандарт. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30.03.87 № 1073. Дата введения 1988-07-01.

ляли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре с пламенной атомизацией «Квант-2МТ». Нерастворимый остаток золы после ФIV анализировали методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа с дуговым аргонным двухструйным плазмотроном. Анализы выполнены в трех аналитических повторностях.

Анализ данных

Для оценки фракционного распределения Cu, Cr и Pb в растительных образцах использовали описательную статистику (средние значения по трем аналитическим повторностям). Выбор данного типа обработки обусловлен необходимостью сравнения содержания металлов в пяти фракциях в зависимости от вида растения, региона и антропогенной нагрузки. Поскольку цель работы не включала проверку статистических гипотез о различиях между

группами (например, сравнение средних методами ANOVA), а требовала установления закономерностей распределения элементов по фракциям, применение описательной статистики и качественного анализа является наиболее уместным. Трехкратная аналитическая повторность обеспечивает воспроизводимость результатов внутри каждой фракции для каждого образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Последовательное фракционирование ТМ в растениях фоновых территорий двух природных зон показало, что в водные отвары (ФИ) переходит до 24 % Cu и Pb, содержание которых не превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), нормированную требованиями Государственной фармакопеи РФ [18] (таблицы 1, 2).

Таблица 1

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях фоновых территорий Ростовской области, мг/кг

Table 1

Fractional composition of Cr, Cu and Pb compounds in wild medicinal plants of background areas of the Rostov region, mg/kg

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
Cr						
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	<u>0,11±0,01*</u> 0,34±0,02	<u>0,11±0,01</u> 0,68±0,04	<u>5,2±0,3</u> 7,3±0,5	<u>2,9±0,2</u> 4,6±0,3	<u>2,9±0,2</u> 4,1±0,2	<u>11,2**</u> 16,9
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	<u>0,02±0,001</u> 0,16±0,01	<u>0,04±0,003</u> 0,16±0,01	<u>1,0±0,1</u> 3,7±0,2	<u>0,6±0,04</u> 1,9±0,1	<u>0,5±0,03</u> 2,3±0,1	<u>2,2</u> 8,2
<i>Cichorium intybus</i> L.	<u>0,18±0,01</u> 0,63±0,04	<u>0,12±0,01</u> 0,75±0,05	<u>2,6±0,2</u> 4,4±0,3	<u>1,9±0,1</u> 3,5±0,2	<u>1,1±0,1</u> 3,3±0,2	<u>5,9</u> 12,5
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<u>0,12±0,01</u> 0,32±0,02	<u>0,17±0,01</u> 0,51±0,03	<u>2,4±0,2</u> 2,8±0,2	<u>1,2±0,1</u> 1,8±0,1	<u>1,9±0,1</u> 1,0±0,1	<u>5,8</u> 6,4
<i>Artemisia absinthium</i> L.	<u>0,57±0,03</u> 0,61±0,04	<u>0,45±0,03</u> 1,23±0,08	<u>4,5±0,3</u> 7,5±0,5	<u>2,5±0,2</u> 4,6±0,3	<u>3,3±0,2</u> 1,4±0,1	<u>11,3</u> 15,4
<i>Plantago major</i> L.	<u>0,50±0,05</u> 0,09±0,01	<u>0,33±0,02</u> 0,09±0,01	<u>6,5±0,4</u> 5,6±0,4	<u>4,8±0,3</u> 2,9±0,2	<u>4,5±0,3</u> 0,5±0,003	<u>16,6</u> 9,2
Cu						
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	<u>0,8±0,05</u> 1,0±0,1	<u>0,9±0,1</u> 1,5±0,1	<u>1,0±0,1</u> 5,8±0,4	<u>0,1±0,01</u> 0,1±0,01	<u>0,2±0,01</u> 0,3±0,02	<u>3,1</u> 8,7
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	<u>1,4±0,1</u> 2,1±0,1	<u>0,5±0,03</u> 0,6±0,04	<u>1,0±0,1</u> 5,2±0,3	<u>0,4±0,03</u> 0,4±0,02	<u>0,1±0,01</u> 0,2±0,01	<u>3,4</u> 8,5
<i>Cichorium intybus</i> L.	<u>1,0±0,1</u> 1,1±0,1	<u>1,9±0,1</u> 1,7±0,1	<u>3,6±0,2</u> 1,9±0,1	<u>1,0±0,07</u> 1,2±0,08	<u>1,1±0,1</u> 0,2±0,01	<u>8,7</u> 6,1
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<u>0,5±0,03</u> 0,3±0,02	<u>1,0±0,1</u> 1,1±0,1	<u>1,5±0,1</u> 2,1±0,1	<u>0,4±0,03</u> 0,4±0,02	<u>0,4±0,02</u> 0,4±0,02	<u>3,9</u> 4,2
<i>Artemisia absinthium</i> L.	<u>2,7±0,1</u> 1,1±0,1	<u>3,2±0,2</u> 1,5±0,1	<u>5,0±0,3</u> 2,8±0,2	<u>2,4±0,2</u> 0,3±0,02	<u>1,5±0,1</u> 0,3±0,02	<u>14,8</u> 6,1

Продолжение

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
<i>Plantago major</i> L.	$\frac{0,3 \pm 0,01}{0,2 \pm 0,01}$	$\frac{1,9 \pm 0,1}{1,3 \pm 0,1}$	$\frac{2,5 \pm 0,2}{4,7 \pm 0,3}$	$\frac{0,8 \pm 0,05}{1,5 \pm 0,1}$	$\frac{0,4 \pm 0,02}{2,0 \pm 0,01}$	$\frac{5,9}{9,7}$
Pb						
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	$\frac{0,20 \pm 0,01}{0,07 \pm 0,004}$	$\frac{0,13 \pm 0,01}{0,13 \pm 0,01}$	$\frac{0,59 \pm 0,04}{0,85 \pm 0,05}$	$\frac{0,26 \pm 0,01}{0,30 \pm 0,02}$	$\frac{0,06 \pm 0,004}{0,08 \pm 0,01}$	$\frac{1,2}{1,4}$
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	$\frac{0,28 \pm 0,02}{0,03 \pm 0,002}$	$\frac{0,23 \pm 0,01}{0,49 \pm 0,03}$	$\frac{1,15 \pm 0,07}{1,49 \pm 0,09}$	$\frac{0,19 \pm 0,01}{0,04 \pm 0,002}$	$\frac{0,19 \pm 0,01}{0,23 \pm 0,02}$	$\frac{2,0}{2,3}$
<i>Cichorium intybus</i> L.	$\frac{0,07 \pm 0,003}{0,05 \pm 0,003}$	$\frac{0,10 \pm 0,01}{0,08 \pm 0,01}$	$\frac{0,32 \pm 0,02}{0,58 \pm 0,04}$	$\frac{0,10 \pm 0,01}{0,13 \pm 0,01}$	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,11 \pm 0,01}$	$\frac{0,6}{0,9}$
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	$\frac{0,15 \pm 0,008}{0,24 \pm 0,015}$	$\frac{0,21 \pm 0,01}{0,51 \pm 0,03}$	$\frac{0,35 \pm 0,02}{2,06 \pm 0,13}$	$\frac{0,09 \pm 0,01}{0,78 \pm 0,05}$	$\frac{0,05 \pm 0,003}{0,57 \pm 0,04}$	$\frac{0,9}{4,2}$
<i>Artemisia absinthium</i> L.	$\frac{0,54 \pm 0,029}{2,40 \pm 0,15}$	$\frac{0,31 \pm 0,02}{0,78 \pm 0,05}$	$\frac{1,03 \pm 0,06}{6,67 \pm 0,41}$	$\frac{0,17 \pm 0,01}{1,64 \pm 0,1}$	$\frac{0,24 \pm 0,02}{1,44 \pm 0,1}$	$\frac{2,3}{12,9}$
<i>Plantago major</i> L.	$\frac{0,09 \pm 0,005}{0,09 \pm 0,006}$	$\frac{0,12 \pm 0,01}{0,45 \pm 0,03}$	$\frac{0,44 \pm 0,03}{1,02 \pm 0,06}$	$\frac{0,02 \pm 0,001}{0,04 \pm 0,002}$	$\frac{0,03 \pm 0,002}{0,05 \pm 0,003}$	$\frac{0,7}{1,6}$

Примечание: * Ошибка средней; ** числитель — надземная часть, знаменатель — корни.

Note: * Standard error; ** numerator: above — ground part, denominator — roots.

Таблица 2

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях фоновых территорий Новосибирской области, мг/кг

Table 2

Fractional composition of Cr, Cu and Pb compounds in wild medicinal plants of background areas of the Novosibirsk region, mg/kg

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
Cr						
<i>Achillea millefolium</i> L.	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,18 \pm 0,006^*}{1,4 \pm 0,04}$	$\frac{0,13 \pm 0,004}{0,8 \pm 0,03}$	$\frac{0,11 \pm 0,004}{0,4 \pm 0,01}$	$\frac{0,42^{**}}{2,6}$
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,10 \pm 0,03}{0,7 \pm 0,03}$	$\frac{0,04 \pm 0,001}{0,2 \pm 0,01}$	$\frac{0,03 \pm 0,001}{0,2 \pm 0,01}$	$\frac{0,17}{1,1}$
<i>Chelidonium majus</i> L.	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,07 \pm 0,002}{0,7 \pm 0,03}$	$\frac{0,07 \pm 0,003}{0,4 \pm 0,01}$	$\frac{0,05 \pm 0,002}{0,2 \pm 0,01}$	$\frac{0,19}{1,3}$
<i>Cichorium intybus</i> L.	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,11 \pm 0,003}{2,1 \pm 0,07}$	$\frac{0,06 \pm 0,002}{1,5 \pm 0,05}$	$\frac{0,04 \pm 0,001}{1,7 \pm 0,05}$	$\frac{0,21}{5,3}$
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,04 \pm 0,001}{1,6 \pm 0,06}$	$\frac{0,03 \pm 0,001}{0,6 \pm 0,02}$	$\frac{0,04 \pm 0,001}{0,3 \pm 0,01}$	$\frac{0,11}{2,5}$
<i>Plantago major</i> L.	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,32 \pm 0,01}{4,5 \pm 0,18}$	$\frac{0,14 \pm 0,004}{2,9 \pm 0,1}$	$\frac{0,08 \pm 0,003}{2,2 \pm 0,07}$	$\frac{0,54}{9,6}$
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,11 \pm 0,03}{1,8 \pm 0,06}$	$\frac{0,11 \pm 0,003}{0,9 \pm 0,03}$	$\frac{0,06 \pm 0,002}{1,2 \pm 0,03}$	$\frac{0,28}{3,9}$
<i>Urtica dioica</i> L.	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{0,24 \pm 0,008}{4,5 \pm 0,17}$	$\frac{0,12 \pm 0,004}{1,9 \pm 0,06}$	$\frac{0,18 \pm 0,006}{1,3 \pm 0,04}$	$\frac{0,54}{7,7}$
Cu						
<i>Achillea millefolium</i> L.	$\frac{0,8 \pm 0,03}{1,1 \pm 0,03}$	$\frac{0,7 \pm 0,03}{0,9 \pm 0,03}$	$\frac{3,9 \pm 0,15}{4,8 \pm 0,16}$	$\frac{0,5 \pm 0,002}{2,1 \pm 0,08}$	$\frac{0,2 \pm 0,001}{1,8 \pm 0,05}$	$\frac{6,1}{10,7}$
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	$\frac{1,3 \pm 0,04}{0,9 \pm 0,03}$	$\frac{1,1 \pm 0,03}{1,0 \pm 0,03}$	$\frac{5,0 \pm 0,19}{4,2 \pm 0,15}$	$\frac{0,2 \pm 0,001}{0,8 \pm 0,03}$	$\frac{0,1 \pm 0,0003}{0,7 \pm 0,02}$	$\frac{7,7}{7,6}$

Продолжение

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
<i>Chelidonium majus</i> L.	$1,3 \pm 0,03$ $1,3 \pm 0,04$	$0,8 \pm 0,003$ $1,1 \pm 0,03$	$5,6 \pm 0,21$ $5,6 \pm 0,21$	$0,6 \pm 0,002$ $1,8 \pm 0,06$	$0,2 \pm 0,001$ $1,9 \pm 0,06$	$8,5$ $11,7$
<i>Cichorium intybus</i> L.	$1,6 \pm 0,05$ $4,4 \pm 0,15$	$1,2 \pm 0,03$ $3,5 \pm 0,11$	$4,8 \pm 0,17$ $13,4 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,04$ $1,9 \pm 0,06$	$0,5 \pm 0,002$ $2,5 \pm 0,07$	$9,5$ $25,7$
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	$0,9 \pm 0,03$ $4,5 \pm 0,15$	$0,4 \pm 0,001$ $2,5 \pm 0,07$	$7,2 \pm 0,26$ $7,5 \pm 0,26$	$0,3 \pm 0,001$ $1,2 \pm 0,03$	$0,4 \pm 0,001$ $0,9 \pm 0,03$	$9,2$ $16,6$
<i>Plantago major</i> L.	$1,1 \pm 0,03$ $3,9 \pm 0,13$	$1,1 \pm 0,03$ $2,8 \pm 0,09$	$7,0 \pm 0,24$ $12,0 \pm 0,4$	$0,5 \pm 0,002$ $5,4 \pm 0,2$	$0,1 \pm 0,0004$ $8,0 \pm 0,27$	$9,8$ $32,2$
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	$2,9 \pm 0,1$ $6,1 \pm 0,23$	$2,7 \pm 0,09$ $2,2 \pm 0,08$	$12,4 \pm 0,45$ $24,3 \pm 0,8$	$3,5 \pm 0,12$ $2,2 \pm 0,08$	$0,4 \pm 0,001$ $1,8 \pm 0,06$	$21,9$ $36,6$
<i>Urtica dioica</i> L.	$1,3 \pm 0,03$ $2,4 \pm 0,09$	$0,8 \pm 0,03$ $1,8 \pm 0,06$	$5,4 \pm 0,2$ $4,7 \pm 0,15$	$0,7 \pm 0,003$ $3,2 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,002$ $3,9 \pm 0,13$	$8,8$ $16,0$
Pb						
<i>Achillea millefolium</i> L.	$0,00$ $0,02 \pm 0,001$	$0,03 \pm 0,001$ $0,03 \pm 0,001$	$0,37 \pm 0,01$ $0,22 \pm 0,007$	$0,10 \pm 0,003$ $0,25 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,001$ $0,19 \pm 0,006$	$0,52$ $0,71$
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	$0,00$ $0,00$	$0,04 \pm 0,001$ $0,01 \pm 0,0003$	$0,31 \pm 0,01$ $0,07 \pm 0,002$	$0,09 \pm 0,003$ $0,05 \pm 0,002$	$0,03 \pm 0,001$ $0,04 \pm 0,001$	$0,47$ $0,17$
<i>Chelidonium majus</i> L.	$0,04 \pm 0,001$ $0,01 \pm 0,003$	$0,05 \pm 0,001$ $0,03 \pm 0,001$	$0,44 \pm 0,02$ $0,25 \pm 0,008$	$0,07 \pm 0,002$ $0,34 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,001$ $0,09 \pm 0,003$	$0,64$ $0,72$
<i>Cichorium intybus</i> L.	$0,00$ $0,11 \pm 0,003$	$0,01 \pm 0,0003$ $0,13 \pm 0,004$	$0,26 \pm 0,01$ $0,92 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,003$ $0,28 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,002$ $0,26 \pm 0,01$	$0,43$ $1,70$
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	$0,00$ $0,07 \pm 0,002$	$0,00$ $0,11 \pm 0,003$	$0,27 \pm 0,01$ $0,81 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,002$ $0,52 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,002$ $0,29 \pm 0,01$	$0,38$ $1,80$
<i>Plantago major</i> L.	$0,00$ $0,10 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,01$ $0,20 \pm 0,007$	$0,80 \pm 0,02$ $0,80 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,003$ $0,60 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,003$ $0,60 \pm 0,02$	$1,30$ $2,30$
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	$0,00$ $0,20 \pm 0,007$	$0,20 \pm 0,01$ $0,10 \pm 0,003$	$0,40 \pm 0,02$ $0,50 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,003$ $0,20 \pm 0,007$	$0,02 \pm 0,001$ $0,30 \pm 0,01$	$0,72$ $1,30$
<i>Urtica dioica</i> L.	$0,11 \pm 0,03$ $0,08 \pm 0,002$	$0,12 \pm 0,04$ $0,11 \pm 0,003$	$0,53 \pm 0,02$ $0,31 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,003$ $0,59 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,002$ $0,30 \pm 0,01$	$0,90$ $1,39$

Примечание: * Ошибка средней; ** числитель — надземная часть, знаменатель — корни.

Note: * Standard error; ** numerator: above — ground part, denominator — roots.

Установлено, что на исследованных фоновых территориях большую долю элементов в растениях, переходящих в отвары (ФІ) и настои (ФІІ), занимает Cu. Наименее извлекаемым металлом из растений ФІ и ФІІ является Cr, который был ниже уровня определения прибора в лесостепной зоне (таблица 2). Характер распределения ТМ во фракциях І и ІІ по органам подорожника большого, ромашки лекарственной и цикория обыкновенного, произрастающих в двух природных зонах, отличается акропетальным градиентом распределения элементов. В солянокислую фракцию (ІІІ) переходит большая часть всех исследованных ТМ (таблицы 1, 2). Распределение элементов по органам растений, определенных в экстрактах ІІІ фракции, значительно варьиру-

ет в зависимости от вида растений и металла. В кислотной (ІV) и силикатной (V) фракциях извлекаются металлы, содержащиеся в нерастворимых осадках, то есть в минеральных примесях. Содержание данных фракций в подземных органах растений в основном значительно выше, чем в надземных. К наиболее извлекаемым элементам ІV фракции из растений степной зоны относится Cr (до 32–34 %), а лесостепной — Pb (до 47–50 %). Большая доля среди ТМ, составляющих остаточную фракцию (V), принадлежит Cr для растений степной и лесостепной зон.

На импактной территории НчГРЭС наибольшее накопление Cr и Cu отмечается в надземной части полыни горькой (таблица 3).

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в корнях и надземной части растений, произрастающих на импактной территории степной и лесостепной зон, мг/кг

Table 3

The content of heavy metals in the roots and aboveground parts of plants growing in the impact area of steppe and forest-steppe zones, mg/kg

Вид растения	Cr	Cu	Pb
Ростовская область			
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	35,7±3,3* 32,4±2,2	2,9±0,2 15,1±1,3	16,5±1,3 13,3±1,2
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	17,0±1,3 35,0±3,2	4,5±0,4 17,4±1,5	8,9±0,7 26,4±2,2
<i>Cichorium intybus</i> L.	28,9±2,3 29,7±2,6	10,5±0,8 15,9±1,5	8,0±0,4 16,3±1,2
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	21,8±1,7 20,7±2,0	4,5±0,3 8,7±0,8	14,1±1,2 23,9±2,1
<i>Artemisia absinthium</i> L.	25,1±2,2 16,1±1,3	8,1±0,6 9,4±0,7	35,4±3,2 40,2±3,6
<i>Plantago major</i> L.	33,4±2,8 25,6±2,2	7,1±0,5 25,6±2,1	7,5±0,6 11,2±1,0
Новосибирская область			
<i>Achillea millefolium</i> L.	0,4±0,01 3,8±0,11	9,5±0,11 11,3±0,12	0,4±0,01 0,8±0,03
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	1,8±0,04 3,6±0,07	22,5±0,68 8,5±0,35	2,3±0,09 1,8±0,07
<i>Chelidonium majus</i> L.	0,6±0,01 4,2±0,07	10,2±0,22 22,8±0,58	0,7±0,03 1,3±0,06
<i>Cichorium intybus</i> L.	0,3±0,01 1,3±0,04	11,9±0,45 24,1±0,75	0,4±0,02 1,0±0,05
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	0,1±0,00 1,4±0,02	14,1±0,32 15,6±0,40	0,7±0,02 0,8±0,03
<i>Plantago major</i> L.	0,9±0,02 4,5±0,15	11,3±0,30 25,6±0,65	0,9±0,03 3,5±0,10
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	0,4±0,00 3,1±0,08	9,8±0,22 16,0±0,38	0,7±0,02 0,9±0,03
<i>Urtica dioica</i> L.	0,5±0,01 16,9±0,52	12,1±0,32 22,6±0,61	1,1±0,03 9,1±0,22
МДУ**	0,5	30,0	5,0
ПДК***	—	—	6,0

Примечание: * Ошибка средней; числитель — надземная часть, знаменатель — корни; ** временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. № 123—4/281. Утверждено Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР 7 августа 1987 г.; *** СанПиН 2.3.2.1078-01.

Note: * Standard error; numerator — above-ground part, denominator — roots; ** temporary maximum permissible levels (MPL) for the content of certain chemical elements and gossypol in feed for farm animals and feed additives, as per document No. 123-4/281, approved by the Main Directorate of Veterinary Medicine of the USSR State Agroprom on 7 August 1987; *** SanPiN 2.3.2.1078-01.

В корнях растений наибольшая аккумуляция Pb установлена для тысячелистника, Cu и Cr — для полыни горькой. В растениях полыни горькой отмечается превышение МДУ Pb в 6 раз и ПДК Pb — в 5 раз. В стеблях тысячелистника отмечается превышение МДУ Pb в 2 раза. В стеблях цикория установлено

превышение МДУ Pb в 2 раза. В стеблях пижмы установлено превышение МДУ Pb в 3 раза. Загрязнение Pb наблюдается во всех надземных органах пижмы. Содержание Pb превышает ПДК в 3 раза в стеблях пижмы. В стеблях ромашки установлено превышение МДУ Pb в 3 раза, ПДК Pb в 2 раза.

Установлены закономерности распределения элементов между надземной и подземной частью дикорастущих лекарственных растений. В растениях импактной зоны НчГРЭС, таких как полынь горькая, цикорий и пижма преимуществом аккумуляция большинства ТМ наблюдается в надземной части, что связано с большой суммарной площадью листовой поверхности данных видов, а также с их высотой. Эти виды являются самыми крупными среди рассматриваемых лекарственных растений, что обуславливает значительно более интенсивное оседание содержащих поллютанты пылевых частиц на их поверхности. Для видов, имеющих небольшую высоту (10–40 см), таких как подорожник и ромашка, отмечается значительная аккумуляция изучаемых элементов в корнях. Ромашка также имеет наименьшую площадь листовой поверхности среди рассматриваемых видов. Подорожник, несмотря на большую площадь листовой поверхности, на всех площадках мониторинга является растением третьего яруса, что ведет к «перехватыванию» частиц ТМ более высокими видами, составляющими растительный покров. Накопление ТМ в растениях импактной зоны НчГРЭС обуславливается двумя факторами: аэротехногенным загрязнением путем фоллиарного поступления в растения и депонирующей ролью корней, удерживающих избыточные концентрации ТМ, поступающие из почвы.

Растения лесостепной зоны Новосибирской области в целом близки по элементному химическому составу (таблица 3). Полынь Сиверса характеризуется самым высоким содержанием в надземной части ТМ, за исключением Cr. Тысячелистник характеризуется самой низкой аккумуляцией Pb и Cu в надземной части, ромашка — Cr. Крапива отличается наибольшей аккумуляцией Cr в надземной части среди рассматриваемых видов растений Новосибирской области.

Фракционный состав ТМ в лекарственных растениях импактных территорий Ростовской и Новосибирской областей характеризуется преобладанием водной фракции (I) над водно-спиртовой (II) (рисунки 1, 2).

Можно отметить, что в основном в отвары (ФИ) переходит до 3 раз больше ТМ, чем в настои (ФII), за исключением Pb, для которого характерна обратная закономерность. Металлы по степени экстрагируемости в водный отвар (ФИ) из надземных органов растений степной зоны образуют следующий ряд (%): Cr (1–5) < Pb (13–20) < Cu (5–41). В условиях техногенного загрязнения почв Ростовской области концентрации ТМ,

извлекаемых в кислотные экстракты, уменьшаются в следующем ряду: Cr > Pb > Cu (рисунок 1). Для Cr установлена наименьшая извлекаемость в легкорастворимые фракции (ФИ и ФII) среди всех рассматриваемых элементов, составляющая 1–5 и 1–4 % для надземной части и 1–5 и 1–8 % для корней, при самой высокой доле силикатной фракции в надземной части (26–44 %) (рисунок 1). Для Cu характерна высокая степень извлечения из надземной части растений, особенно пижмы, в отвары и спиртовые растворы (ФИ и ФII). Сумма первых двух фракций (ФИ и ФII) Cu в растениях составляет 37–57 %. Pb является одним из самых легко извлекаемых ТМ среди изучаемых. Для данного элемента установлена наиболее высокая доля извлекаемой спиртом фракции, а сумма ФИ и ФII составляет 25–59 % в надземной части и 11–57 % в корнях, что говорит о высокой опасности элемента в случае загрязнения им лекарственного растительного сырья.

По экстрагируемости в отвары из надземных органов растений лесостепной зоны ТМ распределяются следующим образом (%): Cr (0) < Pb (6–11) < Cu (7–23) (рисунок 2). Полученные данные свидетельствуют о более высокой экстрагирующей способности водной экстракции по сравнению с водно-спиртовым настоем, что согласуется с представлениями о присутствии части ТМ в лекарственном растительном сырье в водорастворимых и легкоэкстрагируемых формах² [20].

Превалирующей как в надземных частях, так и в корнях является солянокислая фракция (III) ТМ. Выявлено более высокое содержание прочносвязанных ТМ в кислотной (IV) и силикатной (V) фракциях в корнях, чем в побегах [21]. В растениях Новосибирской области ряд ТМ, извлекаемых в кислотные экстракты, имеет следующий вид: Cu > Cr > Pb.

В отвары (ФИ) извлекается 7–25 % Cu (23 % из надземной части чистотела и 25 % из корней одуванчика), в настои (ФII) — 6–16 % (16 % из корней цикория) (рисунок 2). Наибольшую долю в растениях импактной территории занимает солянокислая фракция Cu (ФIII): до 77 % в надземных органах и 54 % в корнях. В целом распределение фракционного состава Cu соответствует данным, полученным на фоновых территориях, что, вероятно, подчеркивает биофильную природу данного элемента. Так же, как и в фоновых, в растениях импактной территории отмечается значительная доля солянокислой фракции (ФIII) Pb в надземных органах, а в корнях превалирует кислотная фракция (ФIV) (рисунок 2).

² Гравель И.В., Шойхет Ю.Н., Яковлев Г.Н. и др. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном материале и фитопрепаратах. М. : ГЕОТАР-Медиа, 2013.

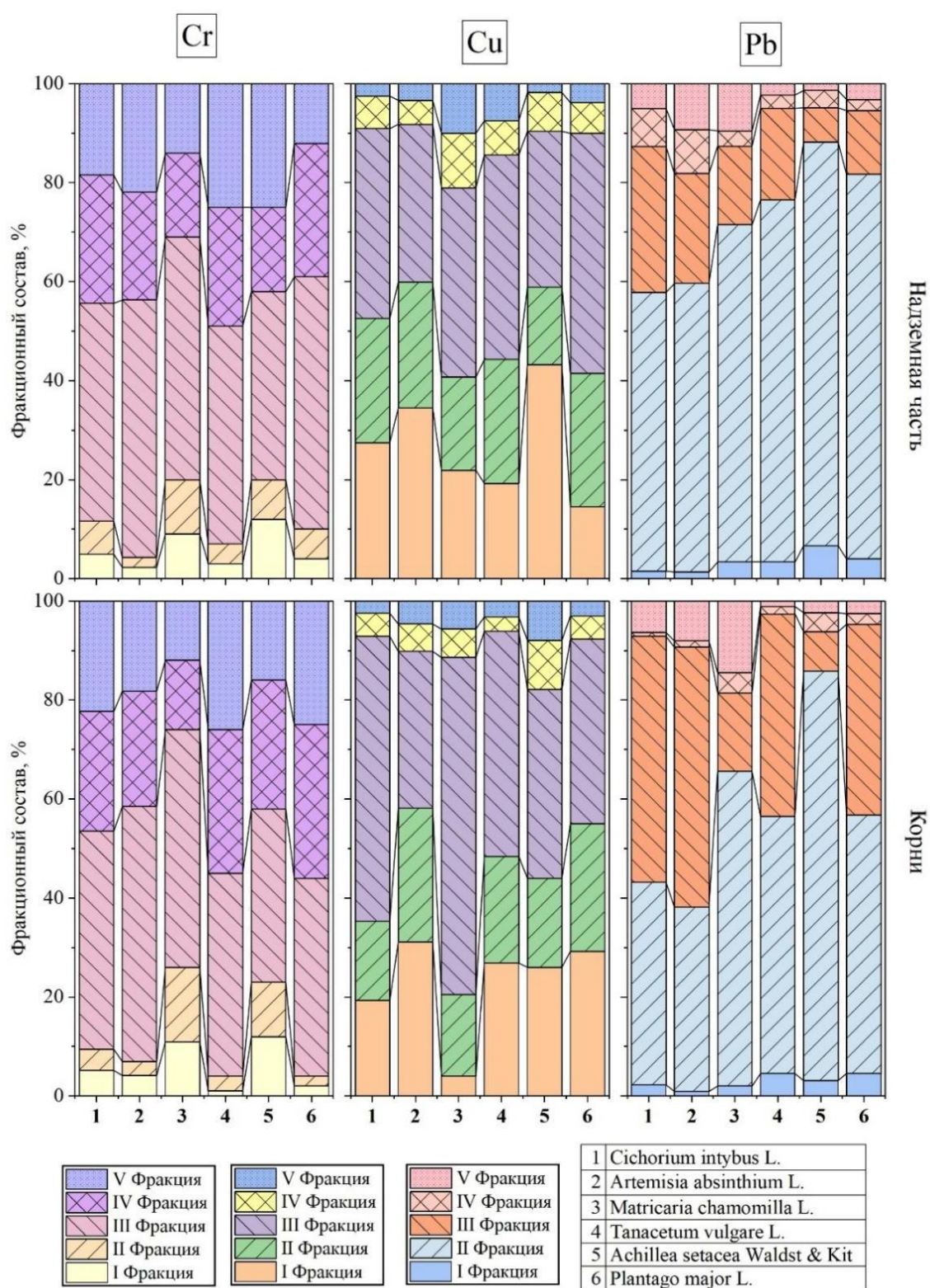


Рисунок 1

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях импактной территории Ростовской области

Figure 1

Fractional composition of Cr, Cu, and Pb compounds in wild medicinal plants from the impact area of the Rostov Region

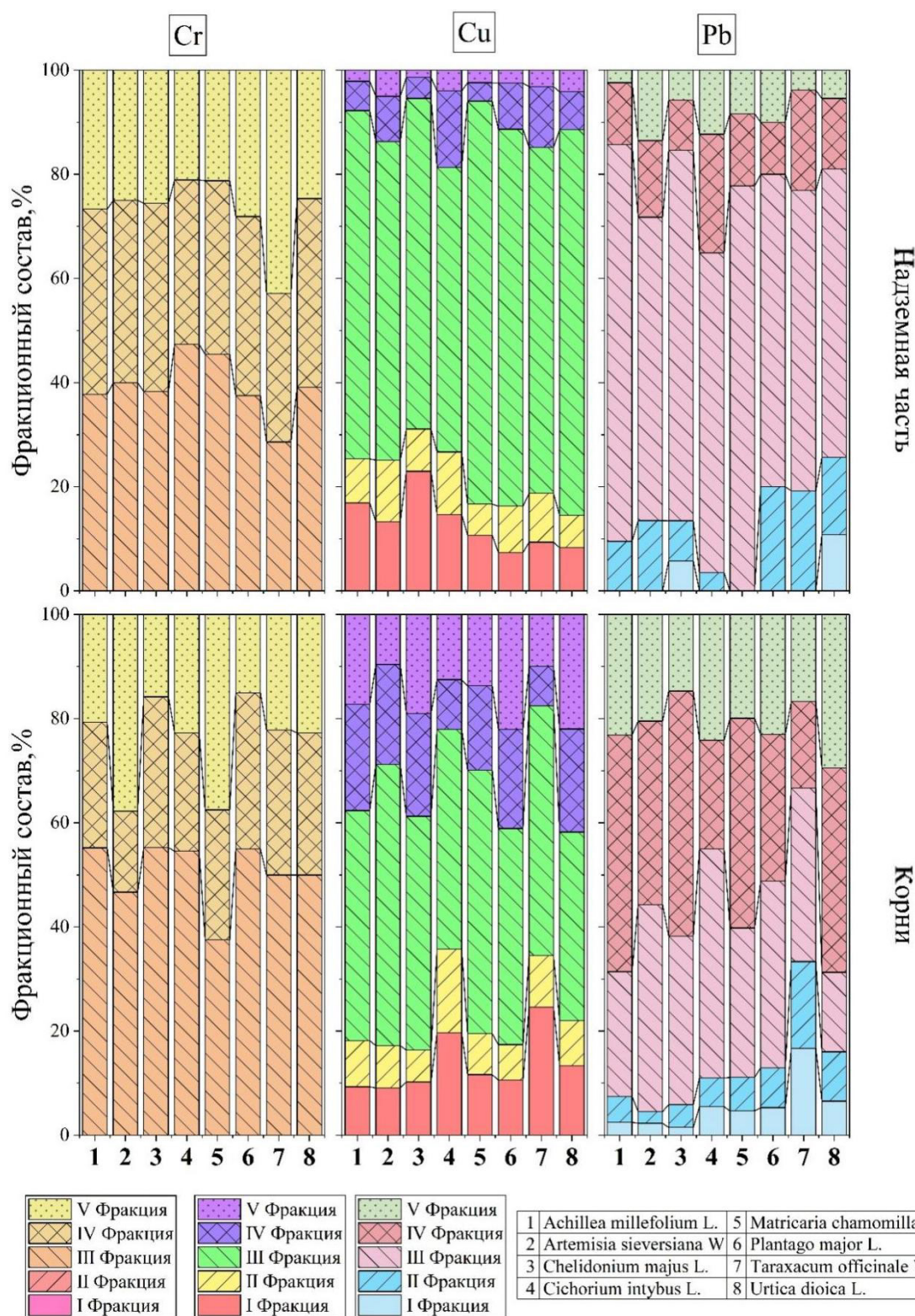


Рисунок 2

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях импактной территории Новосибирской области

Figure 2

Fractional composition of Cr, Cu, and Pb compounds in wild medicinal plants from the impact area of the Novosibirsk Region

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены региональные биогеохимические особенности фракционного состава соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных травянистых растениях степной и лесостепной природных зон юга европейской части России и юго-востока Западной Сибири с использованием авторской схемы фракционирования ТМ, основанной на определении 5 фракций ТМ, различающихся по степени их экстрагируемости из растений.

Выявлены общие закономерности и специфические особенности изменения фракционного состава ТМ в лекарственных растениях степной и лесостепной зон в условиях загрязнения. Установлено значительное варьирование фракционного состава металлов в растениях импактных территорий, зависящее как от биологических особенностей растений и химических свойств металлов, так и от региональных особенностей и уровня техногенной нагрузки. При накоплении металлов в растениях увеличивается доля Cr, Cu и Pb во всех фракциях, особенно в наиболее экстрагируемых формах. Наряду с увеличением абсолютного содержания ТМ во всех фракциях происходит изменение в распределении фракций в зависимости от особенностей металла и вида растения. Превалирующей фракци-

ей в надземной части и в корнях растений является солянокислая (ФIII). Анализ отваров, настоек и солянокислых вытяжек выявил зависимость степени экстрагирования ТМ от их физико-химических свойств, видовых особенностей лекарственных растений и природы экстрагента. Наибольшая экстрагируемость в отвары и настои из растений импактной территории Новосибирской области наблюдается для соединений Cu, для растений импактной зоны Ростовской области — для Cu и Pb. При увеличении техногенной нагрузки в надземных частях растений отмечается увеличение доли металлов в отварах и настоях по сравнению с корнями, что свидетельствует о повышении потенциальной опасности использования таких лекарственных растений. Распределение элементов по фракциям зависит от природы металла и индивидуальной специфики каждого вида растения, общей закономерности для семейств не установлено.

Таким образом, полученные данные по фракционному составу соединений ТМ в растениях степных и лесостепных зон позволят не только выявить региональную и видовую биогеохимическую специфику накопления их в лекарственном сырье, но и разработать научно обоснованные критерии экологической и санитарной безопасности дикорастущих лекарственных растений.

Вклад авторов

В. А. Чаплыгин: разработка концепции, научное руководство, администрирование проекта, написание черновика рукописи, рецензирование и редактирование.

Т. И. Сиромля: разработка методологии, проведение исследования, формальный анализ, валидация результатов, визуализация.

Н. П. Черникова: проведение исследования, формальный анализ, курирование данных, валидация результатов.

А. В. Барахов: проведение исследования, формальный анализ, визуализация.

А. Е. Смехунов: проведение исследования, формальный анализ, курирование данных.

А. А. Бадмаева: проведение исследования, формальный анализ, рецензирование и редактирование.

Contributions

V. A. Chaplygin: conceptualization, supervision, project administration, writing-original draft, writing-review & editing.

T. I. Siromlya: methodology, investigation, formal analysis, validation, visualization.

N. P. Chernikova: investigation, formal analysis, data curation, validation.

A. V. Barakhov: investigation, formal analysis, visualization.

A. E. Smekhunov: investigation, formal analysis, data curation.

A. A. Badmaeva: investigation, formal analysis, writing-review & editing.

Ч. Кесвани: формальный анализ, визуализация, написание черновика рукописи.

С. С. Манджиева: проведение исследования, формальный анализ, валидация результатов, рецензирование и редактирование.

Т. М. Минкина: предоставление ресурсов, разработка концепции, научное руководство, рецензирование и редактирование.

C. Keswani: formal analysis, visualization, writing-original draft.

S. S. Mandzhieva: investigation, formal analysis, validation, writing-review & editing.

T. M. Minkina: resources, conceptualization, supervision, writing-review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Коровин А.А., Безгина Ю.А., Зеленская Т.Г. и др. Адаптация приемов биологизации земледелия для решения проблем аграрного производства. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2023;3(51):41-46. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2023-14-51-41-46>
2. Korovin A.A., Bezgina JU.A., Zelenskaya T.G. et al. The future of soil fertility lies in the biologization of the farming system. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2023;3(51):41-46. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2023-14-51-41-46>
3. Зеленская Т.Г., Коровин А.А., Безгина Ю.А. и др. Новые технологии в растениеводстве как условие экологической и продовольственной безопасности. *Вестник АПК Ставрополя*. 2022;1(45):32-36.
Zelenskaya T.G., Korovin A.A., Bezgina Ju.A. et al. New technologies in crop production as a condition for environmental and food security. *Agricultural Bulletin of Stavropol region*. 2022;1(45):32-36. (In Russ.)
4. Baenguev B., Belogolova G., Chuparina E. et al. Arsenic and heavy metals in reclaimed soils of sulfide-containing waste dumps: contamination levels, spatial distribution, bioavailability, and health risk assessment. *Environmental Research*. 2026;124544. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2026.124544>
5. Alloway B.J. *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. 3rd edn. Springer. 2013. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-4470-7>
6. Марцев А.А., Селиванов О.Г., Курбатов Ю.Н. и др. Загрязнение почв города с машиностроительным производством тяжелыми металлами и мышьяком и эпидемиологический риск для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2024;103(3):212-220. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-3-208-215>
Martsev A.A., Selivanov O.G., Kurbatov Y.N. et al. Soil pollution of the city with machine-building production by heavy metals and arsenic and epidemiological risk to public health. *Hygiene and Sanitation*. 2024;103(3):212-220. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-3-208-215>
7. Бойко Н.Н., Бондарев А.В., Жиликова Е.Т. и др. Фитопрепараты, анализ фармацевтического рынка Российской Федерации. *Научный результат. Медицина и фармация*. 2017;3(4):30-38. <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2017-3-4-30-38>
Boyko N.N., Bondarev A.V., Zhilyakova E.T. et al. Phytodrugs, analysis of Russian Federation pharmaceutical market. *Scientific Result. Medicine and Pharmacy*. 2017;3(4):30-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2017-3-4-30-38>
8. Щукин В.М., Кузьмина Н.Е., Швецова Ю.Н. и др. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в различных лекарственных формах растительных препаратов российского фармацевтического рынка. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2020;10(1):41-50. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50>
Shchukin V.M., Kuz'mina N.E., Shvetsova Yu.N. et al. Comparative Analysis of Heavy Metal and Arsenic Content in Various Herbal Dosage Forms Marketed in Russia. *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products*. 2020;10(1):41-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50>

9. Hlihor R.M., Roşca M., Hagiu-Zaleschi L. et al. Medicinal plant growth in heavy metals contaminated soils: responses to metal stress and induced risks to human health. *Toxics*. 2022;10(9):499. <https://doi.org/10.3390/toxics10090499>
10. Bakshe P., Jugade R. Phytostabilization and rhizofiltration of toxic heavy metals by heavy metal accumulator plants: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*. 2023;10:100234. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100293>
11. Huang W., Zhang C., Zhu B. et al. Systematic evaluation of plant metals/metalloids accumulation efficiency: a global synthesis of bioaccumulation and translocation factors. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1602951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1602951>
12. Чаплыгин В.А., Бурачевская М.В., Минкина Т.М. и др. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в почвах и лекарственных растениях импактной зоны Новочеркасской ГРЭС. *Почвоведение*. 2024;10:1424-1438. <https://doi.org/10.31857/S0032180X24100116>
Chaplygin V.A., Burachevskaya M.V., Minkina T.M. et al. Accumulation and distribution of heavy metals in soils and medicinal plants in the impact zone of Novocherkassk power station. *Eurasian Soil Science*. 2024;10:1424-1438. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0032180X24100116>
13. Сиромля Т.И., Бурачевская М.В., Манджиева С.С. и др. Фракционно-групповой состав соединений Cr, Ni и Mn в основных типах почв фоновых и загрязненных территорий лесостепной зоны Новосибирской области. *Почвоведение*. 2025;2:229-244.
Siromlya T.I., Burachevskaya M.V., Mandzhieva S.S. et al. Fractional and group composition of Cr, Ni, and Mn compounds in the main types of soils in background and contaminated areas in the forest-steppe zone in Novosibirsk Oblast. *Eurasian Soil Science*. 2025;2:229-244. (In Russ.)
14. Цховребов В.С., Вовк А.М. Сезонная динамика питательных элементов в черноземе выщелоченном при внесении фосфатных удобрений в посевах подсолнечника в условиях Ставропольской возвышенности. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025;15(4):47-56. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56> EDN OPTGUA
Tskhovrebov V.S., Vovk A.M. Seasonal dynamics of nutrients in leached chernozem under phosphate fertilizer application in sunflower crops in the conditions of the Stavropol Upland. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(4):47-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56>
15. Чумакова В.В., Миронова Т.М., Чумаков В.Ф. и др. Ресурсный потенциал дикорастущих популяций ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах России: результаты экспедиционных обследований. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025;15(3):88-97. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-88-97> EDN RMHLMQ
Chumakova V.V., Mironova T.M., Chumakov V.F. et al. Resource Potential of Wild Populations of Orchard Grass (*Dactylis glomerata* L.) from the Southern and North Caucasian Federal Districts of Russia: Findings from an Expedition Survey. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(3):88-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-88-97>
16. Мяделец М.А., Сиромля Т.И., Охлопкова О.В. и др. Содержание химических элементов и биологически активных веществ в листьях подорожника большого (*Plantago Major* L.) в условиях антропогенно нарушенных местообитаний. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2015;132(1):94-97.
Myadelets M.A., Siromlya T.I., Okhlopko O.V. et al. The content of chemical elements and biologically active substances in the leaves of plantain large (*Plantago Major* L.) in conditions of anthropogenic disturbed habitats. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2015;132(1):94-97.
17. Сиромля Т.И., Загурская Ю.В. Элементный химический состав *Hypericum Perforatum* — ненормируемые элементы. *Химия растительного сырья*. 2019;2:179-187.
Siromlya T.I., Zagurskaya Yu.V. Chemical element composition of *Hypericum Perforatum* plants: elements which concentrations are not regulated. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*. 2019;2:179-187. (In Russ.)
18. Шаболкина Е.Н., Долженко Д.О., Долженко Н.Э. и др. Качество зерна сортов озимой мягкой пшеницы селекции Самарского НИИСХ в Степном Заволжье. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2025;20(4(80)):70-76. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-20-4-70-76>
Shabolkina E.N., Dolzhenko D.O., Dolzhenko N.E. et al. Grain quality of winter common wheat varieties bred by samara research institute in the steppe Trans-Volga Region. *Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2025;20(4(80)):70-76. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-20-4-70-76>

19. Государственная фармакопея Российской Федерации / Министерство здравоохранения Российской Федерации. М., 2018.
The State Pharmacopoeia of the Russian Federation / Ministry of Health of the Russian Federation. М., 2018. (In Russ.)
20. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957. 237.
Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils. Moscow, 1957. 237. (In Russ.)
21. Танцерева И.Г., Попов А.И., Чистохин Ю.Г. и др. Эколого-фармакогностическое исследование некоторых лекарственных растений Кемеровской области. *Медицина в Кузбассе.* 2006;5(2):23-27.
Tantsereva I.G., Popov A.I., Chistokhin Yu.G. et al. Ecological and pharmacognostic research of some medicinal plants of the Kemerovo region. Medicine in Kuzbass. 2006;5(2):23-27. (In Russ.)
22. Сиромля Т.И. Влияние загрязнения от автотранспорта на экологическое состояние подорожника большого (*Plantago major* L.). *Сибирский экологический журнал.* 2011;5:677-688.
Siromlya T.I. Influence of traffic pollution on ecological state of Plantago major L. Siberian Ecological Journal. 2011;5:677-688. (In Russ.)

Сведения об авторах

Чаплыгин Виктор Анатольевич —

кандидат биологических наук, доцент, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-1142-7750>

SPIN-код: 6895-8591

chaplygin@sfedu.ru

Сиромля Татьяна Ивановна —

доктор биологических наук, научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0155-2283>

SPIN-код: 2659-9471

siromlya@issa-siberia.ru

Черникова Наталья Петровна —

научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4188-727X>

SPIN-код: 8882-7985

nchernikova@sfedu.ru

Барахов Анатолий Вадимович —

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-0467-729X>

SPIN-код: 3626-9222

barahov@sfedu.ru

About the authors

Viktor A. Chaplygin —

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-1142-7750>

chaplygin@sfedu.ru

Tatiana I. Siromlya —

Dr. Sci. (Biol.), Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0155-2283>

siromlya@issa-siberia.ru

Natalia P. Chernikova —

Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4188-727X>

nchernikova@sfedu.ru

Anatoly V. Barakhov —

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-0467-729X>

barahov@sfedu.ru

Смехунов Анатолий Евгеньевич —

лаборант-исследователь, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0009-0007-8080-1498>

asmekhunov@sfedu.ru

Бадмаева Алина Артуровна —

лаборант, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0009-0000-8032-7318>

SPIN-код: 1897-4163

badmae@sfedu.ru

Четан Кесвани —

PhD, ведущий научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-2786-121X>

kesvani@sfedu.ru

Манджиева Саглара Сергеевна —

кандидат биологических наук, главный научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Калмыцкий научный центр РАН, Элиста, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-6000-2209>

SPIN-код: 7305-6490

msaglara@sfedu.ru

Минкина Татьяна Михайловна —

профессор, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-3022-0883>

SPIN-код: 3863-6522

minkina@sfedu.ru

Anatoly E. Smekhunov —

Laboratory Assistant Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-8080-1498>

asmekhunov@sfedu.ru

Alina A. Badmaeva —

Laboratory Assistant, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-8032-7318>

badmae@sfedu.ru

Chetan Keswani —

PhD, Leading Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-2786-121X>

kesvani@sfedu.ru

Saglara S. Mandzhieva —

Cand. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Elista, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-6000-2209>

msaglara@sfedu.ru

Tatiana M. Minkina —

Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-3022-0883>

minkina@sfedu.ru

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-97-108>

Оценка аффинитета привойно-подвойных комбинаций винограда по показателю импеданса

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Наталья Леонидовна
Студенникова

E-mail: studennikova63@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Студенникова Н.Л., Скалозубов И.М., Рыбаченко Н.А. Оценка аффинитета привойно-подвойных комбинаций винограда по показателю импеданса. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):97-108. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-97-108> EDN PHJANV

ПОСТУПИЛА: 10.04.2026

ДОРАБОТАНА: 05.06.2026

ПРИНЯТА: 08.06.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Студенникова Н.Л.,
Скалозубов И.М.,
Рыбаченко Н.А.



Н.Л. Студенникова , И.М. Скалозубов, Н.А. Рыбаченко 

Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарах» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», Ялта, Республика Крым, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Одним из методических подходов к оценке состояния срастания привитых компонентов является определение электрического сопротивления (импеданса) у привитых саженцев винограда. Импеданс прикамбиальных тканей лозы объективно отражает особенности роста и развития растений. Комплексное исследование привойно-подвойных комбинаций технических сортов винограда на подвоях группы АЗОС является актуальным и позволит выделить наиболее эффективное их сочетание, обеспечивающее высокий выход стандартного посадочного материала и привлечь новые филлоксероустойчивые подвои в массовое производство привитых саженцев.

ЦЕЛЬ. Изучить возможность использования метода импеданса для оценки аффинитета привитых растений винограда на подвоях группы АЗОС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В течение 2023–2025 гг. изучались 12 привойно-подвойных комбинаций винограда. Измерение электросопротивления проводилось цифровым мультиметром М 838 перед посадкой прижившихся привитых черенков после стратификации, через 20 и 60 дней после посадки прививок в школку, а также при выкопке привитых саженцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Высокая приживаемость и низкий показатель импеданса установлены в группе сортов, привитых на подвоях Берландиери × Рипариа Кобер 5ББ и АЗОС-4, что повлияло на выход качественного посадочного материала. Дисперсионный анализ показал, что на выход стандартных саженцев винограда статистически значимое влияние оказывают подвой, привой и импеданс. Корреляционный анализ выявил статистически значимую сильную отрицательную связь между выходом стандартных саженцев и импедансом. При снижении импеданса наблюдается увеличение выхода стандартных саженцев, что подтверждает наличие между этими показателями выраженной обратной зависимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Получены новые знания о перспективности использования филлоксероустойчивых подвоев группы АЗОС для создания посадочного материала винограда и применении метода импеданса для оценки приживаемости прививаемых компонентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виноград, сорт, подвой, привой, прививка, саженцы, импеданс, аффинитет

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-97-108>

Evaluation of affinity in scion-rootstock grape combinations based on impedance value

CORRESPONDENCE:

Natalia L. Studennikova

E-mail: studennikova63@mail.ru

FOR CITATION:

Studennikova N.L., Skalozubov I.M., Rybachenko N.A. Evaluation of affinity in scion-rootstock grape combinations based on impedance value.

Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2026;16(2):97-108. (In Russ.)

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-97-108>

RECEIVED: 10.04.2026

REVISED: 05.06.2026

ACCEPTED: 08.06.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Studennikova N.L., Skalozubov I.M., Rybachenko N.A.



Natalia L. Studennikova , Ivan M. Skalozubov, Natalia A. Rybachenko 

Crimean Scientific Research Center of Viticulture and Winemaking "Magarach", Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking, NRC "Kurchatov Institute", Yalta, Republic of Crimea, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. One of the methodological approaches to assessing the graft union condition is the determining of electrical resistance (impedance) in grafted grape seedlings. The impedance of procambial tissues of the vine objectively reflects the growth and development characteristics of plants. A comprehensive study of scion-rootstock combinations of wine grape varieties grafted on the rootstocks of AZOS group is relevant, and allows the identification of the most effective combination ensuring a high yield of standard planting material, as well as facilitates the introduction of new phylloxera-resistant rootstocks into the mass production of grafted seedlings.

AIM. To study the possibility of using the impedance method in order to assess the affinity of grafted grape plants on AZOS group rootstocks.

MATERIALS AND METHODS. Over the period of 2023–2025, 12 scion-rootstock combinations of grapes were studied. Electrical resistance measurements were carried out using a digital multimeter M 838 before planting the rooted grafted cuttings after stratification, then 20 and 60 days after planting the grafts in the nursery, and during lifting the grafted seedlings.

RESULTS. High survival and low impedance values were observed in the group of varieties grafted on Berlandieri × Riparia Kober 5BB and AZOS-4 rootstocks, which affected the yield of high-quality planting material. Analysis of variance showed that rootstock, scion and impedance have a statistically significant effect on the yield of standard grape seedlings. Correlation analysis revealed a statistically significant strong negative correlation between the yield of standard seedlings and impedance. A decrease in impedance is accompanied by an increase in the yield of standard seedlings, which confirms the presence of a significant inverse correlation between these indicators.

CONCLUSION. New knowledge has been obtained on the potential of using phylloxera-resistant rootstocks of AZOS group to produce grape planting material and application of the impedance method to assess the survival rate of grafted components.

KEYWORDS: grapes, variety, rootstock, scion, graft, seedlings, impedance, affinity

ВВЕДЕНИЕ

Одним из действенных направлений повышения эффективности виноградовинодельческой отрасли РФ является расширение площадей, занятых техническими сортами винограда с окрашенной ягодой, пользующимися спросом на рынке вина благодаря уникальным вкусовым качествам, проявляющимся в винодельческой продукции [1; 2]. Возделывание этих сортов в привитой культуре, в частности на филлоксероустойчивых подвоях, обеспечит долговечность и продуктивность плантаций, устойчивость виноградных кустов к абиотическим и биотическим факторам среды [3; 4].

Актуальным является изучение совместимости филлоксероустойчивых сортов подвоев, в том числе группы АЗОС, с наиболее значимыми для виноделия Республики Крым техническими сортами винограда с окрашенной ягодой Каберне Совиньон, Бастардо магарачский и Кефесия. Определение наилучшего аффинитета и выделение рентабельных привойно-подвойных комбинаций позволят рекомендовать их для внедрения в промышленное производство [5–7].

Метод импеданса широко используется для изучения процессов, происходящих в различных органах растений, и определения качества сельскохозяйственной продукции [8–17], а также устойчивости к различным возбудителям болезней [18]. Изучение электрического сопротивления (ЭС) (импеданса) у привитых саженцев служит одним из методических подходов к оценке состояния срастания привитых компонентов [19–21]. Измерение импеданса у привитых виноградных саженцев в производственных условиях в перспективе позволит более эффективно производить выбраковку нестандартного посадочного материала. Его преимуществами являются высокая производительность и наличие цифрового мультиметра. Также следует отметить, что саженцам не наносится никакого ущерба, и после проведения исследований они полностью пригодны для дальнейшей высадки [7; 19].

Наиболее объективно отражающими особенностями роста и развития растений являются прикамбиальные ткани лозы, анатомо-морфологические свойства которых могут быть оценены косвенно через их электрическое сопротивление. У растений ведущую роль в восприятии многих биотических и абиотических факторов, а также в формировании клеточного ответа — сопротивление — на их

воздействие играют плазматические мембраны, в которых возникает комплекс взаимосвязанных структурно-функциональных изменений, в число которых входит реакция мембранного потенциала. Электрический заряд на клеточной мембране является существенным фактором, влияющим на распределение заряженных частиц ионов, регулирующих обменные процессы [21; 22].

Имеющиеся данные об использовании импеданса для оценки физиологического состояния растений и срастания компонентов прививки весьма обширны. Однако вопрос о том, как электрическое сопротивление тканей коррелирует с совместимостью конкретных привойно-подвойных комбинаций винограда, особенно для окрашенных технических сортов, возделываемых в климатических условиях Республики Крым, остается недостаточно изученным. Кроме того, отсутствуют количественные критерии, позволяющие на основе измерений импеданса дифференцировать высокосовместимые, слабосовместимые и несовместимые комбинации на ранних этапах постпрививочного периода.

Цель настоящей работы — изучить возможность использовать метод импеданса для оценки аффинитета привитых растений винограда на подвоях группы АЗОС.

При проведении опытов за основу взята рабочая гипотеза, согласно которой активация обменных процессов между прививочными составляющими обеспечивает более низкий уровень электросопротивления тканей, а, следовательно, высокий уровень совместимости привоя и подвоя. Когда между компонентами прививки наблюдается слабое сращивание, электрическая цепь будет показывать более высокое сопротивление, то есть низкий уровень совместимости. Отсутствие электрического сопротивления тканей между прививаемыми компонентами указывает на их неприживаемость из-за появления некротизированных тканей, препятствующих образованию каллуса [23].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в стационарных условиях прививочного комплекса Крымского научно-исследовательского центра виноградарства и виноделия «Магарач» (Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия) (с. Вилино Бахчисарайского района) в период 2023–2025 гг.

В изучение включены 12 привойно-подвойных пар. Были использованы подвои: Кобер 5ББ, 41Б, АЗОС-4 и АЗОС-5. В качестве привоя были взяты винные сорта винограда с окрашенной ягодой Каберне Совиньон, Бастардо магарачский и Кефесия.

Представленные результаты по выходу стандартных саженцев (ГОСТ 31783–2012 Посадочный материал винограда (саженцы))¹ после выкопки рассчитывались от изготовленных привитых черенков.

Регистрация электросопротивления осуществлялась перед высадкой прижившихся привитых черенков после их стратификации цифровым мультиметром М 838. Определение импеданса осуществлялось через 20 и 60 дней после высадки прививок в школку, а также при выкопке привитых саженцев.

Математическую обработку данных с применением методов дисперсионного и корреляционного анализов проводили с использованием стандартного пакета статистических программ Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Измерение электропроводности тканей привитых плодовых культур и винограда широко используется в научных исследованиях. В. И. Иванченко,

и др. [3] изучали показатели уровня сопротивления электропроводности тканей (импеданс) привитых саженцев винограда аборигенных сортов Крыма. В. В. Минеев и др. [24] применили метод биоимпеданса для оценки физиологического состояния земляники садовой. Е. Е. Гужова и др. [25] разработали способ диагностики качества срастания компонентов прививки плодовых культур (яблоня, слива, айва, груша) методом электропроводности с использованием кондуктометра «Эксперт — 002» для определения жизнеспособности привитых растений на начальном этапе срастания компонентов прививок.

Учитывая опыт по изучению импеданса в работах ряда исследователей, нами была проведена работа по применению метода измерения электропроводности тканей для определения аффинитета винных сортов винограда с окрашенной ягодой на подвоях группы АЗОС, что ранее не изучалось.

При проведении исследований было отмечено изменение импеданса по ходу развития саженцев в условиях грунтовой школки (рисунок 1).

Установлено, что наибольшая величина этого показателя у привитых саженцев наблюдается на начальных стадиях срастания компонентов в период посадки от 240 до 367 кОм и в дальнейшем снижает-

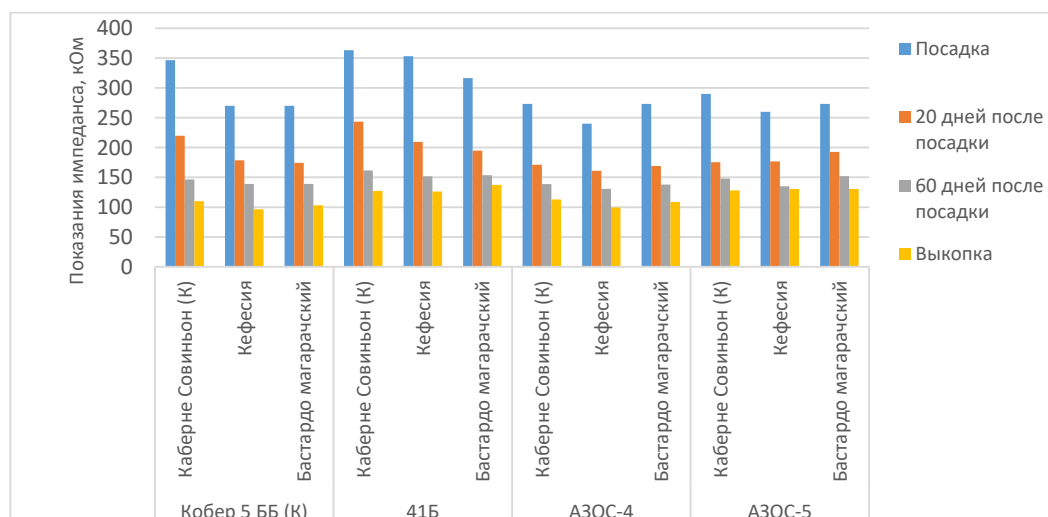


Рисунок 1

Динамика импеданса (электросопротивления) тканей привитых саженцев винограда в условиях грунтовой виноградной школки для совместимых привойно-подвойных комбинаций (среднее за 2023–2025 гг.)

Figure 1

Dynamics of impedance (electrical resistance) in tissues of grafted grape seedlings in ground nursery conditions for compatible scion-rootstock combinations (average for 2023–2025)

¹ ГОСТ 31783–2012 Посадочный материал винограда (саженцы). Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 11 с.

ся. Уровень электросопротивления становится тем ниже, чем более интенсивнее протекают процессы роста и развития растений в школке, а именно, через 20 дней после высадки показания импеданса по комбинациям снижаются в среднем от 240 до 161 кОм, а через 60 дней — от 162 до 131 кОм. Это связано с тем, что круговое срастание каллюсных тканей обеспечивает формирование корневой системы, благодаря чему растение переходит на питание минеральными веществами из почвы.

В таблице 1 приводится уровень импеданса при выкопке саженцев в среднем за 2023–2025 гг. Наиболее высокий уровень электросопротивления (130,8 кОм) по средним многолетним данным отмечен в 2023 году, характеризующемся наиболее засушливыми погодными условиями (осадки 376,7 мм, сумма активных температур 2908,7 °С). В 2024 и 2025 годах уровень импеданса заметно снижается (113,9 и 107,8 кОм соответственно), что указывает на влияние условий года на данный показатель.

Таблица 1

Уровень сопротивления электропроводности тканей (импеданс) в зависимости от привойно-подвойных комбинаций в диапазоне 200 кОм, 2023–2025 гг.

Table 1

Level of tissue electrical resistance (impedance) depending on scion-rootstock combinations in the range of 200 kΩ, 2023–2025

Подвойный сорт	Привойный сорт	Год			Средние многолетние	
		2023	2024	2025	по привою	по подвою
Берландиери × × Рипария Кобер 5 ББ (К)	Каберне Совиньон (К)	130	90	110	110	103,1
	Кефесия	124	92	73	96,3	
	Бастардо магарачский	127	104	78	103	
Средние годовые по подвою		127	95,3	87,0	—	—
НСР ₀₅		—	—	—	47,13	—
Ошибка опыта		—	—	—	13,6	—
Шасла × Берландиери 41Б	Каберне Совиньон (К)	135	117	130	127,3	130,3
	Кефесия	131	120	128	126,3	
	Бастардо магарачский	140	139	133	137,3	
Средние годовые по подвою		135,3	125,3	130,3	—	—
НСР ₀₅		—	—	—	13,32	—
Ошибка опыта		—	—	—	3,84	—
АЗОС-4	Каберне Совиньон (К)	127	112	100	113,0	107,0
	Кефесия	125	92	81	99,3	
	Бастардо магарачский	128	110	88	108,7	
Средние годовые по подвою		126,7	104,7	89,7	—	—
НСР ₀₅		—	—	—	38,46	—
Ошибка опыта		—	—	—	11,1	—
АЗОС-5	Каберне Совиньон (К)	135	124	125	128,0	129,6
	Кефесия	140	131	120	130,3	
	Бастардо магарачский	128	136	127	130,3	
Средние годовые по подвою		134,3	130,3	124,0	—	—
НСР ₀₅		—	—	—	14,69	—
Ошибка опыта		—	—	—	4,24	—
Среднегодовые по комбинациям		130,8	113,9	107,8	—	—
НСР ₀₅		—	—	—	—	10,8*
Ошибка опыта		—	—	—	—	3,14

*Различия между вариантами статистически значимы

*Differences between the variants are statistically significant

Установлено, что более низкий уровень сопротивления электропроводности тканей наблюдается у всех сортов, привитых на подвое АЗОС-4 (от 99,3 до 113,0 кОм). Наименьшее значение импеданса (в среднем по привою 99,3 кОм) зафиксировано у сорта Кефесия на подвое АЗОС-4 и на контроле Берландиери × Рипариа Кобер 5 ББ — 96,3 кОм. В связи с этим выход стандартных саженцев составил 64 и 74 % соответственно. На подвое Шасла × Берландиери 41Б для сорта Кефесия также отмечено более низкое значение импеданса (126,3 кОм) по сравнению с сортами Каберне Совиньон и Бастардо магарачский.

Сорт Бастардо магарачский показывает более высокие значения импеданса на подвоях Шасла × Берландиери 41Б (137,3 кОм) и АЗОС-5 (130,3 кОм), что находит отражение в более низком выходе стандартных саженцев — 27,3 и 24,7 % соответственно. Наименьшие показатели импеданса для этого сорта отмечены на подвоях Берландиери × Рипариа Кобер 5 ББ (103 кОм) и АЗОС-4 (108,7 кОм), а выход стандартных саженцев составил 71,3 и 50 % по подвоям.

Следует отметить, что за годы исследований лучшие показатели приживаемости, а также низкий импеданс наблюдался в группе сортов, привитых на подвое Берландиери × Рипариа Кобер 5 ББ и АЗОС-4, что отразилось на выходе качественного посадочного материала 70 и 55,6 % растений соответственно.

Использование импеданса, как малозатратного способа оценки посадочного материала, в производственных условиях позволит более эффективно производить выбраковку нестандартных саженцев [6; 26].

Установлено, что наиболее совместимым сортом в комбинациях с представленными подвоями по уровню импеданса является сорт Кефесия.

Ниже в таблице 2 приведены результаты дисперсионного анализа главных эффектов, задачей которого являлась оценка влияния каждого фактора отдельно, без учета их взаимодействий. В исследование включены фактор подвой, привой, условия года и показатель импеданса с целью определения их влияния на выход стандартных саженцев в виноградной школке.

Проведенный дисперсионный анализ показал, что вариация показателя «выход стандартных саженцев, %» в значительной степени определяется изучаемыми факторами, однако их вклад неодинаков.

Наиболее существенное влияние оказывает импеданс ($F = 9,519$; $p < 0,001$), для которого характерен очень высокий размер эффекта ($\eta^2 = 0,717$). Это свидетельствует о том, что более 70 % объясненной дисперсии, связанной с данным фактором, приходится именно на его воздействие. Высокое значение наблюдаемой мощности (1,0) указывает на надежность выявленного эффекта и минимальную вероятность ошибки второго рода. Таким образом, импеданс является ключевым детерминирующим фактором формирования выхода стандартных саженцев.

Значимое влияние также оказывает подвой ($F = 18,540$; $p < 0,001$), при этом величина эффекта ($\eta^2 = 0,413$) позволяет отнести его к факторам с сильным воздействием. Это означает, что различия между уровнями подвоя существенно отражаются на результативном признаке. Практически максимальная статистическая мощность ($\approx 1,0$) подтверждает устойчивость данного эффекта.

Таблица 2

Одномерные тесты значимости, размеры эффектов и статистическая мощность для показателя «выход стандартных саженцев, %»

Table 2

Univariate significance tests, effect sizes, and statistical power for the indicator “yield of standard seedlings, %”

Фактор	Сумма квадратов <i>SS</i>	Степени свободы (<i>df</i>)	Средний квадрат (<i>MS</i>)	<i>F</i>	<i>p</i>	Частичная η^2	Наблюдаемая мощность ($\alpha = 0,05$)
Свободный член	169158,3	1	169158,3	4845,456	0,00000	0,983	1,000000
Подвой	1941,7	3	647,2	18,540	0,00000	0,413	0,999999
Привойный сорт	457,0	2	228,5	6,546	0,00234	0,142	0,898705
Год	56,1	2	28,0	0,803	0,45163	0,019	0,182657
Импеданс	6978,5	21	332,3	9,519	0,00000	0,716	1,000000
Ошибка	2757,9	79	34,9	—	—	—	—

Фактор привойного сорта также оказывает статистически значимое влияние ($F = 6,546$; $p = 0,002$), однако его вклад заметно ниже ($\eta^2 = 0,142$), что соответствует среднему размеру эффекта. Несмотря на это, мощность теста ($\approx 0,90$) остается высокой, что позволяет считать полученные результаты достоверными. Следовательно, сортовые особенности привоя играют важную, но вторичную роль по сравнению с подвоем и импедансом.

В отличие от вышеперечисленных факторов, год не оказывает статистически значимого влияния на исследуемый показатель ($F = 0,803$; $p = 0,452$). Крайне низкое значение размера эффекта ($\eta^2 = 0,020$) указывает на его незначительный вклад в общую вариацию. Низкая наблюдаемая мощность ($\approx 0,18$) дополнительно свидетельствует о том, что даже при увеличении объема выборки вероятность выявления значимого эффекта данного фактора остается невысокой. Это позволяет сделать вывод о стабильности показателя по годам и отсутствию выраженной временной изменчивости.

Анализ остаточной дисперсии ($MS = 34,9$) показывает, что часть вариации остается необъясненной включенными в модель факторами, что может быть связано с влиянием неучтенных условий или случайных факторов.

Поскольку показатель импеданса оказывает наибольшее влияние на выход стандартных саженцев, был проведен корреляционный анализ взаимосвязи и составлена модель регрессии.

В результате корреляционного анализа установлена статистически значимая сильная отрицательная связь между импедансом и выходом стандартных саженцев в эксперименте ($r = -0,738$; $p < 0,05$). Это свидетельствует о том, что увеличение импеданса сопровождается снижением выхода стандартных саженцев (рисунок 2).

$$X = 122,88 - 0,6094Y,$$

где X — выход стандартных саженцев, %;
 Y — показатель импеданса.

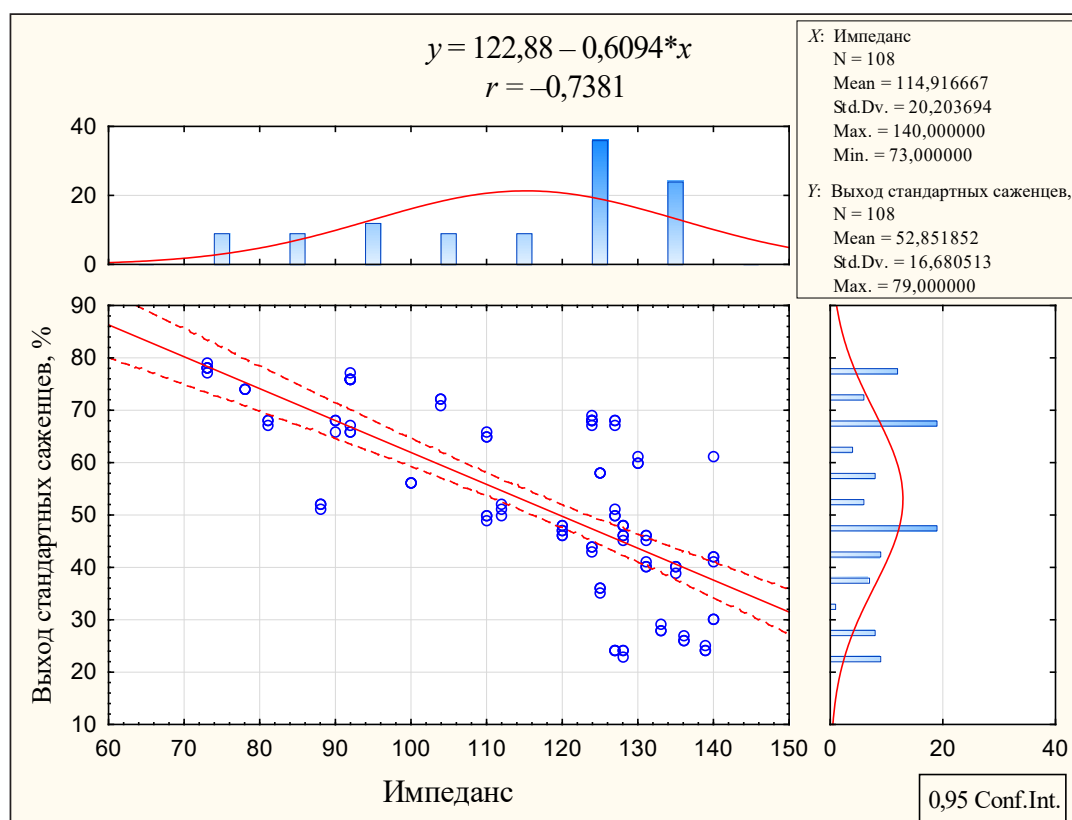


Рисунок 2

Корреляционная связь выхода стандартных саженцев и показателя электрического сопротивления

Figure 2

Correlation between the yield of standard seedlings and electrical resistance

Наибольший выход стандартных саженцев обеспечивают комбинации с подвоем Берландиери × Рипариа Кобер 5 ББ, особенно в сочетании с сортами Кефесия и Бастардо магарачский (таблица 3). Эти варианты характеризуются не только высокими значениями выхода (71,3–74 %), но и относительно низкими значениями импеданса. Подвои АЗОС-4 демонстрируют среднюю эффективность, обеспечивая стабильный, но менее высокий выход.

Наименее эффективными являются комбинации с подвоями Шасла × Берландиери 41Б и АЗОС-5, для которых характерны низкие значения выхода и высокий импеданс.

В целом установлено, что снижение импеданса сопровождается увеличением выхода стандартных саженцев, что подтверждает наличие выраженной обратной зависимости между этими показателями.

Таблица 3

Выход стандартных виноградных саженцев (%) в зависимости от привойно-подвойных комбинаций, 2023–2025 гг.

Table 3

Yield of standard grape seedlings (%) depending on scion-rootstock combinations, 2023–2025

Подвойный сорт	Привойный сорт	Год			Средние многолетние по привою	Средние многолетние по подвою
		2023	2024	2025		
Берландиери × Рипариа Кобер 5 ББ (К)	Каберне Совиньон (К)	60	68	66	64,7	70,0
	Кефесия	68	76	78	74,0	
	Бастардо магарачский	68	72	74	71,3	
Средние годовые по подвою		65,3	72,0	72,7	—	—
<i>m</i>		1,9			—	—
<i>V</i> ,%		8,0			—	—
НСР ₀₅		—			8,54	—
Ошибка опыта		—			2,46	—
Шасла × Берландиери 41Б	Каберне Совиньон (К)	42	50	40	44,0	38,7
	Кефесия	40	48	46	44,7	
	Бастардо магарачский	30	24	28	27,3	
Средние годовые по подвою		37,3	40,7	38,0	—	—
<i>m</i>		3,1			—	—
<i>V</i> ,%		24,0			—	—
НСР ₀₅		—			8,54	—
Ошибка опыта		—			2,46	—
АЗОС-4	Каберне Совиньон (К)	50	52	56	52,7	55,6
	Кефесия	58	66	68	64	
	Бастардо магарачский	48	50	52	50	
Средние годовые по подвою		52	56	58,7	—	—
<i>m</i>		2,4			—	—
<i>V</i> ,%		13,0			—	—
НСР ₀₅		—			7,43	—
Ошибка опыта		—			2,14	—
АЗОС-5	Каберне Совиньон (К)	40	44	36	40,0	36,4
	Кефесия	42	46	46	44,7	
	Бастардо магарачский	24	26	24	24,7	
Средние годовые по подвою		35,3	38,7	35,3	—	—
<i>m</i>		3,1			—	—
<i>V</i> ,%		25,7			—	—
НСР ₀₅		—			5,50	12,48
Ошибка опыта		—			1,59	3,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активация обменных процессов между прививочными составляющими обеспечивает более низкий уровень электросопротивления тканей, а следовательно, высокий уровень совместимости привоя и подвоя.

Лучшие показатели приживаемости, а также низкий импеданс наблюдался в группе сортов, привитых на подвое Берландиери × Рипариа Кобер 5ББ и АЗОС-4, что отразилось на выходе качественного посадочного материала 70 и 55,6 % растений соответственно.

Результаты дисперсионного анализа показали, что на выход стандартных саженцев статистически значимое влияние оказывают подвой ($p < 0,001$),

привойный сорт ($p = 0,002$) и импеданс ($p < 0,001$). Наибольший вклад в вариацию признака вносит импеданс ($\eta^2 = 0,717$), затем подвой ($\eta^2 = 0,413$) и привойный сорт ($\eta^2 = 0,142$). Влияние года оказалось статистически незначимым ($p = 0,452$), что свидетельствует об отсутствии его влияния на исследуемый показатель.

В результате корреляционного анализа установлено статистически значимая сильная отрицательная связь между импедансом и выходом стандартных саженцев ($r = -0,738$; $p < 0,05$). Установлено, что снижение импеданса сопровождается увеличением выхода стандартных саженцев, что подтверждает наличие выраженной обратной зависимости между этими показателями.

Вклад авторов

Н. Л. Студенникова: визуализация, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

И. М. Скалозубов: проведение исследования, написание черновика рукописи.

Н. А. Рыбаченко: формальный анализ, визуализация.

Contributions

N. L. Studennikova: visualization, writing-review & editing.

I. M. Skalozubov: investigation, writing-original draft.

N. A. Rybachenko: formal analysis, visualization.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Антонян А.К., Радчевский П.П. Влияние подвоев на качество винограда и вина: обзор. *Наука и Образование*. 2024;7:2. EDN XDMKQV
Antonyan A.K., Radchevskiy P.P. The influence of rootstocks on the quality of grapes and wine: a review. *Science and Education*. 2024;7:2. (In Russ.) EDN XDMKQV
2. Shi W., He W., Zhang Z. et al. Study on the resistance of 'Cabernet Sauvignon' grapevine with different rootstocks to Colomerus vitis. *Sustainability*. 2022;14:15193. EDN: ZCXWIC
3. Замета О.Г., Иванченко В.И., Райков А.В. Оценка прививочного аффинитета аборигенных сортов винограда с районированными подвоями. *Виноградарство и виноделие*. 2023;52:36-39. EDN PYUVFS
Zameta O.G., Ivanchenko V.I., Raikov A.V. Evaluation of grafting affinity of native grape varieties with regional rootstocks. *Viticulture and Winemaking*. 2023;52:36-39. (In Russ.) EDN PYUVFS.
4. Аскеров Э.С. Научные основы аффинитета и продуктивность привитой культуры винограда. *Проблемы развития АПК региона*. 2022;3(51):24-28. https://doi.org/10.52671/20790996_2022_3_24 EDN BMVZTO
Askerov E.S. Scientific foundations of affinity and productivity grafted grape culture. *Problems of Development of the Regional AIC*. 2022;3(51):24-28. (In Russ.) https://doi.org/10.52671/20790996_2022_3_24 EDN BMVZTO
5. Павлюченко Н.Г., Зимина Н.И., Колесникова О.И. и др. Аффинитет сорта винограда Голубок с основными подвойными сортами. *Вестник КрасГАУ*. 2021;10(175):74-79. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-10-74-79> EDN GDKURI
Pavlyuchenko N.G., Zimina N.I., Kolesnikova O.I. et al. Affinity of Golubok vine variety with main rootstocks. *Bulletin of KrasSAU*. 2021;10(175):74-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-10-74-79> EDN GDKURI

6. Ботнар Е.В. Коэффициент аффинитета и адаптации для оценки перспективности привойно-подвойных комбинаций технических сортов винограда. *Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет»*. Серия: Сельскохозяйственные науки. 2011;137:148-151. EDN SCADAV.
Botnar E.V. The coefficient of affinity and adaptation to assess the prospects privoynopodvoynyh technical combinations of grape varieties. *Scientific works of the Southern branch of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Crimean Agrotechnological University"*. Series: Agricultural Sciences. 2011;137:148-151. (In Russ.) EDN SCADAV.
7. Иванченко В.И., Иванова М.И., Райков А.В. и др. Влияние качественных показателей подвойных и привойных лоз на совместимость сорто-подвойных комбинаций винограда. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2023;25(2):137-144. <https://doi.org/10.34919/IM.2023.25.2.006> EDN UGAMXS.
Ivanchenko V.I., Ivanova M.I., Raikov A.V. et al. The effect of quality indicators of rootstock and scion vines on the compatibility of variety-rootstock combinations of grapes. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2023;25(2):137-144. (In Russ.) <https://doi.org/10.34919/IM.2023.25.2.006> EDN UGAMXS.
8. Van Haevebeke M., De Baets B., Stock M. Plant impedance spectroscopy: a review of modeling approaches and applications. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1187573. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1187573>
9. Astashev M. E., Konchekov E.M., Kolik L.V. et al. Electric impedance spectroscopy in trees condition analysis: theory and experiment. *Sensors*. 2022;21:8310. <https://doi.org/10.3390/s22218310>
10. Jócsák I., Végvári G., Vozáry E. Electrical impedance measurement on plants: a review with some insights to other fields. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 2019;31:359-375. <https://doi.org/10.1007/s40626-019-00152-y>
11. Bar-On L., Garlando U., Sophocleous M. et al. Electrical modeling of *in vivo* impedance spectroscopy of *Nicotiana tabacum* Plants. *Frontiers in Electronics*. 2021;2:753145. <https://doi.org/10.3389/felec.2021.753145>
12. Basak R., Wahid K.A., Dinh A. et al. Rapid and efficient determination of relative water contents of crop leaves using electrical impedance spectroscopy in vegetative growth stage. *Remote Sensing*. 2020;12:1753. <https://doi.org/10.3390/rs12111753>
13. Cavaliere R., Bertemes-Filho P. Plant tissue differentiation using electrical impedance spectroscopy with deep neural networks. *International Journal of Biosensors and Bioelectronics*. 2020;6:20-23.
14. Feng L., Gao J., Sui X. et al. Effect of fruit ripeness on electrical impedance spectrum parameters. *LWT*. 2024;208:116751. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116751>
15. Cheng J., Yu P., Huang Y. et al. Application status and prospect of impedance spectroscopy in agricultural product quality detection. *Agriculture*. 2022;12(10):1525. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101525>
16. Arteaga H., Robleto-Martinez E., de Sousa Silva A.C. et al. Postharvest freezing process assessment of the blueberry structure in three acts: bioimpedance, color, and granulometry analysis. *LWT*. 2021;151:112237. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112237>
17. Ando Ya., Mizutani K., Wakatsuki N. Electrical impedance analysis of potato tissues during drying. *Journal of Food Engineering*. 2014;121:24-31. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.008>
18. Herzog K., Wind R., Töpfer R. Impedance of the grape berry cuticle as a novel phenotypic trait to estimate resistance to *Botrytis cinerea*. *Sensors*. 2015;15(6):12498-12512. <https://doi.org/10.3390/S150612498>
19. Иванова М.И. Определение степени аффинитета привитых растений винограда методом импеданса. *Виноградарство и виноделие*. 2020;49:154-156. EDN WBAEZR.
Ivanova M.I. Determination of the degree of affinity of grafted grape plants by the impedance method. *Viticulture and Winemaking*. 2020;49:154-156. (In Russ.) EDN WBAEZR.
20. Николенько В.Д., Станкевич Р.Э., Горошко В.В. *Производство привитых саженцев винограда*. Симферополь : Изд-во «Таврия». 1976:1-47.
Nikolenko V.D., Stankevich R.E., Goroshko V.V. *Production of Grafted Grape Seedlings*. Simferopol : Tavrida Publ. 1976:1-47 (In Russ.)
21. Осадчий И.Я. *Анатомия и морфология настольной виноградной прививки : монография*. Новочеркасск : Лик. 2011:1-21. EDN QLCAYL.

- Osadchiy I.Ya. *Anatomy and Morphology of Table Grape Grafting : A Monograph*. Novocherkassk : Lik. 2011:1-21. (In Russ.) EDN QLCAYL.
22. Зими́на Н.И., Авдеенко И.А. Ростовые процессы в период стратификации виноградных прививок разных привойно-подвойных комбинаций. *Русский виноград*. 2025;32:11-15. <https://doi.org/10.32904/2712-8245-2025-32-11-15> EDN UKZFRG.
Zimina N.I., Avdeenko I.A. Growth processes during stratification of vine grafts of various scion-rootstock combinations. *Russian Grapes*. 2025;32:11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.32904/2712-8245-2025-32-11-15> EDN UKZFRG.
23. Замета О.Г., Иванченко В.И., Райков А.В. Показатели импеданса для оценки совместимости подвойно-привойных комбинаций винограда аборигенных сортов Крыма. *Русский виноград*. 2023;26:54-61. <https://doi.org/10.32904/2712-8245-2023-26-54-61> EDN XISHLD.
Zameta O.G., Ivanchenko V.I., Raikov A.V. Impedance indicators for assessing the compatibility of rootstock-graft combinations of indigenous Crimean grapevine varieties. *Russian Grapes*. 2023;26:54-61. (In Russ.) <https://doi.org/10.32904/2712-8245-2023-26-54-61> EDN XISHLD.
24. Минеев В.В., Алейников А.Ф. Оценка физиологического состояния садовых растений методом электрической биоимпедансной спектроскопии. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2022;32(195):66-78. EDN: ZXLSYF
Mineev V.V., Aleynikov A.F. Assessment of the physiological state of garden plants by electrical bioimpedance spectroscopy. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2022; 32(195):66-78. (In Russ.) EDN: ZXLSYF
25. Гужова Е.Е., Самощенко Е.Г., Паничкин Л.А. и др. Методика измерения электропроводности тканей привитых плодовых культур. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2018;6:100-108. EDN: VVMYFQ
Guzhova Ye.Ye., Samoschenkov Ye.G., Panichkin L.A. et al. Methods of measuring the electrical conductivity of grafted fruit crop tissues. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2018;6:100-108. (In Russ.) EDN: VVMYFQ
26. Klimek K., Postawa K., Kaplan M. et al. Evaluation of the influence of rootstock type on the yield parameters of vines using a mathematical model in nontraditional wine-growing conditions. *Applied Sciences*. 2022;12:7293. EDN KHICJL

Сведения об авторах

Студенникова Наталия Леонидовна —

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией генеративной и клоновой селекции, Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарах» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», Ялта, Республика Крым, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-4445-0367>

SPIN-код: 9694-3962

studennikova63@mail.ru

Скалозубов Иван Михайлович —

аспирант лаборатории агротехнологий винограда, Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарах» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», Ялта, Республика Крым, Россия

ivan-skalozubov@mail.ru

About the authors

Natalia L. Studennikova —

Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Head, Laboratory of Generative and Clonal Selection, Crimean Scientific Research Center of Viticulture and Winemaking “Magarach”, Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking, Kurchatov Institute, Yalta, Republic of Crimea, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4445-0367>

studennikova63@mail.ru

Ivan M. Skalozubov —

Postgraduate Student, Laboratory of Grape Agrotechnology, Crimean Scientific Research Center of Viticulture and Winemaking “Magarach”, Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking, Kurchatov Institute, Yalta, Republic of Crimea, Russia

ivan-skalozubov@mail.ru

Рыбаченко Наталия Анатольевна —

научный сотрудник лаборатории генеративной и клоновой селекции, Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатowski институт», Ялта, Республика Крым, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-5976-3756>

SPIN-код: 5145-6446

natalia.natikro@yandex.ru

Natalia A. Rybachenko —

Researcher, Laboratory of Generative and Clonal Selection, Crimean Scientific Research Center of Viticulture and Winemaking "Magarach", Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking, Kurchatov Institute, Yalta, Republic of Crimea, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5976-3756>

natalia.natikro@yandex.ru

Аграрный вестник Северного Кавказа / Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Журнал «Вестник АПК Ставрополя» / Bulletin of Agro-industrial complex of Stavropol Region»
перерегистрирован в «Аграрный вестник Северного Кавказа / Agrarian Bulletin of the North Caucasus»
в связи с изменением названия СМИ.

Издатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.

Публикуется в авторской редакции

Подписано в печать 26.06.2026. Дата выхода в свет 30.06.2026.
Формат 60x84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура «Verdana». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 12,56. Тираж 300 экз. Заказ № 258.

Отпечатано в типографии ИПК СтГАУ «АГРУС», г. Ставрополь, ул. Пушкина, 15.

СВОБОДНАЯ ЦЕНА

ISSN 2949-4796



www.vapk26.ru
vapk@stgau.ru