

Овощи России

Научно-практический журнал
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» 13168

ISSN 2072-9146 (Print)
ISSN 2618-7132 (Online)

1 2026

VEGETABLE
crops of RUSSIA
Scientific peer-reviewed journal



*«Только хорошая генетическая подготовка
может гарантировать вполне беззачетную
селекционную работу». С.И. Жигалов*

02.10.1881 – 20.09.1927

*145-летию со дня рождения
С.И. Жигалова, основателя
и первого директора Грибовской
овощной селекционной опытной
станции посвящается*



Учредитель и издатель журнала:
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр овощеводства»
(ФГБНУ ФНЦО)



ФГБНУ ФНЦО

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Российская академия наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО)

Уважаемые коллеги!

В 2026 году исполняется 145 лет со дня рождения Сергея Ивановича Жегалова, профессора, основателя и первого директора Грибовской овощной селекционной опытной станции (ныне ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»).

На 2026 год запланирован ряд мероприятий, посвящённых этой знаменательной дате. **Одно из ключевых событий – XIII Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции в селекции, семеноводстве и товарном производстве овощных, бахчевых и цветочных культур. Традиции, современность, перспективы».** В рамках конференции будет также проходить методическая комиссия по селекции и семеноводству столовых корнеплодов.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:

1. Теория, систематика, генетика, иммунитет, методы создания и идентификации исходного материала для селекции овощных, бахчевых и цветочных культур.
2. Приоритетные направления селекции в условиях современного рынка для защищенного и открытого грунта.
3. Технология возделывания овощных, бахчевых, цветочных культур и грибов, особенности переработки и хранения.
4. Организационно-экономические аспекты селекции, семеноводства и технологии выращивания овощных, бахчевых и цветочных культур.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:

Ответственный за прием и публикацию материалов:

Тареева Марина Михайловна – кандидат с.-х. наук, с.н.с., зав. издательством,
+7(495)594-77-22, +7(916)751-80-66, vegetables.of.russia@yandex.ru, vegetables.of.russia@vniissok.ru

Координаторы конференции:

Пинчук Елена Владимировна – кандидат с.-х. наук, с.н.с., 100vniissok@mail.ru, +7(916)806-00-12

Минейкина Анна Игоревна – кандидат с.-х. наук, с.н.с., +7(925)357-05-40

Ветрова Светлана Александровна – кандидат с.-х. наук, с.н.с., +7(929)655-05-20

Гуркина Любовь Кирилловна – кандидат с.-х. наук, +7(495)594-77-07

Главный редактор

В.Ф. Пивоваров – академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии и премий Правительства РФ, научный руководитель Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Москва, Россия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель редакционной коллегии – **Н.А. Голубкина**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Московская область, Россия

Д. Карузо – зам. председателя, доктор с.-х. наук, Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II, Неаполь, Италия

А.Н. Игнатов – зам. председателя, доктор биол. наук, профессор Агробиотехнологического департамента РУДН, зам. ген. директора по научной работе Исследовательской лаборатории «ФитоИнженерия», Москва, Россия

Е.З. Кочиева – зам. председателя, доктор биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

Агнешка Секара – профессор, Department of Horticulture, Faculty of Biotechnology and Horticulture, University of Agriculture, Краков, Польша

Радхи Шьям Сингх – доцент, Department of Plant Breeding and Genetics Mandan Bharti Agriculture College, Agwanpur, Saharsa-852202, Bihar Agricultural University, Sabour, Bhagalpur, Bihar, Индия

Ж.П. Данаилов – доктор с.-х. наук, проф., Болгарская академия наук, Институт физиологии растений и генетики, София, Болгария

С.Р. Аллахвердиев – доктор биол. наук, проф., Bartin University, Turkey

М.Х. Арамов – доктор с.-х. наук, Сурхандарьинская научно-опытная станция НИИ овоще-бахчевых культур и картофеля, Республика Узбекистан

Л.Ф. Волощук – доктор биол. наук, Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы, Кишинев, Республика Молдова

И.Г. Джафаров – доктор с.-х. наук, проф.,

член-корр. НАНА, директор, Научно-исследовательский институт защиты растений и технических культур МСХ Азербайджанской Республики

В.П. Прохоров – доктор биол. наук, проф., Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В.В. Скорина – доктор с.-х. наук, проф., Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Могилевская обл., Республика Беларусь

А.В. Солдатенко – зам. главного редактора, доктор с.-х. наук, академик РАН, директор ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

О.Н. Пышная – зам. главного редактора, доктор с.-х. наук, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

С.М. Надежкин – зам. главного редактора, доктор биол. наук, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

С.В. Акимова – доктор с.-х. наук, доцент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

К.Л. Алексеева – доктор с.-х. наук, проф., ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

И.Т. Балашова – доктор биол. наук, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

Л.Л. Бондарева – доктор с.-х. наук,

ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

М.С. Гинс – доктор биол. наук, член-корр.

РАН, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

Л.В. Григорьева – доктор с.-х. наук, Мичуринский ГАУ, Мичуринск, Россия

А.С. Домблидес – доктор с.-х. наук, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

Н.Н. Дубенок – академик РАН, доктор с.-х. наук, проф., ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», Москва, Россия

С.В. Жаркова – доктор с.-х. наук, проф., ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, Барнаул, Россия

Е.В. Журавлева – доктор с.-х. наук, профессор РАН, секретарь научно-технического совета (НТС) Комиссии по научно-технологическому развитию РФ, г. Москва, Россия

Е.А. Калашникова – доктор биол. наук, профессор, Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

И.М. Куликов – академик РАН, доктор экон. наук, ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», Москва, Россия

Ф.Б. Мусаев – доктор с.-х. наук, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

В.М. Пизенгольц – доктор экон. наук, проф., Аграрно-технологический институт РУДН, г. Москва, Россия

В.Г. Плющиков – доктор с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, Россия

В.В. Пыльнев – доктор с.-х. наук, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

А.К. Раджабов – доктор с.-х. наук, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Н.И. Сидельников – академик РАН, доктор с.-х. наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», Москва, Россия

С.М. Сирота – доктор с.-х. наук, зам. директора по селекции и семеноводству, ООО «Гетерозисная селекция», Челябинская область, Россия

В.И. Старцев – доктор с.-х. наук, проф., ФГБНУ «Всероссийский НИИ фитопатологии», Московская область, Россия

И.Г. Ушачев – доктор экон. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ФНЦ аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства» (ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ), Москва, Россия

П.А. Чекмарев – академик РАН, доктор с.-х. наук, заместитель президента РАН, Российская академия наук, Москва, Россия

Ю.В. Чесноков – доктор биол. наук, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

Ответственные редакторы: **Тареева М.М.** – кандидат с.-х. наук, **Тарасов С.В.**, Федеральное государственное

бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Московская область, Россия

Библиограф: Разорёнова А.Г., ФГБНУ ФНЦО. **Дизайн и верстка:** Янситов К.В., ФГБНУ ФНЦО. **Фото:** Лебедев А.П., ФГБНУ ФНЦО.

© ФГБНУ ФНЦО, оформление макета, 2026

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО)

Адрес учредителя и редакции: 143080, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

E-mail: vegetables.of.russia@yandex.ru, vegetables.of.russia@vniissok.ru

<http://www.vegetables.ru> Тел: +7(495) 599-24-42

Тираж 50 экземпляров.

Периодичность: 6 раз в год.

Дата выхода в свет: 16.03.2026

Отпечатано в ООО «Издательство «Черноморье»,

394019, г. Воронеж,

ул. Краснодарская, 16И, оф. 6

Телефон: +7 (473) 200-888-0

E-mail: izdat223@yandex.ru

Цена свободная.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-72184 от 15 января 2018 года. Издаётся с декабря 2008 года. Научная концепция издания предполагает публикацию современных достижений, результатов научных национальных и международных исследований в области овощеводства и садоводства, селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений, физиологии и биохимии растений, защиты растений, экономики сельского хозяйства и смежных дисциплин: биологии, биотехнологии, интродукции и др.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 License

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал в 2016 году включен в базу данных AGRIS (Agricultural Research Information System) – Международную информационную систему по сельскому хозяйству и смежным с ним отраслям.

Журнал включен в базу данных компании EBSCO Publishing на платформе EBSCOhost.

Russian Science
Citation Index

OPEN
ACCESS

We are
Crossref
Member

AGRIS

EBSCOhost

Editor in chief

Victor F. Pivovarov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture), Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC), Moscow region, Russia

EDITORIAL BOARD

Editorial Board Chairman: Nadezhda A. Golubkina, Dr. Sci. (Agriculture), chief scientific researcher of the laboratory analytical department, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC), Moscow region, Russia

Gianluca Caruso – Deputy chairman, Dr. Sci. (Agriculture), Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II, Napoli, Italy

Alexander N. Ignatov – Deputy chairman, Dr. Sci. (Biology),

Agrobiotechnological Department of RUDN University, Deputy Director, PhytoEngineering Research Laboratory, Moscow, Russia, Moscow, Russia

Elena Z. Kochieva – Deputy chairman, Dr. Sci. (Biology), Professor, Department of Biotechnology of Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, Head of the Group of molecular methods of analysis of the genome, Federal Research Centre "Fundamentals of Biotechnology" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Agnieszka Sekara – Assoc. Prof., Department of Horticulture, Faculty of Biotechnology and Horticulture, University of Agriculture, Krakow, Poland
Radhey Shyam Singh – Assistant Professor cum Junior Scientist, Department of Plant Breeding and Genetics Mandan Bharti Agriculture College, Agwanpur, Saharsa-852202, Bihar Agricultural University, Sahour, Bhagalpur, Bihar, India

Zhivko P. Danailov – Professor, Dr. Sci. (Agriculture), Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Plant Physiology and Genetics, Sofia, Bulgaria

Surhay R. Allahverdiev – Dr. Sci. (Biology), Professor, Bartin University, Turkey

Muzaffar H. Aramov – Dr. Sci. (Agriculture), Surkhandarya region, Republic of Uzbekistan

Leonid F. Volosciuk – Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of phytopathology and biotechnology, Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plants, Academy of Sciences of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

Ibrahim Hasan oglu Jafarov – Corresponding Member of ANAS, Professor, Dr. Sci. (Agriculture), Scientific Research Institute of Plant Protection and Technical Plants of the Ministry of Agriculture Republic of Azerbaijan

Valery N. Prokhorov – Dr. Sci. (Biology), chief scientific officer of the Laboratory of growth and development of plant, FSSI "V.F. Kuprevich Institute of experimental botany National academy of Science of Belarus", Minsk, Belarus

Vladimir V. Skorina – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Department of fruits-vegetables growing, "Belarusian State Academy of Agriculture", Mogilev, Belarus

Alexey V. Soldatenko – Deputy Chief Editor, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture), director of Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC), Moscow region, Russia

Olga N. Pyshnaya – Deputy Chief Editor, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Deputy director in scientific work, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Sergei M. Nadezhkin – Deputy Chief Editor, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the laboratory analytical department, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Svetlana V. Akimova – Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Ksenia L. Alekseeva – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Laboratory biological methods of plant protection, All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – Branch of the FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Irina T. Balashova – Dr. Sci. (Biology), chief scientific officer of the laboratory of new tech-

nologies FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Lyudmila L. Bondareva – Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory of breeding and seed production of Cole crops, FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Murat S. Gins – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of plant physiology and biochemistry, introduction and functional food, FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Lyudmila V. Grigoryeva – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

Arthur S. Dombldes – Dr. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of Genetics and Cytology, FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Nikolay N. Dubenok – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of agricultural melioration, forestry and land management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Stalina V. Zharkova – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education The Altai State Agricultural University (ASAU), Barnaul, Russia

Ekaterina V. Zhuravleva – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Secretary of the Scientific and Technical Council (STC) of the Commission for Scientific and Technological Development of the Russian Federation, Moscow, Russia

Elena A. Kalashnikova – Dr. Sci. (Biology), Professor of the Timiryazev Institute of Plant Physiology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Ivan M. Kulikov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Economy), Professor, director of FSBSI Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Farhad B. Musaev – Dr. Sci. (Agriculture), leading researcher of the laboratory analytical department,

FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Vadim G. Plushikov – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, RUDN University, Moscow, Russia

Vladimir V. Pylnev – Dr. Sci. (Agriculture), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Agamagomed K. Radzhabov – Dr. Sci. (Agriculture), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Nikolay I. Sidelnikov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Economy), Professor, director of FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants», Moscow, Russia

Sergey M. Sirota – Dr. Sci. (Agriculture), Deputy Director for Breeding and Seed Production, LLC Heterosis Selection, Chelyabinsk region, Russia

Viktor I. Startsev – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, FSBSI All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow region, Russia

Ivan G. Ushachev – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Economy), Honored Scientist of Russian Federation, scientific director, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Scientific Institution of Economy of Agriculture", Moscow, Russia

Petr A. Chekmarev – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture), Deputy President

of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yuri V. Chesnokov – Dr. Sci. (Biology), director, FSBSI "Agrophysical Research Institute", St.-Petersburg, Russia

Responsible Scientific Editors: Marina M. Tareeva – Cand. Sci. (Agriculture), **Sergey V. Tarasov**, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center", (FSBSI FSVC), Moscow, Russia

Bibliographer: Anna G. Razorenova (FSBSI FSVC). **Designer: Konstantin V. Yansitov** (FSBSI FSVC).

Photographing: Alexey P. Lebedev (FSBSI FSVC)

©FSBSI FSVC, Layout Design, 2026

Address of the journal publisher and office: Selektionsnaya St., 14, VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

E-mail: vegetables.of.russia@yandex.ru <http://www.vegetables.su> tel.: +7 (495) 599-24-42

Publication Frequency: 6 issue per year. Free price. 50 copies. Published: 16.03.2026

This issue is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor).

The license ПИ №ФЦ77-72184 of the January, 15, 2018.

Published since 2008. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 License



The scientific concept of the journal involves the publication of modern achievements, the results of scientific national and international research in the field of vegetable growing and horticulture, breeding and seed growing of agricultural crops, physiology and biochemistry of plants, plant protection, agricultural economics and related disciplines: biology, biotechnology, introduction, etc.

Russian Science
Citation Index

OPEN
ACCESS

We are
Crossref
Member

AGRIS

EBSCOhost

САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ**Синдаров О.Х., Ражаметов Ш.Н., Ражаметова С.Ш.**Оценка эффективности использования пленок РЕ- и РО- в гидропонике для выращивания клубники:
влияние освещенности на урожайность и качество ягод 5**Князева И.В., Журавлева Е.В., Домблидес Е.А., Тукусер Я.П.**Влияние спектра светодиодного освещения
на адаптацию микроклонов томата к условиям *ex vitro*. 13**Белов С.Н., Коротцева И.Б., Пивоваров В.Ф.**

Повышение устойчивости рассады огурца к полеганию. 22

Дубенок Н.Н., Лебедев Д.А., Гемонов А.В.Эффективность использования воды и закономерности водопотребления баклажана
при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья..... 30**Маврина П.О.**Влияние аминокислот на продуктивность и содержание
фенольных соединений в листьях цикория обыкновенного. 38**Рассохина И.И., Сухарева Л.В., Кузнецова М.М.**Действие препарата, созданного на основе бактерий *Bacillus subtilis*,
на рост и продуктивность томатов в условиях закрытого грунта. 44**СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И BIOTEХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ****Вострикова Т.В., Федулова Т.П., Налбандян А.А., Руденко Т.С., Коростелева Ю.С.**Молекулярно-генетический анализ и комбинационная способность линий
свеклы сахарной при создании гетерозисных гибридов. 51**Заячковский В.А.** Способ ускоренного получения семян и маточников свёклы

в один год с использованием малообъемной технологии. 58

Монахос М.Г., Эйдлин Я.Т., Монахос С.Г.Создание исходного материала для гибридной селекции
лука батун с устойчивостью к пероноспорозу. 66**АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ****Мацшина Н.В., Фисенко П.В., Собко О.А., Ермак М.В., Киру С.Д.**О теории параллелизма устойчивости картофеля к двадцативосьмипятнистой картофельной коровке
Henosepilachna vigintioctomaculata (Coleoptera:Coccinellidae) и колорадскому жуку
Leptinotarsa decemlineata (Coleoptera:Chrysomelidae) И.М. Гонтюрова: аналитический очерк. 75**Синдирева А.В., Голубкина Н.А., Безуглова Е.В., Федотов М.А., Алпатов А.А.**Влияние селенсодержащих соединений и тяжелых металлов на химический состав
и урожайность овощных бобов (*Vicia faba* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. 81**Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., Арсентьев И.А.**

Азотные удобрения в системе минерального питания картофеля. 92

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА**Шишкин А.В., Жаркова С.В.**

Влагосберегающие приемы при дорастивании саженцев садовых культур в питомнике. 99

Сафонов А.И., Голубев Ф.В.Экологический подход к фиторемедиации в новых условиях
антропогенной трансформации ландшафтов Донбасса. 110**Шешницан С.С., Горбунова Н.С., Бахтин А.М.**Влияние защитных лесных насаждений
на содержание углерода и азота в черноземах Каменной степи. 119**САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ****Третьякова А.В., Прокудина О.В., Мягкова А.С., Песцов Г.В.**Подбор субстрата на основе древесных опилок с добавлением
пивной дробины для культивирования съедобных грибов. 124**Шабанов Т.Ю.**

Искусственный интеллект: риски и практика минимизации. 132

Демеке Э.Г., Гирмай М.Х., Ассефа Б., Гемеда Д.О.Факторы, определяющие выбор фермерами стратегий адаптации
к изменению климата в районе Семен Бенч, Юго-Западный региональный штат, Эфиопия. 141

HORTICULTURE, VEGETABLE PRODUCTION, VITICULTURE AND MEDICINAL CROPS

Sindarov O.Kh., Rajametov Sh.N., Rajametova S.Sh.
Evaluation of the effectiveness of using PE- and PO-films in hydroponics for strawberry cultivation: the impact of illumination on yield and berry quality..... **5**

Knyazeva I.V., Zhuravleva E.V. Domblides E.A., Tukuser Ya.P.
The influence of LED lighting spectrum on the adaptation of tomato micro clones to *ex vitro* conditions..... **13**

Belov S.N., Korottseva I.B., Pivovarov V.F.
Improving the resistance of cucumber seedlings to lodging..... **22**

Dubenok N.N., Lebedev D.A., Gemonov A.V.
Water Use Efficiency and Water Consumption Patterns of Eggplants under Drip Irrigation in the Central Non-Chernozem Region. **30**

Mavrina P.O.
Effect of amino acids on productivity and phenolic content in common chicory leaves..... **38**

Rassokhina I.I., Sukhareva L.V., Kuznetsova M.M.
The effect of a preparation based on *Bacillus subtilis* bacteria on the growth and productivity of tomatoes in closed ground conditions..... **44**

BREEDING, SEEDPRODUCTION AND PLANT BIOTECHNOLOGY

Vostrikova T.V., Fedulova T.P., Nalbandyan A.A., Rudenko T.S., Korosteleva Yu.S.
Molecular genetic analysis and combination capability of sugar beet lines in the creation of heterosis hybrids. **51**

Zayachkovsky V.A.
The method for accelerated production of table beet seeds and mother plants in one year using low-volume technology..... **58**

Monakhos M.G., Eidlin Ya.T., Monakhos S.G.
Development of Initial Material for Hybrid Breeding of Welsh Onion with Resistance to Downy Mildew. **66**

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, PLANT PROTECTION AND QUARANTINE

Matsishina N.V., Fisenko P.V., Sobko O.A., Ermak M.V., Kiru S.D.
On the theory of the parallelism of potato resistance to the twenty-eight-spotted potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) and the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) by I.M. Gontyurov: analytical essay. **75**

Sindireva A.V., Golubkina N.A., Bezuglova E.V., Fedotov M.A., Alpatov A.A.
The effect of selenium-containing compounds and heavy metals on the chemical composition and yield of vegetable beans (*Vicia faba* L.) in the southern forest-steppe of Western Siberia. **81**

Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V., Arsentyev I.A.
Nitrogen fertilizers in the system of potato mineral nutrition..... **92**

IRRIGATION ENGINEERING, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Shishkin A.V., Zharkova S.V.
Moisture saving techniques for growing garden crops in nurseries. **99**

Safonov A.I., Golubev F.V.
Ecological approach to phytoremediation in the new conditions of Donbass landscapes anthropogenic transformation..... **110**

Sheshnitsan S.S., Gorbunova N.S., Bakhtin A.M.
Influence of forest shelterbelts on the soil carbon and nitrogen content in the chernozems of the Kamennaya steppe. **119**

HORTICULTURE, VEGETABLE PRODUCTION, VITICULTURE AND MEDICINAL CROPS

Tretyakova A.V., Prokudina O.V., Myagkova A.S., Pestsov G.V.
Selection of a sawdust based substrate with the addition of brewer's grains for the cultivation of edible mushrooms. **124**

Shabanov T.Yu., Kopchenov A.A.
Artificial intelligence: risks and their minimization practices. **132**

Demeke E.G., Girmay M.H., Assefa B., Gameda D.O.
Факторы, определяющие выбор фермерами стратегий адаптации к изменению климата в районе Семен Бенч, Юго-Западный региональный штат, Эфиопия..... **141**

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-5-12
УДК: 634.75-02:631.589.2

О.Х. Синдаров^{1*}, Ш.Н. Ражаметов²,
С.Ш. Ражаметова³

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» Республика Узбекистан

²Научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений Республика Узбекистан

³Ташкентский аграрный университет Республика Узбекистан

*Автор для переписки:
obidjonsindarov@gmail.com

Вклад авторов: Синдаров О.Х.: методология, проведение исследований, концептуализация. Ражаметов Ш.Н.: проведение исследований, верификация данных, формальный анализ. О.Х. Синдаров, Ражаметов Ш.Н., Ражаметова С.Ш.: создание черновика рукописи и её редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Синдаров О.Х., Ражаметов Ш.Н., Ражаметова С.Ш. Оценка эффективности использования РЕ- и РО-пленок в гидропонике для выращивания земляники: влияние освещенности на урожайность и качество ягод. *Овощи России*. 2026;(1):5-12. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-5-12>

Поступила в редакцию: 18.04.2025
Принята к печати: 11.12.2025
Опубликована: 16.03.2026

Obidjon Kh. Sindarov^{1*},
Sherzod N. Rajametov², Saodat Sh. Rajametova³

¹National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" Republic of Uzbekistan

²Research Institute of Plant Genetic Resources Republic of Uzbekistan

³Tashkent Agrarian University Republic of Uzbekistan

*Corresponding Author:
obidjonsindarov@gmail.com

Authors' Contribution: Sindarov O.Kh.: methodology, conceptualization, investigation. Rajametov Sh.N.: investigation, validation, formal analysis. Sindarov O.Kh., Rajametov Sh.N., Rajametova S.Sh.: writing – original draft, writing – review & editing.

Conflict of interest. Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citations: Sindarov O.Kh., Rajametov Sh.N., Rajametova S.Sh. Evaluation of the effectiveness of using PE- and PO-films in hydroponics for strawberry cultivation: the impact of illumination on yield and berry quality. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):5-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-5-12>

Received: 18.04.2025
Accepted for publication: 11.12.2025
Published: 16.03.2026

Оценка эффективности использования РЕ- и РО-пленок в гидропонике для выращивания земляники: влияние освещенности на урожайность и качество ягод

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В сельском хозяйстве внедрение современных инновационных технологий для повышения производительности и качество продукции культур является актуальным. Основной целью данной работы была оценка эффективности использования полиэтиленовой (РЕ) и полиолефиновой (РО) плёнок в условиях гидропонного выращивания земляники, а также изучить влияние уровня освещенности на урожайность, качественные показатели ягод и экономическую целесообразность применения данных технологий.

Материал и методика. В эксперименте использовали сорта земляники *Fragaria × ananassa* Duch., такие как Seolhyang, Maehyang, Jukhyang, King's Berry, Keumstil, а также японский гибрид Yotsuboshi F₁ (красная земляника), которые возделывали в теплицах с использованием пленок из полиэтилена (РЕ) и полипропилена (РО), отличающихся по пропускной способности света.

Результаты. Проведенные исследования позволили установить влияние уровня освещенности на стебель, листья, поверхность листа, урожайность и качественные характеристики плодов различных сортов земляники. Во время выращивания пяти сортов и гибрида земляники, генетически значительно отличающихся друг от друга, было установлено, что пленка РЕ сохраняет температуру днем в среднем 22,5°C, а ночью -15,4°C, в то время как пленка РО сохраняет температуру 23,6°C днем и 17,3°C ночью. Из-за снижения уровня освещенности под пленкой РЕ урожайность уменьшилась до 5,0 т/га, тогда как пленка РО обеспечивала стабильный уровень освещенности и позволила получить дополнительный урожай в пределах от 3,3 до 5,0 т/га.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

земляника; пленка; РЕ; РО; дневная температура; ночная температура; pH; ягод; урожай; показатель Brix

Evaluation of the effectiveness of using PE- and PO-films in hydroponics for strawberry cultivation: the impact of illumination on yield and berry quality

ABSTRACT

Relevance. In agriculture, the adoption of modern innovative technologies aimed at increasing crop productivity and improving product quality is highly relevant. The main objective of this study was to evaluate the efficiency of using polyethylene (PE) and polyolefin (PO) films under hydroponic strawberry cultivation conditions, as well as to examine the effect of light intensity on yield, berry quality parameters, and the economic feasibility of applying these technologies.

Methodology. The experiment used strawberry varieties *Fragaria × ananassa* Duch., such as Seolhyang, Maehyang, Jukhyang, King's Berry, Keumstil, as well as the Japanese hybrid Yotsuboshi F₁ (red strawberry), grown in greenhouses with the use of polyethylene (PE) and polypropylene (PO) films, which differ in their light transmission capacity.

Results. The conducted studies made it possible to determine the effect of light intensity on stem development, leaf growth, leaf surface area, yield, and fruit quality characteristics of different strawberry varieties. During the cultivation of five strawberry varieties and hybrids that were genetically significantly different from each other, it was established that PE film maintained an average daytime temperature of 22.5°C and a nighttime temperature of 15.4°C, whereas PO film maintained temperatures of 23.6°C during the day and 17.3°C at night. Due to the reduced level of light transmission under PE film, yield decreased by up to 5.0 t/ha, while PO film ensured a stable light regime and made it possible to obtain an additional yield ranging from 3.3 to 5.0 t/ha.

KEYWORDS:

strawberry, film, PE, PO, daytime temperature, nighttime temperature, pH, berry, yield, Brix index

Введение

В связи с непрерывным ростом мирового населения возникает необходимость увеличения производства продовольствия. Однако этот процесс требует большего использования энергетических, водных и земельных ресурсов, что может угрожать экологической устойчивости нашей планеты. С целью решения этих проблем Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН [1] рекомендует внедрение современных и экологически устойчивых методов, таких как аквапоника, гидропоника и аэропоника. Эти системы земледелия без почвы способствуют увеличению объемов производства продовольствия за счет эффективного использования ресурсов, одновременно уменьшая негативное воздействие на окружающую среду.

Подобно гидропонике, аквапоника использует инертные субстраты для поддержания растений. В то же время, система снабжается сточными водами от рыбных прудов, содержащими высокое количество питательных веществ, которые можно фильтровать и использовать для орошения растений [2, 3]. В свою очередь, растения могут помогать фильтровать нитраты из воды, возвращая её обратно в рыбные пруды [4].

Аэропоника с некоторыми модификациями использует подход, схожий с гидропоникой. Вместо того чтобы корни погружались в воду, как в гидропонике, они подвешиваются в воздухе и подвергаются воздействию туманной среды. Таким образом, аэропоника может экономить до 90% растворов для орошения по сравнению с гидропонной системой [5, 6].

Для выращивания плодоовощных культур с длительным вегетационным периодом, таких как земляника садовая (*Fragaria × ananassa*), огурец (*Cucumis sativus*), сладкий перец (*Capsicum annuum*) и томат (*Solanum lycopersicum*), рекомендуется использование агрегированных (интегрированных) систем выращивания культур [7].

Повышение температуры ускоряет процесс цветения и поддерживает его до наступления оптимальных условий. Однако при снижении температуры ниже определённого порогового значения процесс цветения замедляется и, в конечном итоге, полностью прекращается при дальнейшем понижении температуры в помещении [8].

В конце периода роста стрессирование растений является стандартной практикой для всех цветущих растений. Эти стрессы моделируются для имитации природных условий дикого мира, таких как засуха, снижение температуры и дефицит азота. Рассчитывая скорость роста салата, определили следующие оптимальные температурные диапазоны: для фотосинтеза – 20...25°C, для дыхания – 30...35°C, для производства сухого вещества – 16...17°C [9].

В теплицах часто используют системы освещения на основе LED, которые по сравнению с традиционными лампами с высоким давлением натрия, излучают гораздо меньше инфракрасного излучения и считаются более энергоэффективными. Таким образом, LED-технология помогает поддерживать растения в оптимальных температурных условиях [10].

Таким образом, в настоящем исследовании особое внимание было уделено методу гидропонного выращивания сортов земляники. В ходе эксперимента проводили научные исследования, направленные на изучение влияния светово-

го режима на рост, развитие и урожайность земляники, а также на качество ягод при выращивании в условиях беспочвенной культуры с использованием полиэтиленовой (PE) и полиолефиновой (PO) плёнок. Полученные результаты позволили оценить влияние световых факторов на продуктивность растений и качественные показатели ягод.

Материалы и методы

Научные исследования сортов земляники в условиях теплицы проводили в соответствии со стандартами, изложенными в Руководстве по изучению овощных культур Корейской администрации сельскохозяйственного развития [11].

• Растительный материал и условия выращивания.

Настоящая научная работа была проведена на территории Республики Корея в период с 2016 по 2019 годы. В эксперименте использовались сорта земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.): Seolhyang, Maehyang, Jukhyang, King's Berry, Keumsil, а также японский гибрид Yotsuboshi F1 (красноплодный). Для опыта высаживали растения с 3-4 настоящими листьями и диаметром розетки 5-6 мм.

• Растения выращивали в двухрядных контейнерах размером 60×34×10 см (Hwaseong Industrial Co. Ltd., Окчхон, Республика Корея) в условиях теплицы с использованием полиэтиленовой (PE) и полиолефиновой (PO) плёнок. Каждый контейнер был заполнен специально подготовленным питательным субстратом на основе кокосового волокна (coir). В качестве корневой среды использовали два варианта: CO – чистый coir (Cocopeat Co. Ltd., Думмаласурия, Шри-Ланка) и MIX – смесь coir и перлита в соотношении 8:2.

• В полевых экспериментах посадку исследуемых сортов земляники проводили в следующие сроки: в сезоне 2016-2017 годов – 1 октября, в 2017-2018 годах – 5 октября, в 2018-2019 годах – 2 октября. Все растения высаживали полностью в течение одного дня, что обеспечивало однородность начальных условий эксперимента.

• Физические свойства среды (например, общая пористость, ёмкость специального контейнера с кокосовым субстратом, воздушные пустоты и плотность массы) и химические свойства (например, ЕС-выход электролитов и pH) измерялись методами, предложенными [12]. ЕС и pH также были измерены с помощью pH/ЕС измерителя (Enzo 8200M, GOnDO Electronic Co. Ltd., Тайпей, Тайвань), как описано [13].

• В течение эксперимента средняя температура и влажность измерялись с помощью регистратора данных (TR-74Ui, T&D Co. Ltd., Matsumoto, Япония), и были установлены значения 17 ± 5°C и 42 ± 5% соответственно.

• Минеральные удобрения и орошения для питания земляники поставлялись с использованием капельных систем, разработанный центром сельскохозяйственных исследований Гёсангнам-до (Республика Корея). Использовали макроэлементы: NO₃⁻ – 13,0, NH₄⁺ – 1,0, H₂PO₄⁻ – 4,0, K₂O⁺ – 6,0, Ca₂⁺ – 2,0, SO₄²⁻ 4,0; микроэлементы: Fe – 3,0, B – 0,5, Mn – 0,5, Zn – 0,2, Cu – 0,04, Mo – 0,04 мг/л. В составе воды используемый для орошения растений землянике отмечено содержание Ca₂⁺ – 0,90, Mg₂⁺ – 0,49, SO₄²⁻ – 0,31 и HCO₃⁻ – 0,60 мг/л. K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻ и H₂PO₄⁻ в воде не обнаружены. Для

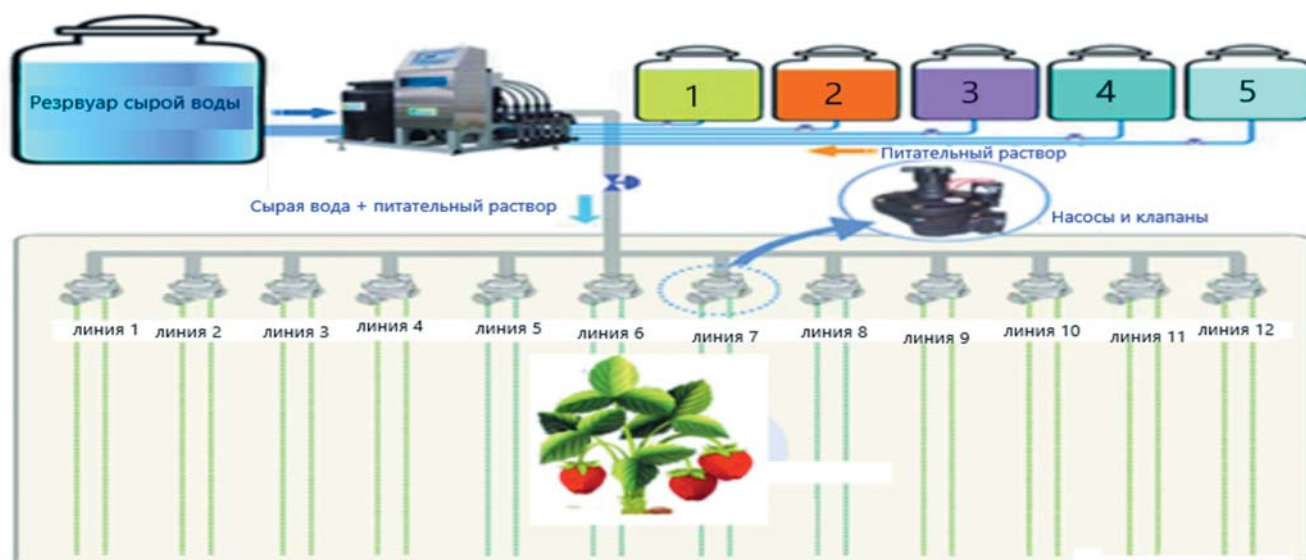


Рис. 1. Система удобрения и орошения
Foto 1. System of fertigation and irrigation

стимуляции роста молодых корней в течение первой недели использовался раствор с электропроводностью (ЕС) 0,3 дС/м и рН 5,8, который подавался растениям четыре раза в день (по 200 мл на каждое растение, продолжительность подачи – 5 минут).

- Для измерения светопропускания пленки раз в год в начале и в конце сезона использовались измерители светопропускания (VTSYIQI Haze Meter Touch Screen Hazemeter Light Transmission Tester) для PO- и PE-пленок. Светопропускание PE- и PO-пленок было измерено в начале сезона 2016 года и в конце сезона 2019 года.

- В течение вегетационного периода уровень освещенности в теплице измеряли с использованием люксметра LI-1400 Light Meter (LI-COR Inc., Линкольн, Небраска, США). Прибор LI-1400 предназначен для количественной оценки освещенности и функционирует на основе фотоэлектрического принципа измерения светового потока.

- Время работы системы туманообразования зависит от температуры, влажности и потребностей растений, и может варьироваться от 6 до 12 часов в день. Например, для 1 гектара (10,000 м²) площадью система туманообразования потребляет в среднем 0,1–0,2 л воды в час на 1 м². Если система туманообразования расходует 0,15 л воды на 1 м² в час и работает 8 часов в день, то расчет водопотребления следующий:

- ▶ Суточный расход воды: 0,15 л/час × 8 часов/день = 1,2 л/день на 1 м².
- ▶ Для 1 га: 1,2 л/день × 10,000 м² = 12,000 л/день или 12 м³.
- ▶ Для 1 месяца: 12 м³/день × 30 дней = 360 м³/месяц.
- ▶ За 7 месяцев на 1 га землянки потребуется: 360 м³/месяц × 7 месяцев = 2,520 м³ воды.

Таким образом, за 7 месяцев работы системы туманообразования на 1 га землянки расходуются примерно 2,520 м³ воды. Этот расчет основан на том, что система работает в среднем 8 часов в день и расходует 0,15 л/час на 1 м². Если время работы системы или расход воды изменится, результаты могут отличаться.

- Система капельного орошения оснащена специальным механизмом, который обеспечивает равномерное распределение воды для каждого растения. Для выращивания землянки на 1 гектаре в теплице ежедневно требуется 5,0 т воды.

- Для расчета общего объема воды нужно перевести это количество в кубометры (м³). Поскольку 1 т воды равна 1 м³, то 5 т воды в день составляют 8 м³ воды. Для вычисления общего объема воды за весь вегетационный период, который составляет 7 месяцев (210 дней), расчет будет следующим:

- ▶ За 1 месяц (30 дней) будет использовано 5 т воды в день, что составляет 8 м³ в день.
- ▶ За 210 дней (7 месяцев) общий объем воды составит: 210 дней × 8 м³ = 1680 м³ воды.

Таким образом, за 7 месяцев для выращивания землянки на 1 га потребуется 1680 м³ воды. Система капельного орошения должна обеспечивать равномерное распределение воды и питательных веществ для каждой части растения.

- Урожайность исследуемых сортов землянки оценивали в первые дни каждого месяца на основе морфо-фенологических наблюдений. Для проведения фенологических учётов в каждом варианте опыта отбирали по 15 растений, на которых систематически осуществлялись наблюдения. Показатели урожайности определяли методом взвешивания собранной продукции на лабораторных весах.

- В для каждого варианта был определен показатель коэффициента Вгіх, который показывает уровень растворимых сахара в ягодах, то есть количество растворимых твердых веществ (в основном сахара) в плодах.

Статистический анализ. Показатель урожайности был определен методом обычного взвешивания собранных ягод в каждом варианте с учетом повторностей. Кроме того, биологический показатель урожая был рассчитан путем умножения общего числа растений на поле, количества плодов на одно растение и средней массы одного плода.

Результаты исследования

В ходе эксперимента изучали влияние различных типов пленок (РЕ и РО) на вегетативные и генеративные органы земляники. В тепличных условиях для оптимального роста, развития и урожайности растений ключевыми показателями являются уровни рН и ЕС, отражающие концентрацию растворённых питательных веществ и их доступность для растений.

Уровень рН питательного раствора или субстрата в воде поддерживали в оптимальном для земляники диапазоне 5,5–6,5, что обеспечивает эффективное усвоение макро- и микроэлементов растениями. ЕС, отражающая концентрацию растворённых солей и питательных веществ в растворе, регулировали в пределах 0,8–1,5 мС/см, рекомендованных для выращивания земляники. Поддержание указанных парамет-

ров способствовало созданию оптимальных условий для роста, развития и формирования урожая, что было учтено при интерпретации полученных экспериментальных результатов.

В первый год эксперимента было исследовано влияние пропускания света полиэтиленовых и полиолефиновых пленок. Эти пленки использовались как новые покрытия для теплиц. Пленки были одинаковой толщины – 0,15 мм. Исследовали такие показатели, как рН среды, относительная влажность воздуха, температура (дневная и ночная) и ЕС в субстрате, которые были измерены в период с 2016 по 2018 годы.

Полученные данные показали, что под полиэтиленовой пленкой уровень рН в субстрате в среднем составил 5,5, относительная влажность воздуха – 72,5%, дневная температура – 22,5°C, ночная температура – 15,4°C, а уровень ЕС соста-

Таблица 1. Автоматический контроль параметров выращивания земляники в условиях теплицы
Table 1. Automatic monitoring of strawberry cultivation parameters under greenhouse conditions

№	Характеристики, соответствующие агротехническим требованиям теплицы	2016-2017	2017-2018	2018-2019	Среднее
Полиэтиленовая пленка (РЕ)					
1.	рН среды	6,0	5,5	5,5	5,5
2.	Относительная влажность воздуха, %	72,4	71,7	73,5	72,5
3.	Температура, °С Дневная: Ночная:	21,7 14,7	22,6 15,3	22,5 16,2	22,6 15,4
4.	ЕС (электропроводность), измеренная в полевых условиях, мС/см	1,4	1,3	1,5	1,4
Полиолефиновая пленка (РО)					
5.	рН среды	5,5	6,0	5,5	5,5
6.	Относительная влажность воздуха, %	73,2	72,7	72,6	72,8
7.	Температура, °С Дневная: Ночная:	22,5 16,9	23,6 17,8	23,6 17,2	23,6 17,3
8.	ЕС (электропроводность), измеренная в полевых условиях, мС/см	1,5	1,4	1,7	1,5

Таблица 2. Мониторинг температурных показателей в течение вегетационного периода земляники в тепличных условиях
Table 2. Monitoring of temperature parameters during the strawberry growing (vegetation) period under greenhouse conditions

№	Температурный показатель, °С	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Среднее
Полиэтиленовая пленка (РЕ) 2016-2017									
1.	Дневная:	23,2	22,0	20,6	20,1	20,8	22,0	23,2	21,7
2.	Ночная:	15,2	14,8	13,9	13,8	14,5	14,9	15,8	14,7
Полиолефиновая пленка (РО) 2016-2017									
3.	Дневная:	23,5	23,0	21,9	21,3	21,2	22,7	23,9	22,5
4.	Ночная:	17,6	16,9	16,0	15,7	16,9	17,3	17,9	16,9
Полиэтиленовая пленка (РЕ) 2017-2018									
5.	Дневная:	24,2	23,9	22,5	21,8	22,5	23,4	24,5	23,2
6.	Ночная:	15,8	15,1	14,6	14,3	15,0	15,4	16,7	15,3
Полиолефиновая пленка (РО) 2017-2018									
7.	Дневная:	25,5	25,3	23,9	23,3	23,6	24,7	25,9	24,6
8.	Ночная:	18,4	17,8	17,0	16,7	17,8	18,0	18,9	17,8
Полиэтиленовая пленка (РЕ) 2018-2019									
9.	Дневная:	24,5	22,9	21,8	20,6	22,7	22,2	23,7	22,6
10.	Ночная:	17,0	16,1	15,3	15,0	16,3	16,6	17,2	16,2
Полиолефиновая пленка (РО) 2018-2019									
11.	Дневная:	24,5	24,2	23,1	21,9	22,7	23,8	24,9	23,6
12.	Ночная:	18,2	17,3	16,4	16,2	17,0	17,4	18,1	17,2

вил 1,4 мС/см. Под полиолефиновой пленкой соответствующие показатели были следующими: рН – 5,5, влажность – 72,8%, дневная температура – 23,6°C, ночная температура – 17,3°C, ЕС – 1,5 мС/см (табл. 1 и рис. 2).

На основе данных (табл. 2) были сделаны следующие выводы о влиянии РЕ и РО-пленок на температуру в теплицах в разные годы.

В теплицах, покрытых РЕ, дневная температура была: 21,7...23,2°C (2016-2017 годы), 22,6...23,2°C (2017-2018 годы), 22,6°C (2018-2019 годы). Ночная температура соответственно составляла 14,7...15,8°C (2016-2017 годы), 15,3°C (2017-2018 годы), 16,2°C (2018-2019 годы).

В теплицах, покрытых полиэтиленовым покрытием (РО), дневная температура в течение вегетационного периода составляла 22,5...23,9°C в сезоне 2016-2017, 24,6°C – в сезоне 2017-2018, 23,6°C – в сезоне 2018-2019 годов. Ночная температура соответственно была 16,9°C, 17,8°C и 17,2°C.

Сравнивая погодные условия в осенние месяцы (октябрь–ноябрь), можно отметить снижение температуры воздуха и уменьшение солнечной освещенности, что делает особенно важной способность пленочного покрытия сохранять тепло. В теплицах с покрытием РО тепло сохраняется дольше, особенно ночью, когда температура воздуха оказывается на 2-3°C выше, что способствует сохранению осеннего урожая и повышению продуктивности поздней осенью. В теплицах с покрытием РЕ из-за быстрого ночного охлаждения скорость роста растений может замедляться.

Зимой (декабрь–февраль) температура воздуха достигает самых низких значений, и способность пленки сохранять тепло становится особенно важной. Зимой пленка РО удерживает температуру на 1,5-3°C выше, чем пленка РЕ, как днем, так и ночью. Наибольшее различие ощущается ночью, поскольку пленка РО удерживает тепло дольше. Ночью под пленкой РЕ температура составляет около 13...15°C, а под пленкой РО – около 16...18°C. Это различие особенно важно для растений в теплицах, особенно для таких чувствительных к холоду культур, как клубника и помидоры.

Весной (март–апрель), из-за увеличения солнечного света, температура в теплице повышается, однако ночами еще может быть заметный холод. В теплицах с РО-пленкой дневная температура на 1-2°C выше, а ночная – на 2-3°C. Поскольку ночью еще холодно, пленка РО защищает растения от замерзания. Стабильность температуры весной непосредственно влияет на урожайность.

Полученные данные показывают, что полиолефиновая

пленка более эффективно сохраняет тепло по сравнению с полиэтиленом, особенно в ночное время. Разница ночных температур составляет примерно 2-3°C, что является важным фактором, влияющим на рост и развитие растений. Стабильность температуры и повышение ночной температуры в теплицах способствуют увеличению урожайности, позволяют получать продукцию раньше и снижают потребление энергии за счёт сокращения затрат на отопление.

В таблице 3 проведён анализ изменения уровня освещённости в тепличных условиях в зависимости от года и сезона в течение периода вегетации земляники. Для глубокого научного анализа можно обратить внимание на следующие аспекты.

Значительное снижение уровня освещённости в период с 2016 по 2019 годы, особенно под РЕ-пленкой, вероятно связано с воздействием внешних факторов в начале сезона и особенностями структуры пленки.

Сравнительный анализ материалов показывает, что под РО-пленкой уровень освещённости оставался стабильно высоким, особенно в конце сезона, по сравнению с РЕ-пленкой. Это свидетельствует о более высокой светопропускной способности РО-пленки и её меньшей подверженности деградации с течением времени.

Анализ сезонных изменений показал, что наибольший уровень освещённости фиксируется весной, тогда как зимой он достигает минимальных значений, что обусловлено естественными колебаниями солнечной инсоляции в течение года.

Средний уровень освещённости под РЕ-пленкой снижался с 79,0% в 2016 году до 59,0% в 2019 году. В то же время РО-пленка сохраняла относительно стабильное светопропускание и демонстрировала высокие показатели, достигая 78,0% весной 2019 года.

Результаты данного исследования позволяют провести анализ различий в светопропускной способности РЕ и РО-пленок, а также их устойчивости к внешним факторам.

Сравнение уровней светопропускания показало, что РО-пленка сохраняла более высокие показатели освещённости по сравнению с РЕ-пленкой на протяжении всего времени. Это подтверждает лучшие оптические свойства РО-пленки и её меньшую подверженность разрушению с течением времени. Хотя РЕ-пленка изначально пропускала хороший уровень света, к 2019 году наблюдается заметное снижение. Это свидетельствует о её старении и помутнении под воздействием пыли или внешней среды.

С учетом изменений характеристик пленок с течением времени, РЕ-пленка потеряла в среднем 20,0% светопропускания

Таблица 3. Уровень освещённости в течение вегетационного периода земляники в тепличных условиях
Table 3. Light intensity levels during the strawberry growing (vegetation) period under greenhouse conditions

Сезоны	Полиэтиленовая пленка (РЕ)	Полиолефиновая пленка (РО)
Время в единицах света, %	8:00 AM	12:00AM
Начало сезона, 2016 год		
Осень	80,0	83,0
Зима	65,0	71,0
Весна	80,0	84,0
Конец сезона, 2019 год		
Осень	57,0	67,0
Зима	52,0	63,0
Весна	58,0	63,0

с 2016 по 2019 год. Особенно заметное снижение наблюдается зимой, где показатель упал с 66,3% до 54,7%. В отличие от РЕ-пленки, РО-пленка была значительно более стабильной, и снижение светопропускания с течением времени не превышало 4,0-5,0%.

По сезонному влиянию, весной и осенью уровень освещенности под обеими пленками был высоким, так как естественное освещение в окружающей среде также было больше.

Зимой же уровень освещенности во всех условиях был ниже, и различие между пленками было более заметным. Это подтверждает преимущество РО-пленки в пропускании света и создании комфортных условий в теплице.

Было установлено, что в тепличных условиях уровень урожайности земляники изменяется в зависимости от типа используемой пленки. Полученные данные свидетельствуют о наличии тесной взаимосвязи между урожайностью земляники и условиями освещенности. В рамках исследования были проанализированы средние показатели урожайности за период 2016-2019 годов.

Тип используемой пленки в теплице оказывала влияние на урожайность, что во многом было связано с изменением уровня освещенности. Согласно данным, приведённым в таблице 3, с 2016 по 2019 год уровень освещенности под РЕ-пленкой снизился с 79% до 59%. Результаты таблицы 4 демонстрируют соответствующее снижение урожайности. Так, у сорта «Seolhyang» в сезоне 2016-2017 годов получен урожай 34,4 т/га, а в сезоне 2018-2019 годов этот показатель снизился до 22,7 т/га. Эти данные позволяют предположить, что снижение уровня освещенности замедляет процесс фотосинтеза, что, в свою очередь, негативно сказывается на формировании урожая.

Полиолефиновая пленка эффективно пропускала свет и способствовала повышению урожайности. Светопроницаемость под РО-пленкой была выше по сравнению с РЕ-пленкой и весной 2019 года оставалась на уровне около 78,0%. В результате сорта земляники, выращенные под РО-пленкой, демонстриро-

вали более высокую продуктивность по сравнению с растениями, выращенными под РЕ-пленкой. Так, сорт Seolhyang под РО-пленкой средняя урожайность составила 34,3 т/га, что на 5,0 т/га превышало урожайность при использовании РЕ-пленки.

Более высокая стабильная урожайность земляники была отмечена при возделывании под РО-пленкой по сравнению с растениями РЕ-пленкой. В условиях РО-пленки показатель урожайности оставалась относительно стабильной каждый год. Например, у сорта King's Berry в сезоне 2018-2019 годов было получено 24,8 т/га урожая при возделывании под РЕ-пленкой и 34,6 т/га под РО-пленкой, что на 4,5 т/га больше. Эти данные подтверждают, что РО-пленка сохраняет высокую светопроницаемость и создаёт благоприятные условия для фотосинтеза.

Полученные данные подтверждают прямую зависимость между уровнем освещенности и фотосинтезом растений. Количество света оказывает непосредственное влияние на процесс фотосинтеза: при снижении уровня освещенности уменьшается синтез хлорофилла, что замедляет фотосинтетическую активность. Снижение фотосинтеза ведёт к уменьшению продукции органических веществ и, как следствие, к снижению урожайности. Так как РО-пленка пропускает больше света, интенсивность фотосинтеза поддерживается на высоком уровне, что обеспечивает сохранение высокой урожайности.

Исследование показало, что пленка из полипропилена обеспечивает более высокое светопропускание по сравнению с полиэтиленовой пленкой, что приводит к существенному увеличению урожайности. В период с 2016 по 2019 годы урожайность под РЕ-пленкой значительно снизилась: например, у сорта Seolhyang снизился с 34,4 т/га до 22,7 т/га, тогда как под РО-пленкой показатели оставались относительно стабильными и варьировали от 36,5 т/га до 32,1 т/га.

В целом использование РО-пленки обеспечивало дополнительный урожай в пределах 3,3–5,0 т/га. Снижение светового потока под РЕ-пленкой вероятно ограничивает фотосинтези-

Таблица 4. Влияние уровня освещенности на урожайность сортов земляники (средние значения за 2016–2019 годы)
Table 4. Effect of light intensity on the yield of strawberry cultivars (average values for 2016–2019)

№	Сорта	2016-2017 (т/га)	2017-2018 (т/га)	2018-2019 (т/га)	Средняя урожайность (т/га)	Дополнительный урожай по сравнению с РЕ (т/га)
Полиэтиленовая пленка (РЕ)						
1.	Seolhyang	34,4	30,9	22,7	29,3	-
2.	Maehyang	33,5	28,7	21,9	28,0	-
3.	Jukhyang	31,8	26,8	18,8	25,8	-
4.	Keumsil	32,8	28,0	20,2	27,0	-
5.	King's Berry	37,7	33,6	24,8	32,0	-
6.	Yotsuboshi F ₁	35,5	31,7	24,8	30,7	-
Полиолефиновая пленка (РО)						
7.	Seolhyang	36,5	34,2	32,1	34,3	+5,0
8.	Maehyang	34,7	31,8	28,3	31,6	+3,6
9.	Jukhyang	32,1	29,9	26,4	29,5	+3,7
10.	Keumsil	33,0	30,7	27,2	30,3	+3,3
11.	King's Berry	38,2	36,7	34,6	36,5	+4,5
12.	Yotsuboshi F ₁	36,3	34,2	33,4	34,6	+3,9

Таблица 5. Физико-химические показатели различных сортов земляники (2016-2017 годы)
Table 5. Physicochemical parameters of different strawberry cultivars (2016-2017)

№	Сорта	Средняя длина плода, см	Средняя ширина плода, см	Средний вес плода, г	Т.С.С (Brix)	Титрованная кислота, %	Содержание воды, %
Полиэтиленовая пленка (PE)							
1.	Seolhyang	4,7	3,6	22,1	11,6	0,72	88,0
2.	Maehyang	4,2	3,2	21,1	11,8	0,65	86,0
3.	Jukhyang	4,6	3,2	19,5	12,1	0,64	88,7
4.	Keumsil	4,6	3,4	20,7	11,2	0,65	86,3
5.	King's Berry	4,7	4,2	26,5	11,4	0,71	89,1
6.	Yotsuboshi F1	4,3	3,0	22,0	11,7	0,65	87,6
Полиолефиновая пленка (PO)							
7.	Seolhyang	4,8	3,6	22,8	11,9	0,72	88,1
8.	Maehyang	4,4	3,3	22,0	12,0	0,66	86,1
9.	Jukhyang	4,6	3,3	19,9	12,2	0,64	88,9
10.	Keumsil	4,8	3,5	21,2	11,4	0,71	89,2
11.	King's Berry	4,8	4,4	26,9	11,9	0,72	87,7
12.	Yotsuboshi F ₁	4,3	3,1	22,5	11,9	0,66	87,8

ческую активность, что приводит к уменьшению продукции органических веществ и снижению урожайности. Эти результаты свидетельствуют о том, что РО-пленка является предпочтительным покрытием для повышения урожайности и обеспечения долгосрочной стабильности производства земляники в защищенном грунте.

Анализируя результаты исследования физико-химических характеристик различных плодов (длина, ширина, масса, содержание сахара (Brix), титруемая кислотность и содержание воды) в зависимости от типа пленки (PE и PO) для земляники в сезоне 2016–2017 годов, можно отметить, что снижение уровня освещенности существенно влияло на органолептические показатели ягод.

Результаты, представленные в таблице 5, показывают, что высокий уровень освещенности оказывает значительное влияние не только на урожайность, но и на качество плодов. Под РО-пленкой уровень освещенности был выше, что положительно сказывалось на размерах, массе и химическом составе ягод.

Что касается размеров и массы ягод, земляника, выращенная под РО-пленкой, была несколько крупнее: средняя длина плода составляла 4,8 см, а ширина – 3,6-4,4 см. В то время как плоды, выращенные под PE-пленкой, имели длину 4,2-4,7 см и ширину 3,0-4,2 см, и в некоторых случаях уступали по размеру плодам, выращенным под РО-пленкой. Достаточный уровень освещенности способствовал увеличению размера и массы ягод, что особенно заметно у растений под РО-пленкой.

Что касается массы плодов, под РО-пленкой средняя масса составляла от 22,8 до 26,9 г, тогда как под PE-пленкой – масса колебалась от 19,5 до 26,5 г. Наибольшие плоды были получены под РО-пленкой и достигали 26,9 г, в то время как максимальная масса плодов под PE-пленкой составляла 26,5 г. Это связано с тем, что более высокий уровень освещенности стимулирует фотосинтетическую активность растений, что способствует увеличению массы плодов.

Содержание растворимых сухих веществ (Т.С.С.) в ягодах под PE-пленкой колебалось от 11,2 до 12,1 °Brix, а под РО-пленкой – от 11,4 до 12,2 °Brix, что свидетельствует о незначительном повышении сладости плодов под РО-пленкой. Разница в показателях не является статистически значимой и не существенная. Содержание титруемой кислоты в обеих группах было практически одинаковым.

Аналогичная картина отмечено при анализе содержания воды, где в плодах, выращенных под PE-пленкой, оно составляло 86,0-89,1%, а под РО-пленкой – 86,1-89,2%.

Земляника, выращенная под РО-пленкой, характеризовалась большими размерами, большей массой, повышенным содержанием сахара и более высоким уровнем воды. В то время как недостаток освещенности под PE-пленкой приводил к уменьшению размера и сладости плодов. Следовательно, для получения плодов высокого качества предпочтительно использовать РО-пленку, обеспечивающую оптимальный уровень освещенности.

Обсуждение

Как известно, с течением времени физико-химические и оптические характеристики пленок могут изменяться. Согласно полученным данным, в период с 2016 по 2019 годы светопропускание PE-пленки снизилось в среднем на 20%. В зимний период этот показатель уменьшился с 66,3% до 54,7%. В то же время РО-пленка продемонстрировала гораздо большую стабильность: снижение светопропускания за этот период не превышало 4–5%. В весенний и осенний сезоны уровень освещенности под обеими пленками оставался высоким, что объясняется более высокой естественной инсоляцией.

Влияние уровня освещенности на урожайность и качество земляники можно рассматривать с научной точки зрения. Недостаток света приводил к снижению урожайности, уменьшению размеров плодов и снижению их сладости, особенно под PE-пленкой, где этот эффект проявлялся наиболее выраженно.

Эти результаты подтверждают прямую зависимость между светопропусканием покрытия и физиологической активностью растений, включая фотосинтез и синтез органических веществ, которые определяют продуктивность и качество плодов.

Под РО-пленкой урожайность увеличивалась в среднем на 3,3-5,0 т/га, что свидетельствует о том, что РО-пленка эффективно сохраняет уровень освещённости и обеспечивает оптимальную фотосинтетическую активность растений. В то же время под РЕ-пленкой снижение освещённости ограничивало фотосинтез, что замедляло рост растений земляники и уменьшало их продуктивность.

Длина, ширина и масса плодов под РО-пленкой были выше, что связано с оптимальной инсоляцией и эффективной трансфера света к фотосинтетически активным тканям. Уровень растворимых сухих веществ (T.S.S.) под РО-пленкой был несколько выше (до 12,2 °Brix), что отражает повышение синтеза сахаров при увеличении светового потока. Содержание воды в плодах под РО-пленкой также было незначительно выше, что способствовало повышению их сочности.

При достаточном уровне освещённости фотосинтез у растений активен на максимальном уровне, что обеспечивает синтез большего количества органических веществ и, как следствие, увеличение урожайности [14, 15]. Благодаря высокой светопропускной способности РО-пленки растения получают достаточную энергию для поддержания высокой продуктивности.

Уровень растворимых сухих веществ (T.S.S.) и сладость ягод у сортов земляники напрямую связаны с интенсивностью фотосинтеза. Под РО-пленкой наблюдается более высокий

синтез сахаров, что делает землянику слаще.

Анализ водного баланса показывает, что при оптимальной освещённости регулируется работа устьиц, стабилизируется транспирация, и ягоды накапливают больше воды. Под РО-пленкой это способствует повышению сочности ягод и улучшению их сохранности.

Заключение

Проведённые исследования подтвердили ключевую роль уровня освещённости в формировании урожайности и качественных показателей земляники при гидропонном выращивании. Установлено, что в 2016-2019 годах снижение светопропускания под РЕ-пленкой сопровождалось уменьшением урожайности в среднем на 5,0 т/га. В то же время применение РО-пленки обеспечивало более стабильный световой режим, что способствовало повышению урожайности на 3,3-5,0 т/га по сравнению с РЕ-пленкой.

Кроме того, под РО-пленкой формировались более крупные ягоды с большей средней массой. Достаточный уровень освещённости активизировал фотосинтетическую деятельность растений, усиливая синтез органических веществ и положительно влияя на продуктивность насаждений.

В целом, результаты исследования показывают, что использование РО-пленки в гидропонных системах выращивания земляники является более эффективным с точки зрения урожайности и качества ягод и может быть рекомендовано для практического применения в условиях интенсивного производства.

Литература / References

1. FAO. Information and communication technology (ICT) in agriculture: a report to the G20 agricultural deputies. FAO, Rome. 2017.
2. Diver S., Rinehart L. Aquaponics—Integration of hydroponics and aquaculture. Appropriate technology transfer for rural areas: Horticulture systems guide 27 Oct. 2010. <http://attra.ncat.org/attra-pub/aquaponic.html>
3. Mohammed S. (Eds), Tomorrow's agriculture "NFT Hydroponic" - Grow within your budget, Springer Nature, Switzerland AG, 2018.
4. Al-Kodmany O. The Vertical City: A Sustainable Urban Form? *Journal of Urban Design*. 2018;23(2):176–194.
5. Al-Shrouf A. Hydroponics, Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming. 2017;27(1):247-255.
6. Birkby J. Vertical farming. ATTRA sustainable agriculture. NCAT IP516. 2016;(12).
7. Gómez C. et al. Controlled environment food production for urban agriculture. *Hort Sci*. 2019;(54):1448–1458. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14073-19>
8. Engler N., Krarti M. Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. *Renew Sust Energy Rev*. 2021;141(2021):110786. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110786>
9. Graamans L., Baeza E., van den Dobbelaars A., Tsafaras I., Stanghellini C. Plant factories versus greenhouses: comparison of

resource use efficiency. *Agric Syst*. 2018;(160):31–43. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003>

10. Kozai T. Towards sustainable plant factories with artificial lighting (PFALs) for achieving SDGs. *Int J Agric Biol Eng*. 2019;(12):28–37. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.5177>
11. CNARE NSES, RDA. Nursery Techniques for Strawberry Forcing Culture; Wanju, Korea, 2020. p. 75.
12. Kim G.H., Jeong B.R. Hydroponic culture of a pot plant *Ficus benjamina* 'King' using mixtures of used rockwool slab particles and chestnut wood chips. *J. Korean Soc. Hortic. Sci*. 2003;(44):251-254.
13. Kim H.M., No K.O., Hwang S.J. Use of pellet of cube-type phenolic foam as an artificial medium for production of tomato plug seedlings. *Korean J. Hortic. Sci. Technol*. 2016;(34):414-423. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20160042>
14. Rajametov S.N., Lee K., Jeong H.-B., Cho M.-C., Nam C.-W., Yang E.-Y. The Effect of Night Low Temperature on Agronomical Traits of Thirty-Nine Pepper Accessions (*Capsicum annuum* L.). *Agronomy*. 2021;(11)1986. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101986>
15. Lee K., Rajametov S.N., Jeong H.-B., Cho M.-C., Lee O.-J., Kim S.-G., Yang E.-Y., Chae W.-B. Comprehensive Understanding of Selecting Traits for Heat Tolerance during Vegetative and Reproductive Growth Stages in Tomato. *Agronomy*. 2022;(12):834. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040834>

Об авторах:

Обиджон Холдарович Синдаров – кандидат с.-х. наук, доцент, автор для переписки, <https://orcid.org/0009-0005-3508-2215>, obidjonsindarov@gmail.com

Шерзод Нигматуллаевич Ражаметов – кандидат с.-х. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7055-9932>, sherzod_2004@list.ru

Саодат Шерзодовна Ражаметова – студентка Ташкентского аграрного университета

About the Authors:

Obidjon Kh. Sindarov – PhD (Agriculture), Associate Professor, Correspondence Author, <https://orcid.org/0009-0005-3508-2215>, obidjonsindarov@gmail.com

Sherzod N. Rajametov – PhD (Agriculture), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7055-9932>, sherzod_2004@list.ru

Saodat Sh. Rajametova – Student Tashkent state agrarian university

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-13-21
 УДК: 635.64:631.526.321:628.9

И.В. Князева¹, Е.В. Журавлева¹,
 Е.А. Домблидес², Я.П. Тукусер²

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) 109428, Россия, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

*Автор для переписки:
 knyazewa.inna@yandex.ru

Финансирование. Исследование проведено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FGUN-2025-0008.

Вклад авторов: И.В. Князева: проведение исследования, методология, создание черновой рукописи. Е.В. Журавлева: концептуализация. Е.А. Домблидес: создание рукописи и ее редактирование. Я.П. Тукусер: проведение исследования, ресурсы.

Конфликт интересов. Е.В. Журавлева является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2017 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятие в журнале процедуры рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Для цитирования: Князева И.В., Журавлева Е.В., Домблидес Е.А., Тукусер Я.П. Влияние спектра светодиодного освещения на адаптацию микроклонов томата к условиям *ex vitro*. *Овощи России*. 2026;(1):13-21.
 https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-13-21

Поступила в редакцию: 29.10.2025
 Принята к печати: 26.12.2025
 Опубликовано: 16.03.2026

Inna V. Knyazeva^{1*}, Ekaterina V. Zhuravleva¹,
 Elena A. Dombldes², Yana P. Tukuser²

¹Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM» (FSAC VIM) 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russia, 109428

²Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Vegetable Center» (FSBSI FSVC) 14, Selektsionnaya, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

*Corresponding Author:
 knyazewa.inna@yandex.ru

Funding. The study was conducted under the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FGUN-2025-0008.

Authors' Contribution: I.V. Knyazeva: investigation, methodology, writing – original draft. E.V. Zhuravleva: conceptualization. E.A. Dombldes: writing – review & editing. Ya.P. Tukuser: investigation, resources.

Conflict of interest. E.V. Zhuravleva has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2017, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citations: Knyazeva I.V., Zhuravleva E.V., Dombldes E.A., Tukuser Ya.P. The influence of LED lighting spectrum on the adaptation of tomato microclones to *ex vitro* conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):13-21. (In Russ.)
 https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-13-21

Received: 29.10.2025
 Accepted for publication: 26.12.2025
 Published: 16.03.2026

Влияние спектра светодиодного освещения на адаптацию микроклонов томата к условиям *ex vitro*



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Необходимо разработать эффективные методы адаптации микрорастений *ex vitro*, позволяющих повысить их устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды и обеспечить высокий выход качественного посадочного материала. Современные биотехнологии, основанные на использовании специализированных климатических камер и освещения различного спектрального состава, предоставляют уникальные возможности для оптимизации процесса адаптации, что крайне актуально в условиях современного сельского хозяйства, ориентированного на ресурсосбережение и экологичность.

Материалы и методы. Адаптацию томата двух сортов Гном и Челнок из коллекции лаборатории селекции и семеноводства пасленовых культур ФГБНУ ФНЦО осуществляли по традиционной технологии и в камере с автоматическим управлением климатическими параметрами производства ВИМ (Россия) к условиям *ex vitro*. Освещение характеризовалось спектром излучения 16B:42G:39R:3FR ммоль/м²·с (контроль) и 15B:1G:84R:0FR ммоль/м²·с. Общая плотность фотонного потока (ПФП) для обоих вариантов равнялась 140 ммоль/м²·с.

Результаты. С помощью климатических камер, оснащенных специализированными источниками света, удалось добиться значительных преимуществ в развитии растений по сравнению с традиционной технологией. В частности, светодиодное освещение СИД-W (16B:42G:39R:3FR) обеспечило максимальную длину побегов (20,3 см), тогда как СИД-RB (15B:1G:84R:0FR) способствовало наилучшему накоплению фотосинтетических пигментов (хлорофилл *a* – 1,3 мг/г, хлорофилл *b* – 0,56 мг/г, сумма *a+b* – 1,86 мг/г). При этом содержание каротиноидов выросло до 0,34-0,38 мг/г в климатических камерах, в то время как традиционная технология привела к минимальной концентрации (0,20-0,21 мг/г).

Заключение. Проведенные исследования подтвердили положительное влияние климатической камеры и специализированного светодиодного освещения на рост и развитие микроклонов томата. Оптимизация спектрального состава повысила длину побегов, увеличило число листьев и улучшило накопление фотосинтетических пигментов. Наблюдалось также различие в реакции сортов на разные спектры освещения, что подчеркивает необходимость специализированного подхода к каждому сорту. Перспективы дальнейших работ связаны с совершенствованием технологий адаптации и разработкой оптимальных спектральных режимов для повышения продуктивности томата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, адаптация *ex vitro*, светодиодное освещение, климатическая камера, пигменты, вегетационные индексы

The influence of LED lighting spectrum on the adaptation of tomato microclones to *ex vitro* conditions

ABSTRACT

Relevance. It is necessary to develop effective methods for the adaptation of micro plants *ex vitro*, which will increase their resistance to unfavorable environmental factors and ensure a high yield of high-quality planting material. Modern biotechnologies based on the use of specialized climate chambers and varying spectral compositions of lighting offer unique opportunities for optimizing the adaptation process, which is extremely important in modern agriculture, which is focused on resource conservation and environmental friendliness.

Materials and Methods. Tomato varieties Gnome and Chelnok from the collection of the Solanaceae Breeding and Seed Production Laboratory of the Federal Scientific Center of Oncology were adapted to *ex vitro* conditions using traditional technology and a chamber with automatic climate control manufactured by VIM (Russia). The illumination had a radiance spectrum of 16B:42G:39R:3FR mmol/m² s (control) and 15B:1G:84R:0FR mmol/m² s. The total photon flux density (TPD) for both treatments was 140 mmol/m² s.

Results. Using climate chambers equipped with specialized light sources, we achieved significant advantages in plant development compared to traditional technology. Specifically, CID-W (16B:42G:39R:3FR) LED lighting resulted in maximum shoot length (20.3 cm), while CID-RB (15B:1G:84R:0FR) promoted the best accumulation of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* – 1.3 mg/g, chlorophyll *b* – 0.56 mg/g, sum of *a+b* – 1.86 mg/g). Furthermore, carotenoid content increased to 0.34-0.38 mg/g in the climate chambers, while traditional technology resulted in minimal concentrations (0.20-0.21 mg/g).

Conclusion. The studies confirmed the positive impact of a climate chamber and specialized LED lighting on the growth and development of tomato microplants. Optimizing the spectral composition increased shoot length, leaf count, and the accumulation of photosynthetic pigments. Varieties also responded differently to different lighting types, highlighting the need for a personalized approach for each variety. Future research focuses on improving adaptation technologies and developing optimal spectral regimes to enhance tomato productivity.

KEYWORDS:

Solanum lycopersicum L., *ex vitro* adaptation, LED lighting, climate chamber, pigments, vegetation indices

Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) – экономически важная культура, занимающее ведущее место среди овощных культур благодаря высокой пищевой ценности и универсальности использования [1].

Условия окружающей среды для роста микроклонов *ex vitro* сильно отличаются от условий, используемых для культивирования *in vitro*. Метод клонального микро-размножения *in vitro* является одним из ключевых факторов получения здоровых растений до их пересадки в условия *ex vitro* [2].

Биотехнология приносит значительную пользу в достижении главного прогресса в производстве и поставках продуктов питания [3]. Биотехнологические методы позволяют за короткий период получить оздоровленный материал для дальнейшего включения в программу селекционных скрещиваний. Культура клеток является мощнейшим инструментом для увеличения коэффициента размножения и получения оздоровленного материала сельскохозяйственных культур [4]. Культивирование клеток, тканей или органов растений *in vitro* на среде, содержащей селективные агенты, дает возможность отбирать и регенерировать растения с желаемыми характеристиками. Этот метод также эффективно использовался для индуцирования толерантности, что включает использование некоторых селективных агентов, которые обеспечивают преимущественное выживание и рост желаемых фенотипов. Селекция *in vitro* может значительно сократить время для отбора желаемых признаков при минимальном взаимодействии с окружающей средой, а также может дополнять селекцию в полевых условиях [5]. Переход микро-растений из лабораторных условий *in vitro* к естественным условиям *ex vitro* считается наиболее трудным этапом клонального микро-размножения. На способность растений адаптироваться оказывают влияние многочисленные факторы: влажность, и температура воздуха и грунта, фотопериод, интенсивность и спектр освещения, а также индивидуальные генетические характеристики разных видов и сортов [6].

Растения томата рассматривают как модельный объект для двудольных культур и используют для исследований функциональности генов, которые могут быть применены к другим культурам [7]. Томат является одним из основных овощей, к которому были успешно применены методы клонального микро-размножения *in vitro* и генетические эксперименты для улучшения качества плодов. Размножение томата *in vitro* удалось осуществить благодаря использованию семян и вегетативных частей растения в качестве эксплантов [8]. Культура томата *in vitro* успешно используется для селекции толерантных сортов. Экспериментально установлено, что коэффициент регенерации томата *in vitro* зависит от генотипа, экспланта и регуляторов роста, используемых в культуральной среде

[9]. Изучение регуляции развития листьев томата служит основой для селекции высокопродуктивных сортов с повышенной фотосинтетической эффективностью [10], что физиологически детерминировано максимальным поглощением света в диапазонах 400-510 нм и 560-710 нм [11]. Фотосинтетические пигменты, определяя окраску растений и обеспечивая первичные реакции фотосинтеза, отвечают за восприятие и преобразование световой энергии, что напрямую влияет на продуктивность [12]. Каротиноиды дополняют поглощение света хлорофиллом и выполняют защитную функцию, нейтрализуя избыток энергии и предотвращая фотоповреждения [13].

Количество, качество и направление освещения имеют первостепенное значение для выживания фото-автотрофных организмов. Световые сигналы из широкого диапазона спектра (280-750 нм) воспринимаются несколькими фоторецепторами, относящимися к трем основным семействам: фитохромам, криптохромам и фототропинам [14]. Восприятие световых сигналов обеспечивает растениям возможность точной настройки процессов развития в рамках сложного явления фотоморфогенеза, включая условия культивирования *in vitro* и *ex vitro* [15]. Спектральный состав освещения, уровень облучения с точки зрения плотности потока фотонов (ПФП) и фотопериода оказывали значительное влияние на морфогенез и рост растений. В исследованиях Gupta и Jatothu [16] установлено, что различные морфологические, анатомические и физиологические признаки, такие как длина побегов, образование пазушных побегов, индукция соматического эмбриогенеза, ризогенез, анатомия листьев и фотосинтетические способности растений, выращенных *in vitro*, регулируются спектральными характеристиками светодиодов.

Развитие инновационных технологий светодиодного освещения инициирует проведение исследований, нацеленных на создание эффективных схем освещения, обеспечивающих увеличение объемов растительной биомассы, усиление синтеза необходимых соединений и расширение возможностей биотехнологий [17, 18]. Синие и красные светодиоды в основном используют для выращивания растений, так как их спектральное распределение мощности оптимально для фотосинтеза [19]. Световые режимы способствуют значительному повышению адаптивных способностей растений в условиях контролируемого выращивания (*in vitro*) и существенно улучшают их сопротивляемость стрессовому воздействию внешней среды при переводе в условия (*ex vitro*) [20]. Светодиодное освещение оказывало благоприятное воздействие на развитие корневой системы, удлинение побегов, активность антиоксидантной защиты и уровень содержания хлорофилла у микро-растений томата и малины в период адаптации в условиях *ex vitro* [21, 22, 23].

Целью наших исследований было изучение возмож-

ности повышения устойчивости микрорастений томата на основе использования спектров светодиодного освещения на этапе адаптации к условиям *ex vitro*.

Условия, материалы и методы

Исследования проводили в 2023-2024 годах в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ (ФНАЦ ВИМ). Растительный материал сортов томата предоставлен из биоресурсной коллекции лаборатории селекции и семеноводства пасленовых культур ФГБНУ ФНЦО. Для контролируемых условий закрытых агроэкосистем важно выбирать сорта с определенными характеристиками: компактностью размеров (до 40-50 см высоты), коротким периодом созревания плодов (82-110 суток) и детерминантным типом роста, что характерно для сортов Гном и Челнок. Помимо этих факторов, большое значение имеет наличие хороших вкусовых качеств урожая, что повышает пищевую ценность

продукции и увеличивает потребительские предпочтения при использовании в искусственно созданных агроэкосистемах. Однако каждый из сортов обладает уникальными особенностями: сорт Гном характеризуется высокой завязываемостью плодов, повышенной устойчивостью к болезням и стрессовым факторам, тогда как Челнок выделяется более высоким уровнем концентрации питательных веществ и витаминов в плодах, что определяет выбор конкретного сорта в зависимости от целей и особенностей конкретной агроэкосистемы.

Для получения экплантов в культуре *in vitro* использовали семенной материал. Обеззараженные семена помещали в стерильные стеклянные емкости (100 мл), закрытые пластиковыми крышками Magenta™ В-сар для их дальнейшего прорастания. В качестве индукции побего- и корнеообразования использовали безгормональную агаризованную (7 г/л) питательную среду Murashige-Skoog (MS) с концентрацией сахарозы 2%.



A



Б



В

Рис. 1. Адаптация к условиям *ex vitro* микрорастений томата сортов Гном и Челнок:

**А – общий вид климатической камеры;
Б – микрорастения перед адаптацией;
В – адаптированные растения томата**

Fig. 1. Adaptation of tomato microplants of the Gnom and Chelnok varieties to *ex vitro* conditions:

**A – general view of the climate chamber;
B – microplants before adaptation;
C – adapted tomato plants**

Полученные после укоренения *in vitro* на 10 сутки микрорастения двух исследуемых сортов томата достигали длины 4,3-5,1 см и обладали четырьмя настоящими листьями, что свидетельствовало о готовности к следующему этапу адаптации *ex vitro* [24].

Перед этапом адаптации микрорастения извлекали из стеклянных колб, корневую систему промывали дистиллированной водой, а затем кратковременно (5 с) погружали в 0,01% раствор марганцовки ($KMnO_4$). После обработки растения пересаживали в емкости объемом 0,3 л, содержащие смесь нейтрализованного торфа «Агробалт-Н» фракции 0-20 мм и агроперлита фракции 0,1-1,0 мм в пропорции 1:3. Торф подвергался предварительной стерилизации в сушильном шкафу марки «Экрос ПЭ-4630М» (Россия), при температуре 120°C на протяжении 2 часов.

Адаптация растений по традиционной технологии.

Адаптацию растений томата по традиционной технологии (ТТ) осуществляли в фитокомнате на стеллажах. Общее время адаптации составило 25 суток. Микрорастения были высажены в контейнеры, предварительно подготовленные в соответствии с условиями адаптации, указанными выше. Для сохранения влажности субстрата горшок накрывали пищевой пленкой в один слой. Дальнейшее развитие растений проходило в фитокомнате при температуре 22±2°C и фотопериоде 16 ч. В качестве основного источника освещения использовали светодиодные лампы, характеристики которых приведены в таблице 1. По мере роста растений и образования новых листьев в пищевой плёнке проделывали небольшие вентиляционные отверстия. Спустя 20 суток полностью раскрывали укрытие, оставляя растения на дополнительное время адаптации в условиях фитокомнаты.

Адаптация растений в климатической камере с системой светодиодного освещения. Адаптацию микрорастений сортов томата проводили в течение 14 суток в климатической камере (КК), разработанной Федеральным научным агроинженерным центром ВИМ (рис. 1 А-В). Объем камеры составил 0,98 м³, поддерживаемая температура составила +22±2°C, начальная

влажность воздуха – 96%±2. За весь адаптационный период влажность постепенно снижалась примерно на 3,3% в сутки, доходя до конечного значения 50%±2 к концу эксперимента. Для полива растений использовали систему капельного орошения. Полив проводили один раз в сутки, продолжительностью 30 с на одно растение. Объем воды для полива одного растения составлял 25 мл.

Система освещения состояла из комбинированных облучателей на основе светодиодов с различным спектральным составом (табл. 1). Было использовано два варианта освещения: 1. белый спектр (контроль); 2. сочетание красного и синего спектра (R/B). Период использования света составлял 16 часов.

Измерения плотности потока фотонов и спектрального состава излучения проводили с помощью прибора MK350D Compact Spectrometer (UPRtek Corp. Miaoli County, Taiwan). Спектральный анализ отражающей способности листьев томата измеряли портативным прибором PolyPen RP410 UVIS (Чехия).

Длину побегов всех растений каждого сорта измеряли с применением технической линейки, точность измерений составляла 0,1 см. Дополнительно фиксировали число сформировавшихся листьев. Измерения проводили дважды: перед началом эксперимента (до размещения растений в камере и закрытия пленкой) и после завершения этапа адаптации (на 14-е и 25-е сутки). На этапе адаптации растений-регенерантов учитывали следующие показатели: длину побега (см), количество листьев (шт.), накопление основных фотосинтетических пигментов (мг/г) и показатель вегетационного индекса (NDVI). Для оценки адаптивности использовали два варианта шести растений из каждого сорта.

Содержание хлорофилла а (Хл. а), хлорофилла b (Хл. b) и каротиноидов (Кар.) определяли спектрофотометрическим методом в ацетоне при длинах волн 662 нм, 644 нм и 440,5 нм соответственно. Для измерений использовали UV-2200 с двойной УФ-видимой областью (UV/VIS) (Китай). Концентрация пигментов вычислялась по следующим формулам (1)-(4) [25].

Таблица 1. Среднее значение ПФП, поступающее от светодиодов в каждой из зон спектра: синей (400-500 нм), зеленой (500-600 нм) и красной (600-700 нм)
Table 1. Average value of the PFP coming from LEDs in each of the spectrum zones: blue (400-500 nm), green (500-600 nm) and red (600-700 nm)

№	Вариант освещения	Поток фотонов, мкмоль м ⁻² с ⁻¹					
		ПФП λ= 400-800 нм	Синий (B)	Зеленый (G)	Красный (R)	Дальний красный (FR)	Процентный состав света (B:G:R:FR)
1	СИД – W белый (контроль)	140,3±3,3	22,8±1,3	58,7±3,2	54,1±2,0	4,7±1,6	16:42:39:3
2	СИД – RB	140,2±3,3	20,5±1,3	1,1±0,3	118,2±2,0	0,03±0,01	15:1:84:0

$$Хл.a = 9,784_{D662} - 0,990_{D644} \quad (1)$$

$$Хл.b = 21,426_{D644} - 4,650_{D662} \quad (2)$$

$$Хл.(a+b) = 5,134_{D662} + 20,436_{D644} \quad (3)$$

$$Кар. = 4,695_{D440,5} - 0,268_{Хл. a + b} \quad (4)$$

Содержание пигментов в образце растения рассчитывалось по следующей формуле (5) [26]:

$$X = \frac{C \cdot V}{a \cdot 1000} \quad (5)$$

где X – содержание пигмента в образце растения, мг/г;

C – концентрация пигментов в мг/л;

V – объем экстракта, мл;

a – масса навески, г.

Статистическую обработку результатов проводили с применением дисперсионного анализа (ANOVA) в программе MS Excel. В качестве post hoc теста использовали тест Дункана.

Результаты и обсуждение

Процент приживаемости микрорастений томата сортов Гном и Челнок на этапе адаптации *ex vitro* достигал 100%, независимо от применения традиционной технологии либо с использованием климатической камеры. Оптимизация условий способна увеличить показатель успешной адаптации до значений 90-100%. Согласно исследованию Sarshayeva et al., различный спектральный состав освещения избирательно влиял на процессы роста и развития микрорастений земляники [27].

При сравнении двух вариантов светодиодного освещения были выявлены существенные различия в пока-

зателе длины побегов у микрорастений сортов Гном и Челнок в климатической камере по сравнению с традиционной технологией (рис. 3). Наилучшие результаты были получены при обработке СИД – W (16В:42G:39R:3FR ммоль/м²с), где длина побегов у обоих сортов составила в среднем 20,3 см, что было значительно выше на 89,7%, чем в контроле (ТТ) 10,7 см. Обработка СИД – RB (15В:1G:84R:0FR ммоль/м²) с преобладанием доли красного спектра продемонстрировала меньший прирост длины побега у сортов Гном и Челнок по сравнению с контролем СИД – W в климатической камере. Длина побегов у микрорастений томата, адаптированных в климатической камере при обоих вариантах освещения, оказалась значительно больше по сравнению с растениями, адаптированных традиционным способом.

В листьях томата сортов Гном и Челнок в климатической камере (КК) была самая высокая концентрация, фотосинтетических пигментов, в то время как в листьях микрорастений адаптированных по традиционной технологии (ТТ) было зафиксировано наименьшее количество фотосинтетических пигментов (таб. 2). Максимальные значения содержания хлорофилла а (в среднем 1,3 мг/г), хлорофилла b (0,56 мг/г) и общей концентрации хлорофиллов (a+b) (1,86 мг/г) были зафиксированы у микрорастений томата сортов Гном и Челнок при варианте светодиодного освещения СИД-RB, характеризующимся доминированием красного участка спектра.

Минимальный уровень каротиноидов отмечали в контрольных группах (варианты ТТ), составив для сорта Гном 0,20 мг/г и для сорта Челнок – 0,21 мг/г. Применение освещения белыми светодиодами (LED-W) в условиях климатических камер обеспечило максимальное увеличение показателей каротиноидов, повы-

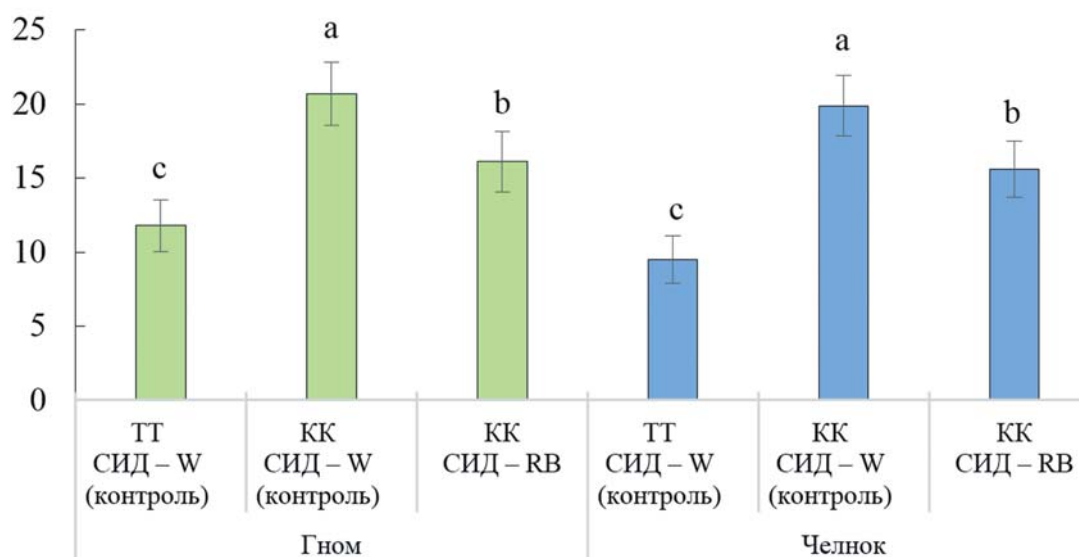


Рис 2. Изменение длины побегов микрорастений томата сортов Гном и Челнок, см. Разные буквы в столбцах указывают на статистически значимые различия ($P \leq 0,05$)
 Fig. 2. Change in the length of shoots of tomato microplants of the Gnom and Chelnok varieties, cm. Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P \leq 0,05$)

Таблица 2. Содержание фотосинтетических пигментов биомассы томата сортов Гном и Челнок по завершению периода адаптации *ex vitro*
 Table 2. The content of photosynthetic pigments in the biomass of tomato varieties Gnom and Chelnok at the end of the *ex vitro* adaptation period

Сорт	Вариант опыта		Количество фотосинтезирующих пигментов, мг/г			
			С хл.а	С хл.б	С хл.(а+б)	С кар.
Гном	ТТ (контроль)	СИД – W (контроль)	0,73±0,05с*	0,35±0,01с	1,08±0,06с	0,20±0,01b
		СИД – W (контроль)	0,96±0,04b	0,37±0,02b	1,33±0,09b	0,22±0,01b
	КК	СИД – RB	1,33±0,10a	0,58±0,03a	1,91±0,12a	0,34±0,01a
Челнок	ТТ (контроль)	СИД – W (контроль)	0,78±0,04с	0,33±0,02с	1,11±0,06с	0,21±0,01с
		СИД – W (контроль)	0,97±0,05b	0,39±0,02b	1,36±0,07b	0,38±0,02a
	КК	СИД – RB	1,29±0,08a	0,52±0,03a	1,81±0,11a	0,31±0,01b

*тест Дункана рассчитывался по каждому сорту отдельно

сив их до 0,38 мг/г у сорта Челнок. Активация красного компонента спектра (LED-RB) оказала значительное влияние на метаболические процессы растений. У сорта Гном зарегистрировано статистически значимое повышение концентрации каротиноидов до 0,34 мг/г, что интерпретируется как адаптационная реакция фотосинтетического аппарата на усиление интенсивности красного спек-

тра. Напротив, у сорта Челнок дополнительный красный спектр вызвал уменьшение их концентрации до 0,31 мг/г. Эта динамика иллюстрирует генетически обусловленную неоднородность в способности растений регулировать баланс каротиноидных комплексов в зависимости от спектра освещения. Экспериментальное выращивание микро-растений смородины красной в условиях адаптационной

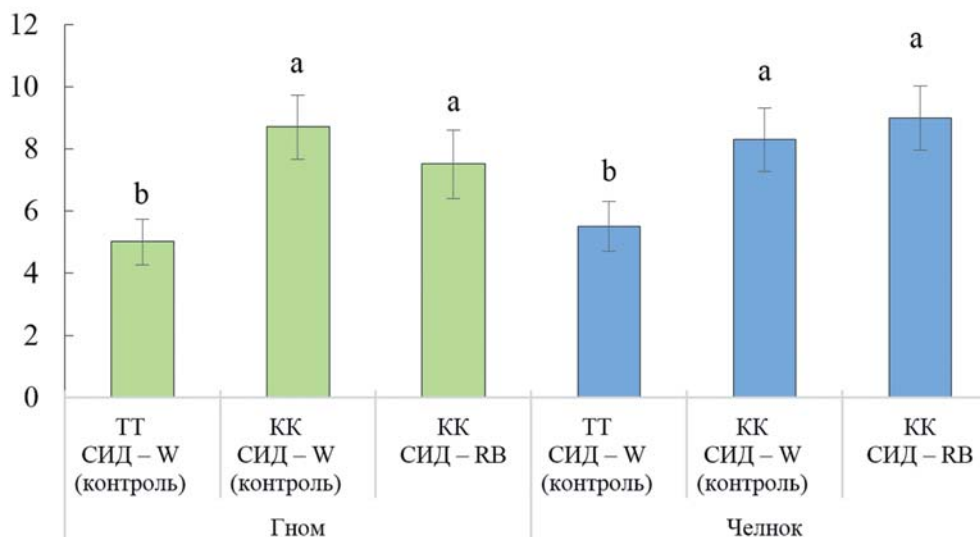


Рис. 3. Изменение количества листьев у микрорастений томата сортов Гном и Челнок, шт. Разные буквы в столбцах указывают на статистически значимые различия ($P \leq 0,05$)
 Fig. 3. The number of leaves per microclone of tomatoes of the cv. Gnom and Chelnok variety during the adaptation period, pcs. Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P < 0.05$)

камеры (ФНАЦ ВИМ) с применением различных спектров освещения и длин волн оказало значительное влияние на их ростовые характеристики. Было выявлено, что тип применяемого светодиодного освещения существенно определяет содержание хлорофилла и каротиноидов у всех изученных сортов. Показано, что содержание хлорофилла *b* стабильно превышало остальные варианты при освещении белым спектром (W). В то же время отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* оказалось максимальным при использовании красно-белого спектра (RW). Уровень накопления каротиноидов оказался высоко зависимым как от генетики конкретных сортов, так и от характера используемых светодиодов [28].

На стадии адаптации микрорастений к условиям *ex vitro* наблюдали достоверные различия по формированию

листьев в зависимости от технологии адаптации. Наибольшее количество листьев было выявлено у микрорастений в климатической камере у сорта Гном (7,5-8,7 шт.) и Челнок (8,3-9,0 шт.) в отношении традиционной технологии (5,0-5,5 шт.) адаптации (рис. 3). Среднее количество сформировавшихся листьев на одно микрорастение не показало статистически значимых различий между разными видами светового воздействия. Это свидетельствует о сходстве темпов морфогенеза и формирования вегетативных структур у исследованных сортов независимо от спектрального состава освещения.

В ходе исследований была проведена оценка корреляционной зависимости между вегетационным индексом NDVI и уровнем общего содержания хлорофилла (*a+b*) при разных условиях адаптации микроклонов

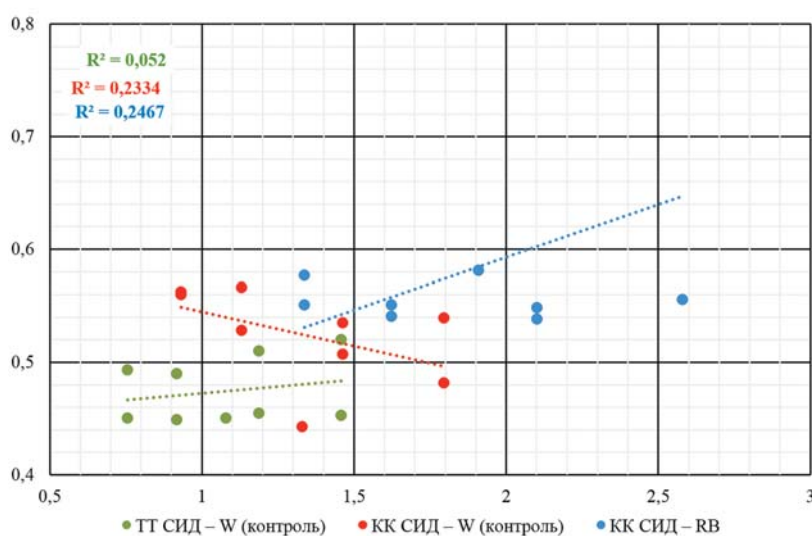


Рис. 4. Корреляционный анализ между общим содержанием хлорофилла (*a+b*) и вегетационным индексом NDVI при анализе физиологического состояния микрорастений томата сорта Гном по завершению периода адаптации *ex vitro*; R^2 – коэффициент детерминации
Fig. 4. Correlation analysis between the total chlorophyll content (*a+b*) and the NDVI vegetation index in the analysis of the physiological state of tomato microplants of the Gnom variety at the end of the *ex vitro* adaptation period; R^2 is the determination coefficient

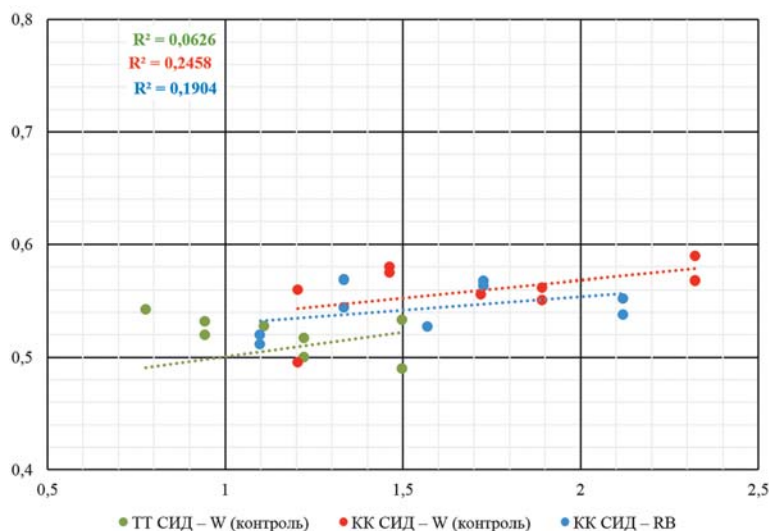


Рис. 5. Корреляционный анализ между общим содержанием хлорофилла (*a+b*) и вегетационным индексом NDVI при анализе физиологического состояния микрорастений томата сорта Челнок по завершению периода адаптации *ex vitro*; R^2 – коэффициент детерминации
Fig. 5. Correlation analysis between the total chlorophyll content (*a+b*) and the NDVI vegetation index in the analysis of the physiological state of tomato microplants of the Chelnok variety at the end of the *ex vitro* adaptation period; R^2 is the determination coefficient

томата. По результатам анализа установлено, что коэффициент детерминации (R^2) у микрорастений томата сорта Гном при традиционной технологии (ТТ) адаптации был занижен (0,052) по сравнению с адаптацией в климатической камере (КК) (0,2334...0,2467) (рис. 4). Вероятно, это связано с тем, что критическим аспектом для выживания растений в процессе адаптации является развитие эффективной устьичной регуляции транспирации [29], поскольку основной проблемой после переноса из среды *in vitro* в среду *ex vitro* является высокая скорость потерь воды растениями.

Статистический анализ данных выявил невысокую степень взаимосвязи между уровнем общего содержания хлорофилла (a+b) и величиной вегетационного индекса NDVI у микрорастений томата сорта Челнок, выращиваемых по традиционной технологии (ТТ) адаптации. Коэффициент детерминации составил 0,0626, что указывает на слабую корреляционную связь указанных переменных (рис. 5).

В рамках экспериментов по адаптации микроклонов томата в климатической камере (КК) величина коэффициента детерминации находилась в пределах от 0,1904 до 0,2458, что указывает на умеренную зависимость между содержанием хлорофилла и вегетационным индексом NDVI. Важно отметить, что применение различных типов светодиодной обработки не привело к обнаружению статистически значимых различий между отдельными вариантами опыта.

Заключение

Для сорта Гном технология адаптации в климатической камере предусматривает использование красно-синего спектра, так как он обеспечил максимальный уровень фотосинтетической активности (прирост индек-

са NDVI до 0,58) и интенсивный синтез хлорофилла а (увеличение на 82,2%). Важнейшим результатом исследования являлось выявление определяющей роли спектрального состава освещения как управляющего фактора в процессе адаптации. Была установлена четкая генотип-специфическая реакция изучаемых сортов томата на спектр, что исключает универсальный подход к выбору светового режима и определяет необходимость разработки индивидуальных протоколов для каждого сорта.

На основании полученных данных сформулированы агротехнологические рекомендации. Для сорта Гном технология адаптации в климатической камере предусматривает использование красно-синего спектра, так как он обеспечил максимальный уровень фотосинтетической активности (прирост индекса NDVI до 0,58) и интенсивный синтез хлорофилла а (увеличение на 82,2%). Для сорта Челнок наилучший результат технологии адаптации наблюдался при использовании белого спектра, который позволил получить наибольшие значения NDVI (0,56) и максимальное накопление каротиноидов (прирост на 81%). Производственные схемы для сортов Гном и Челнок должны основываться на принципиально различных световых режимах.

Таким образом, основным практическим предложением является обязательное введение в технологический процесс этапа подбора освещения для каждого сорта. Использование индивидуальных световых протоколов, основанных на предварительной оценке состояния растений, обеспечит стабильное производство качественного посадочного материала с заданными характеристиками, что важно для создания специализированных сортов и повышения эффективности современных систем выращивания.

• Литература / References

1. Anwar A., Ashfaq M., Habib S., Ahmad M.S., Mazhar H.S.U.D., Müller-Xing R., Javed M.A. Improving the nutraceutical content of tomato (*Lycopersicon esculentum*) by advanced environmental conditions and agricultural practices. *Advancements in Life Sciences*. 2025;12(1):13-22.
2. Larkin P. Somaclonal variation: Origin and causes. In *Encyclopedia of Plant and Crop Science*; Goodman, R.M., Ed.; Marcel Dekker: New York, NY, USA, 2004; pp. 1158-1161.
3. Areche F.O., Gondal A.H., Sumarriva-Bustinza L.A., Zela-Payá N.O., Sumarriva-Hustinza I.M., Oscanoa-León R.H., Calcina-Sotelo A.F., Anguilar M.C.T.T.D., Lopez E.R.A., Julcahuanga-Dominguez I.A., Flores D.D.C., Huayapa M.A.C., Donayre E.M.F., Rodriguez A.R., Cruz Z.L.D.L., Huaman C.W.T., Gamarra F.B.L. Role of biotechnology in food security: A review. *SABRAO J. Breed. Genet.* 2023;55(5):1496-1509. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.5.5>
4. Jawad Z.A., Türker M., Özdemir F.A. Effect of different plant growth regulator on *in vitro* propagation of endangered plant; yellow tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Int. J. Agric. For. Life Sci.* 2020;4(1):92-98.
5. Baye E., Matewos T., Belew D., Effect of 6-Benzyl Amino

Purine on *In Vitro* Multiplication of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Varieties using Shoot Explant. *J. Plant. Sci. Agric. Res.* 2020;4:32.

6. Baczek K., Pawełczak A., Przybył J.L., Kosakowska O., Węglarz Z. Secondary Metabolites of Various *Eleutherococcus Senticosus*/Rupr. et Maxim./Maxim) Organs Derived from Plants Obtained by Somatic Embryogenesis. In *Plant Cell and Tissue Differentiation and Secondary Metabolites: Fundamentals and Applications*; Ramawat K.G., Ekiert H.M., Goyal S., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2021; pp. 433-466. ISBN 978-3-030-30185-9.

7. Ahmed S., Wan Azizan W.A.S., Akhond M.A.Y., Juraimi A.S., Ismail S.I., Ahmed R., M Hatta M.A. Optimization of *In Vitro* Regeneration Protocol of Tomato cv. MT1 for Genetic Transformation. *Horticulturae*. 2023;9:800. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070800>

8. El-Shafey N., Hassan N., Khodary S., Badr A. Differential *In vitro* Direct Regeneration of Tomato Genotypes on Various Combinations of Growth Regulators. *Biotechnology*. 2017;16:155-164. <https://doi.org/10.3923/biotech.2017.155.164>

9. Kumar N., Vijay Anand K.G., Reddy M.P. Plant regeneration of non-toxic *Jatropha curcas*-impacts of plant growth regulators, source and type of explants. *Journal of plant biochemistry and*

- biotechnology. 2011;20:125-133.
<https://doi.org/10.1007/s13562-011-0037-6>
10. Zhu G., Ma C., Yu S., Zhang X., Jiang J., Liu X. Transcriptome Analyses Reveal the Key Regulators of Tomato Compound Leaf Development. *Horticulturae*. 2023;9:363.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9030363>
11. Djibrilla A.S.M., Abdourahimou K.N., Issa S.M., Adamou H., Abdoukadi A.M., Illyassou K.M., Raban A. Exploring the Role of Active Photosynthetic Pigments in Tomato (*Solanum lycopersicum*) Crop Growth Process. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024;30(6):289-301.
<http://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i62044>
12. Abdelkader M.M., Elsayed H.M. Biodiversity of Photosynthetic Pigments, Macronutrients Uptake and Fruit Quality of Tomato Genotypes. *Russ J Plant Physiol*. 2022;69:50.
<https://doi.org/10.1134/S1021443722030025>
13. Ritz T., Damjanovic A., Schulten K., Zhang J., Koyama Y. Efficient light harvesting through carotenoids. *Photosynth. Res*. 2000;66:125. <https://doi.org/10.1023/a:1010750332320>
14. Beatrice P., Chiatante D., Scippa G.S., Montagnoli A. Photoreceptors' Gene Expression of Arabidopsis Thaliana Grown with Biophilic LED-Sourced Lighting Systems. *PLoS ONE*. 2022;17:e0269868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269868>
15. Paradiso R., Proietti S. Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. *J. Plant Growth Regul*. 2022;41:742-780.
<https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>
16. Gupta D.S., Jatothu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnol Rep*. 2013;7:211-220.
<https://doi.org/10.1007/s11816-013-0277-0>
17. Hwang H., An S., Lee B., Chun C. Improvement of Growth and Morphology of Vegetable Seedlings with Supplemental Far-Red Enriched LED Lights in a Plant Factory. *Horticulturae*. 2020;6(4):109. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040109>
18. Akimova S., Radzhabov A., Esaulko A., Samoshenkov E., Nechiporenko I., Kazakov P., Voskoboinikov Y., Matsneva A., Zubkov A., Aisanov T. Improvement of *Ex Vitro* Growing Completion of Highbush Blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.) in Containers. *Forests*. 2022;13:1550.
<https://doi.org/10.3390/f13101550>
19. Kobori M.M.R.G., da Costa Mello S., de Freitas I.S., Silveira F.F., Alves M.C., Azevedo R.A. Supplemental Light with Different Blue and Red Ratios in the Physiology, Yield and Quality of Impatiens. *Sci. Hortic*. 2022;306:111424.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111424>
20. Poukh A.V., Kobrinets T.P., Ivanova O.S. Methodological recommendations for lighting modes for domestic plum growing at the stages of micro-propagation, *in vitro* rooting and *ex vitro* adaptation. *Fruit Growing*. 2022;34:178-187.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae11020149>
21. Zushi K., Suehara C., Shirai M. Effect of light intensity and wavelengths on ascorbic acid content and the antioxidant system in tomato fruit grown *in vitro*. *Scientia Horticulturae*. 2020;274:109673. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109673>
22. Tarakanov I.G., Kosobryukhov A.A., Tovstyko D.A., Anisimov A.A., Shulgina A.A., Sleptsov N.N., Kirakosyan R.N. Effects of light spectral quality on the micropropagated raspberry plants during *ex vitro* adaptation. *Plants*. 2021;10(10):2071.
<https://doi.org/10.3390/plants10102071>
23. Nacheva L., Dimitrova N., Koleva-Valkova L., Tarakanov I., Vassilev A. Effect of LED lighting on the growth of raspberry (*Rubus idaeus* L.) plants *in vitro*. *Agric. Sci*. 2021;13:126-140.
<https://doi.org/10.22620/agricsci.2021.29.015>
24. Mitrofanova I.V. Fundamentals of creating an *in vitro* gene bank of species, varieties, and forms of ornamental, aromatic, and fruit crops. Simferopol: IT "ARIAL", 2018. 260 p. (in Russ.)
<https://doi.org/10.32514/978-5-9071118-87-4>
<https://www.elibrary.ru/yqbbfz>
25. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*. Academic Press, 1987;148:350-382.
26. Tretyakov N. Practical training in plant physiology. Quantitative determination of pigments. Moscow: Agropromizdat, 1990. Pp. 86-94. (in Russ.)
27. Sarshayeva M., Tashkenbayeva A., Bilibayeva A., Irsaliyeva Zh., Ustemirova A.M. Technological aspects of *in vitro* propagation of organic strawberries. *SABRAO J. Breed. Genet*. 2024;56(1):246-257.
<http://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.22>
28. Panfilova O., Ryago N., Ondrasek G., Knyazeva I. V., Kahramanoğlu I., Vershinina O., Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S. Optimizing Microclonal Propagation of Red Currant Cultivars: The Role of Nutrient Media, Sterilizers, and LED Lighting in Plant Adaptation. *Horticulturae*. 2025;11(2):149.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae11020149>
29. Salgado Pirata M., Correia S., Canhoto J. *Ex Vitro* Simultaneous Acclimatization and Rooting of *In Vitro* Propagated Tamarillo Plants (*Solanum betaceum* Cav.): Effect of the Substrate and Mineral Nutrition. *Agronomy*. 2022;12:1082.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12051082>

Об авторах:

Инна Валерьевна Князева – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник,

<https://orcid.org/0000-0002-1065-1814>, SPIN-код: 4850-8967, автор для переписки, knyazewa.inna@yandex.ru

Екатерина Васильевна Журавлева – доктор с.-х. наук, профессор РАН,

<https://orcid.org/0000-0002-3253-0730>, SPIN-код: 5827-7319, zhuravla@yandex.ru

Елена Алексеевна Домблидес – кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией репродуктивной биотехнологии

в селекции сельскохозяйственных растений,

<https://orcid.org/0000-0002-2695-190X>, SPIN-код: 4733-7540, edomblides@mail.ru

Яна Петровна Туксер – младший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики и цитологии,

<https://orcid.org/0000-0003-2305-1575>,

SPIN-код: 8520-1999, yana-tukuser@mail.ru

About the Authors:

Inna V. Knyazeva – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher,

<https://orcid.org/0000-0002-1065-1814>, SPIN-code: 4850-8967,

Corresponding Author, knyazewa.inna@yandex.ru

Ekaterina V. Zhuravleva – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences,

<https://orcid.org/0000-0002-3253-0730>, SPIN-code: 5827-7319, zhuravla@yandex.ru

Elena A. Domblides – Cand. Sci. (Agriculture),

Head of Laboratory of Reproductive Biotechnology in Crop Breeding,

<https://orcid.org/0000-0002-2695-190X>, SPIN-code: 4733-7540, edomblides@mail.ru

Yana P. Tukuser – Junior Researcher,

Laboratory of Molecular Genetics and Cytology,

<https://orcid.org/0000-0003-2305-1575>,

SPIN-code: 8520-1999, yana-tukuser@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-22-29
УДК: 635.63:631.531.03:631.524.85

С.Н. Белов*, И.Б. Коротцева,
В.Ф. Пивоваров

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

*Автор для переписки:
belov.ser.nik@gmail.com

Финансирование. Исследование проведено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2025-577.

Вклад авторов: Белов С.Н.: методология, визуализация, проведение исследований, верификация данных, формальный анализ, создание черновика рукописи. Коротцева И.Б.: руководство исследованием, ресурсы, администрирование проекта, создание рукописи и ее редактирование. Пивоваров В.Ф.: руководство исследованием.

Конфликт интересов. Пивоваров В.Ф. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2008 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Для цитирования: Белов С.Н., Коротцева И.Б., Пивоваров В.Ф. Повышение устойчивости рассады огурца к полеганию. *Овощи России*. 2026;(1):22-29.
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-22-29

Поступила в редакцию: 22.10.2025
Принята к печати: 18.12.2025
Опубликована: 16.03.2026

Sergey N. Belov*, Irina B. Korotseva,
Victor F. Pivovarov

FSBSI Federal Scientific Vegetable Center
Selectionaya St/ 14, VNISSOK, Odintsovo region,
Moscow oblast, 143072, Russia

*Corresponding Author:
belov.ser.nik@gmail.com

Funding. This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant No. 075-15-2025-577).

Authors' Contributions. Belov S.N.: methodology, visualization, investigation, validation, formal analysis, writing – original draft. Korotseva I.B.: supervision, resources, project administration, writing – review & editing. Pivovarov V.F.: supervision.

Conflict of interest. Pivovarov V.F. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2008, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citations: Belov S.N., Korotseva I.B., Pivovarov V.F. Improving the resistance of cucumber seedlings to lodging. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):22-29. (In Russ.)
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-22-29

Received: 22.10.2025
Accepted for publication: 18.12.2025
Published: 16.03.2026

Повышение устойчивости рассады огурца к полеганию

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цель исследования – комплексное изучение длины подсемядольного колена селекционных линий огурца как морфологического признака, влияющего на устойчивость рассады огурца к полеганию, а также оценка стабильности этого признака в зависимости от сроков выращивания.

Материал и методика. Исследования проведены в 2019-2021 и 2025 гг. в рассадном отделении зимней теплицы ФГБНУ ФНЦО (Московская область) на селекционных линиях огурца (*Cucumis sativus* L.); ежегодно изучали около 30 линий, при этом учёты длины подсемядольного колена выполняли на наиболее контрастных формах. Посев осуществляли в марте и мае; рассаду выращивали в горшочках объёмом 0,7 л без досвечивания. Длину подсемядольного колена измеряли в фазу семядолей и первого настоящего листа на 10-16 растениях. Данные обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием критериев LSD Фишера и Дункана при $p \leq 0,05$.

Результаты. Анализ длины подсемядольного колена, междоузлий и высоты растений показал, что данные признаки преимущественно генотипически детерминированы (72% вклада). При этом влияние года и взаимодействия «линия × год» оказалось статистически значимым, но менее выраженным. Сопоставимые условия освещённости в 2021 и 2025 годах позволили рассматривать выявленные различия по годам, изучаемых признаков, как результат наследственной изменчивости. Сравнение по критерию Дункана позволило разделить изученные линии, по длине гипокотыля, на три укрупнённые группы. В группу с коротким гипокотилем вошли линии, длина подсемядольного колена у которых составляла 3,8-5,4 см; со средним гипокотилем – 6,1-7,6 см; с длинным гипокотилем – 6,2-8,8 см. Линии с коротким подсемядольным коленом зачастую характеризовались более высоким коэффициентом вариации этого признака по сравнению с образцами, отличающимися более длинным гипокотилем. Это указывает на возможность отбора по длине подсемядольного колена. Особый интерес для селекции представляет линия Ур., отличающаяся не только коротким подсемядольным коленом, но и более низким коэффициентом вариации этого признака по сравнению с другими образцами с коротким гипокотилем.

Заключение. Проведённый корреляционный анализ подтвердил, что длина подсемядольного колена тесно связана с длиной междоузлий ($r=0,76$), что отражает их сопряжённое развитие, однако её влияние на высоту растений выражено очень слабо ($r=0,15$). Это даёт возможность вести селекцию на устойчивость рассады к полеганию различных по высоте линий. Выделены линии с коротким подсемядольным коленом, обуславливающим устойчивость рассады к полеганию, которые могут быть использованы для селекции среднерослых (Ур., Гар.) и высокорослых (Мер., Мон.) гибридов огурца партенокарпического типа для весенних теплиц и временных укрытий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

огурец (*Cucumis sativus* L.); рассада; длина подсемядольного колена; генетическая изменчивость; устойчивость к полеганию



Improving the resistance of cucumber seedlings to lodging

ABSTRACT

Relevance. The aim of the study was a comprehensive evaluation of hypocotyl length in breeding lines of cucumber as a morphological trait affecting seedling resistance to lodging, as well as an assessment of the stability of this trait depending on growing dates.

Materials and Methods. The studies were carried out in 2019-2021 and 2025 in the seedling compartment of a winter greenhouse at the FSBSI Federal Scientific Vegetable Center (Moscow Region, Russia) using breeding lines of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Each year, about 30 lines were evaluated, and hypocotyl length was recorded for the most contrasting genotypes. Sowing was performed in March and May; seedlings were grown in 0,7 L pots without supplementary lighting. Hypocotyl length was measured at the cotyledon and first true leaf stages on 10-16 plants per accession. Data were analyzed using one-way ANOVA with Fisher's LSD and Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Results. Analysis of hypocotyl length, internode length, and plant height showed that these traits were predominantly genotype-determined (72% contribution). The effects of year and the "line × year" interaction were statistically significant but less pronounced. Comparable light conditions in 2021 and 2025 allowed year-to-year differences in the studied traits to be interpreted mainly as a result of genetic variability. According to Duncan's test, the lines were grouped into three classes based on hypocotyl length: short (3,8-5,4 cm), medium (6,1-7,6 cm), and long (6,2-8,8 cm). Lines with a short hypocotyl generally showed a higher coefficient of variation than those with a longer hypocotyl, indicating the feasibility of selection for this trait. Of particular breeding interest was line Ur., which combined a short hypocotyl with a lower coefficient of variation compared with other short-hypocotyl lines.

Conclusion. Correlation analysis revealed a strong relationship between hypocotyl length and internode length ($r=0,76$), reflecting their coordinated development, while the effect of hypocotyl length on plant height was weak ($r=0,15$). This allows breeding for seedling lodging resistance in lines differing in plant height. Lines with a short hypocotyl conferring increased lodging resistance were identified and can be used in breeding medium-height (Ur., Gar.) and tall (Mer., Mon.) parthenocarpic cucumber hybrids for spring greenhouses and temporary shelters.

KEYWORDS:

cucumber (*Cucumis sativus* L.); seedlings; hypocotyl length; genetic variability; lodging resistance

Введение

Огурец – одна из ведущих овощных культур, возделываемых в открытом и защищённом грунте. В 2023 году на территории России было собрано 13,8 млн т овощей, не считая картофеля, всеми типами хозяйств, включая личные подсобные. Самыми популярными овощными культурами оказались огурцы и томаты: их совокупный валовой сбор составил 4,8 млн т, или почти 35 % в общем овощном урожае. «Фактически каждый третий килограмм в общей овощной корзине россиян – это огурец или томат». Почти половина этого объема выращена в условиях защищенного грунта населением и товарными производителями (всего 2,1 млн т), что вполне понятно, принимая во внимание климатические особенности большинства регионов России [1].

Общая площадь эксплуатируемых зимних теплиц в России в 2021 году составляла 3298 га, весенних теплиц – 1017 га, парников и укрытий – 56 га. Явным лидером среди федеральных округов по валовому сбору овощей в защищенном грунте является Центральный федеральный округ (35%) [2].

Огурец выращивается через рассаду не только для зимних и весенних теплиц, но и для временных пленочных укрытий, открытого грунта. Большинство садоводов-огородников Нечерноземной зоны РФ выращивают огурец через рассаду. Выращивание огуречной рассады позволяет не только экономить площадь, электроэнергию и трудовые ресурсы, но и ускорить плодоношение. Качество рассады при этом приобретает особое значение, так как именно от него зависит приживаемость, здоровье растений и конечная урожайность [3, 4].

Однако одной из серьёзных проблем при выращивании рассады огурца является полегание – потеря вертикального положения молодых растений, что зачастую связано с чрезмерным удлинением подсемядольного колена (гипокотыля). Этот участок стебля, расположенный между корневой шейкой и семядолями, особенно чувствителен к условиям выращивания. При недостаточном освещении, высокой температуре и влажности гипокотиль вытягивается, и рассада полегает. Длинное подсемядольное колено негативно влияет на

транспортировку, посадку и приживаемость растений, в итоге снижая продуктивность тепличного огурца. Рост и развитие гипокотыля являются одним из ключевых признаков морфогенеза рассады огурца. Особое внимание привлекают образцы с укороченным крепким гипокотилем (рис. 1).

При изучении данного признака у мутанта сорта Lemon в поколении F₂, полученного после обработки семян нейтронным облучением, была обнаружена линия Long hypocotyl (lh), которая характеризуется удлинённым гипокотилем и междоузлиями [5, 6]. Данные о наследовании длинного гипокотыля в популяции от скрещивания выделенного мутанта с линией MSU713-5 показали, что за данный фенотип отвечает один рецессивный ген, которому было присвоено обозначение lh.

Из полудикого образца Xishuangbanna SWCC8 (*C. sativus* var. xishuangbannanesis) была выделена линия Short hypocotyl (sh1) с укороченным гипокотилем, по сравнению с обычными культивируемыми огурцами. Ген sh1 локализован на хромосоме 3 и кодирует хроматин-ремоделирующий фактор, подобный человеческому SMARCA3 [7, 8], что подчёркивает важную роль регуляции структуры хроматина в контроле роста гипокотыля. Кроме того, известен фенотип Delayedgrowth (dl), который характеризуется укороченным гипокотилем и нескольких первых междоузлий, замедленной скоростью роста и слабой сцепленностью с геном de [9]. Аллель dl была выявлена в линиях DwarfMarketmore и DwarfTablegreen, которые унаследовали карликовость от линии Hardin'sPG57. Этот фенотип демонстрирует важность регуляции темпов роста при формировании архитектуры растения и может использоваться в селекции компактных сортов для интенсивного выращивания [10].

Недавно был идентифицирован ген CsHY2, связанный с линией elh1, характеризующейся длинным гипокотилем и удлинёнными междоузлиями. CsHY2 кодирует синтазу РФВ (фитоцианобилин), участвующую в биосинтезе фитохромного хромофора, и его мутация приводит к дефициту фитохромов, удлинению клеток гипокотыля и типичному фенотипу с желтовато-зелёной окраской листьев. Этот результат подтверждает консервативную



Рис. 1. Рассада огурца (*Cucumis sativus* L.) L.), различающаяся по длине гипокотыля. А – короткий гипокотиль, В – длинный гипокотиль. ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Одинцовский округ, Московская область, авторское фото
Fig. 1. Cucumber seedlings (*Cucumis sativus* L.) differing in hypocotyl length. A – short hypocotyl; B – long hypocotyl. Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Vegetable Center”, Odintsovo district, Moscow region, author’s photo

роль CsHY2 в регуляции фотоморфогенеза у огурца, аналогично другим видам растений [11].

Удлинение гипокотыля у рассады чувствительно к спектру света и регулируется фоточувствительными белками фитохромами (PHYs) и криптохромами (CRYs). Красный свет подавляет, а синий стимулирует рост гипокотыля, влияя на морфологию и сухую массу сеянцев. Наибольшее подавление роста наблюдается при повышенной доле красного света (2R1B), сопровождаемая изменением экспрессии генов фотосенсоров и гормонов (ГА, БР). Эти данные указывают на взаимодействие световых сигналов с гормональными путями через транскрипционные факторы, такие как PIF4. Модель взаимодействия света, фоточувствительных белков и гормонов объясняет, почему дополнительное красное освещение эффективно формирует короткую и крепкую рассаду, что важно для оптимизации условий выращивания в теплицах [12].

При воздействии высокой температуры (35 °С) у сеянцев огурца (*Cucumis sativus* L.) наблюдается резкое вытягивание подсемядольного колена [11, 13]. Рост подсемядольного колена в основном обусловлен продольным удлинением клеток при сохранении их поперечного размера, что сопровождается изменениями в структуре клеточной стенки [14]. Высокая температура вызывает повышение экспрессии гена CsPIF4, который, вероятно, интегрирует сигналы тепла и гормонов роста, таких как ауксин, способствуя удлинению подсемядольного колена [15].

Рост гипокотыля интактного этилированного проростка огурца продолжается в течение 11 суток с момента замачивания семян и достигает длины 116 мм. Первые трое суток гипокотыль огурца растет по всей длине, следующие восемь суток растет только его апикальный участок [16].

Оптимальная рассада огурца должна быть крепкой и коренастой, с длиной подсемядольного колена 4-6 см, что обеспечивает хорошее приживание, удобство транспортировки и высадки [17, 18]. Литературные данные о селекционной работе по этому признаку ограничены, однако контроль и оптимизация длины подсемядольного колена являются важной задачей селекции и технологии выращивания, направленной на повышение качества посадочного материала

Целью настоящего исследования стало комплексное изучение длины подсемядольного колена селекционных линий огурца, как морфологического признака, влияющего на устойчивость рассады огурца к полеганию, а также оценка стабильности этого признака в зависимости от сроков выращивания.

Предполагается использование выделенных по этому признаку линий в селекции гетерозисных гибридов огурца партенокарпического типа для весенних теплиц и временных плёночных сооружений.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2019, 2020, 2021 и 2025 годах в условиях рассадного отделения зимней теплицы типа «Ришель» на базе головного учреждения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) в Одинцовский районе Московской области. В качестве объектов использовали селекционный материал огурца (*Cucumis sativus* L.) лаборатории селекции и семеноводства тыквенных культур ФГБНУ ФНЦО. Ежегодно изучали около 30 выровненных по комплексу хозяйственно полезных признаков линий. Учёты длины подсемядольного колена проводили на наиболее контрастных по этому признаку формах.

Посев осуществляли 15 марта в 2019 и 2020 годах и 5 мая – в 2021 и 2025 годах. Рассаду выращивали на стеллажах в пластиковых горшочках объёмом 0,7 л, заполненных торфосмесью. Искусственное досвечивание не применяли. В фазу первого настоящего листа проводили расстановку растений с целью улучшения освещённости. Полив осуществляли по минимальной схеме с регулярным подсушиванием субстрата. Один раз в две недели проводили подкормку растений.

Измерение длины подсемядольного колена проводили в фазу развернутых семядолей и первого настоящего листа. Для учёта использовали выборку из 10-16 растений на каждый образец.

В период проведения опыта по изучению полегания рассады огурца естественная освещённость оценивалась по 4-х балльной шкале: 1 балл – пасмурно (освещённость менее 6000 лк), 2 – облачно (6000–20000 лк), 3 – малооблачно (20000–70000 лк), 4 – ясно (свыше 70000 лк) [19].

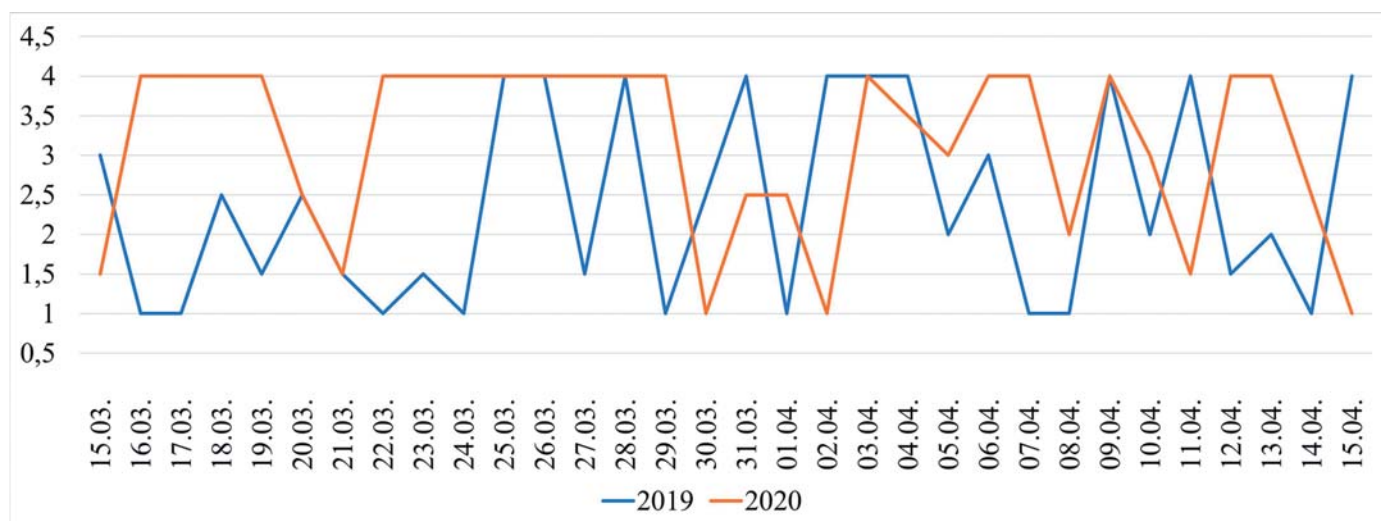


Рис. 2. Естественная освещённость 2019 и 2020 гг. (15.03-15.04)
Fig. 2. Natural light conditions in 2019 and 2020 (15.03-15.04)

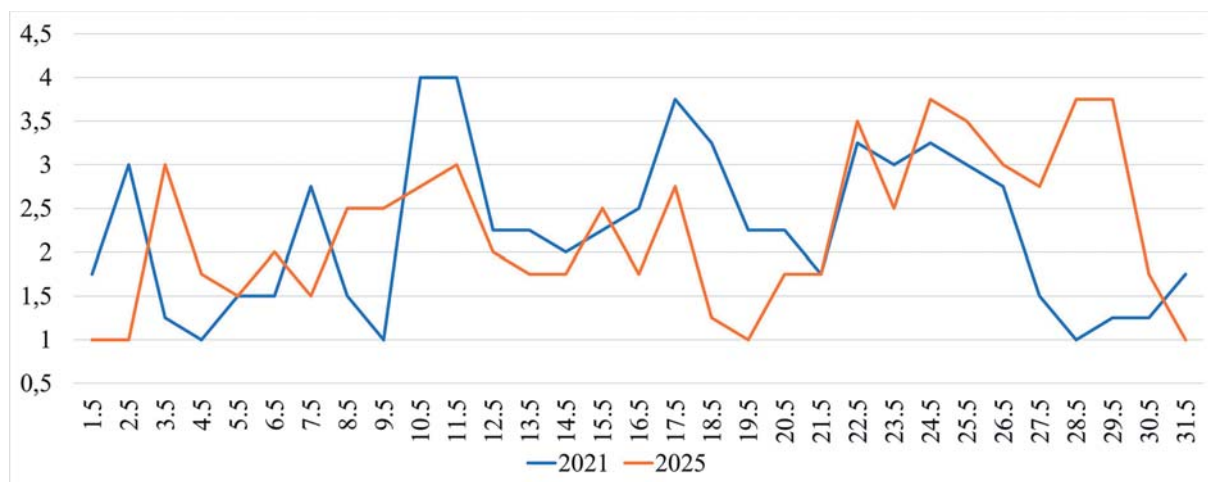


Рис. 3. Естественная освещенность в 2021 и 2025 годах (1.5-31.5)
Fig. 3. Natural light conditions in 2021 and 2025 (1.5-31.5)

Анализ динамики естественной освещенности в 2019 и 2020 годах в период с 15 марта по 15 апреля показал, что в 2019 году среднее значение составило 2,38 балла, при высокой вариабельности ($\sigma=1,25$), что свидетельствует о значительных колебаниях интенсивности света в течение месяца. В 2020 году средний уровень освещенности был существенно выше и составил 3,16 балла при более низкой вариабельности ($\sigma=1,11$), что отражает более стабильные и благоприятные световые условия для роста и развития растений (рис. 2).

В мае 2021 и 2025 года средний уровень освещенности был сопоставимым и составил 2,25 и 2,26 балла соответственно, что указывает на «облачно»- «малооблачно». Минимальные значения в оба года составляли 1 балл (пасмурно), при этом максимальная освещенность в 2021 году достигала 4 балла (ясно), тогда как в 2025 году – 3,75 балла. Вариабельность показателей была сопоставимой ($\sigma = 0,90$ и $0,87$), что указывает на сходные условия светового режима в разные годы. Поскольку освещенность является одним из ключевых факторов, определяющих морфогенез и устойчивость рассады к полеганию, полученные результаты позволяют рассматривать условия освещенности как фоновые и не искажающие сравнительный анализ изучаемого признака (рис. 3).

Для анализа данных использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с целью выявления статистически значимых различий между селекционными линиями по длине гипокотыля и высоте растения. Предпосылками для применения ANOVA являлись проверка нормальности распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка и однородности дисперсий, оцененной тестом Левена.

При обнаружении значимых различий на уровне значимости $p \leq 0,05$ для сравнения средних значений применяли критерии наименьшей значимой разницы (LSD) Фишера и множественных диапазонов Дункана (MRT). Значения, помеченные одинаковыми буквами, статистически не отличались ($p \leq 0,05$).

Доля влияния факторов рассчитывалась как отношение суммы квадратов (SS) каждого фактора к общей сумме квадратов (общей SS).

Обработку экспериментальных данных выполняли с использованием общепринятых математико-статистических методов с применением пакета прикладных программ Microsoft Excel 2016 для Windows 10 и Statistica 7.0.

Результаты

Длина подсемядольного колена огурца существенно различалась в зависимости от условий выращивания. В условиях марта (2019–2020 годы) среднее значение составило 4,8 см, тогда как в мае (2021, 2025 годы) этот показатель увеличился до 6,79 см, что соответствует приросту на 1,99 см или 41,5%. Наибольшие значения в оба периода отмечены у линий Барс. (6,60 см и 9,97 см) и Трис. (6,90 см и 9,08 см), что свидетельствует о выраженной склонности к удлинению подсемядольного колена. Минимальные показатели зафиксированы у Хас. (3,00 см и 6,05 см) и Гар. (3,15 см и 5,21 см), однако и у этих образцов наблюдались существенные различия в зависимости от срока выращивания. В целом все изученные линии продемонстрировали увеличение длины подсемядольного колена при выращивании в мае, при этом наибольший прирост отмечен у Кар. (от 4,00 до 7,41 см), а минимальный – у Ур. (от 3,90 до 4,36 см). Различия, по этому признаку, при выращивании рассады в марте и мае, оказались статистически достоверными ($t=-7,48$; $p < 0,001$), что указывает на существенное влияние погодных условий на формирование подсемядольного колена огурца (рис. 4).

Согласно результатам дисперсионного анализа, наибольший вклад в формирование признака вносила «линия (генотип)» (72,08%), тогда как доля фактора «год» и взаимодействия «линия × год» составили по 9,90%. Доля случайных факторов была незначительной (7,40%), что подтверждает надёжность полученных данных. В 2021 году диапазон варьирования этого признака составлял 3,88–8,79 см, в 2025 году – 4,84–8,50 см. Среднее значение по выборке увеличилось с 5,73 до 6,69 см ($\approx +16,8\%$). Большинство линий показали тенденцию к увеличению длины подсемядольного колена на следующий год исследований. Наибольший прирост отмечен у Кар. (+2,18 см) и Мон. (+2,02 см), тогда как у Пр. наблюдалось достоверное снижение (с 8,79 до 7,69 см) (табл. 1).

Сравнение по критерию Дункана позволило разделить изученные линии, по длине гипокотыля, на три укрупнённые группы:

- Короткие (e–f): Гар., Мер., Ур.. Эти линии стабильно формировали минимальные значения признака и представляют практический интерес как источник ком-

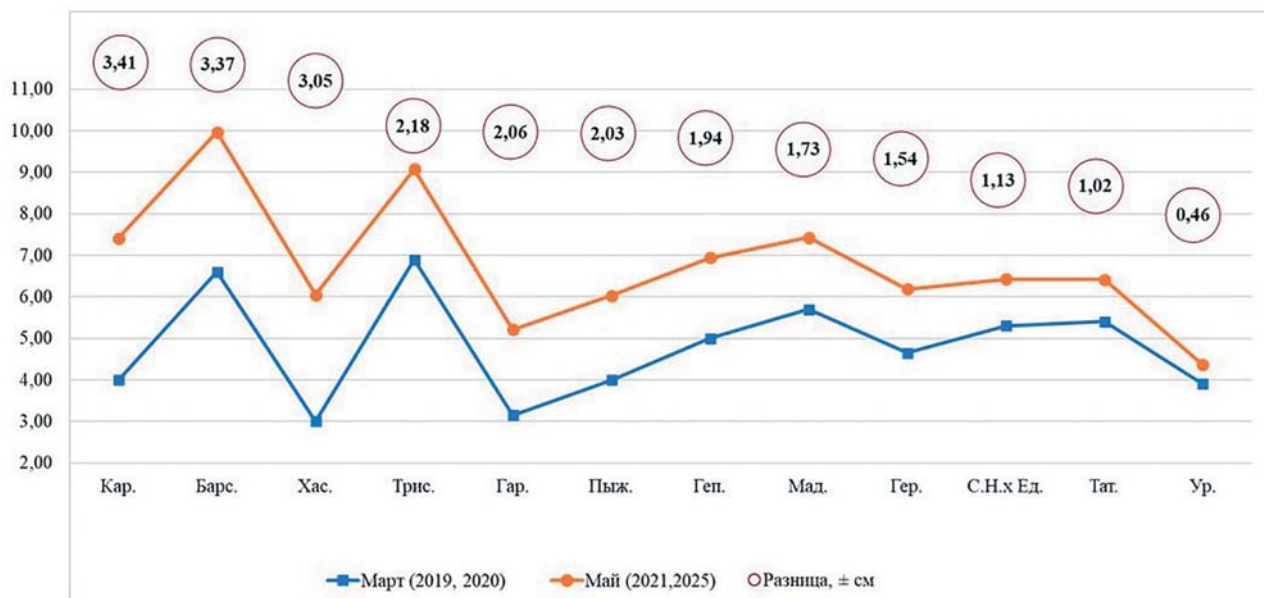


Рис. 4. Длина подсемядольного колена рассады огурца, при посеве в различные сроки, см
 Fig. 4. Hypocotyl length of cucumber seedlings sown at different dates, cm

пактной рассады. Особенно выделяется Ур., который в оба года оставался в нижней статистической группе.

• Средние (с–d): Тат., Мон.. Длина подсемядольного колена у этих линий находилась на промежуточном уровне, при этом Мон. показала выраженный рост в 2025 году.

• Длинные (а–b): Пр., Кар., Мад., Геп.. Эти образцы характеризовались наиболее развитым подсемядольным коленом, однако чрезмерная его длина может рассматриваться как нежелательный признак в производственных условиях.

Сопоставление полученных результатов с метеорологическими данными показывает, что в мае 2021 и 2025 годов условия освещённости были схожими. Вариабельность освещённости была сопоставимой ($\sigma=0,90$ и $0,87$), что указывает на одинаковый световой режим в годы исследований. Поскольку освещённость является одним из ключевых факторов, определяющих морфогенез и устойчивость рассады к полеганию, её близкие значения в разные годы позволяют рассматривать условия среды как фоновые и не искажающие сравнительный анализ изучаемого признака (рис. 3).

Таблица 1. Длина подсемядольного колена рассады огурца, см
 Table 1. Hypocotyl length of cucumber seedlings, cm

Линия (Фактор А)	Год (Фактор В)		Двухфакторный дисперсионный анализ: факторы/доля влияния фактора, %
	2021	2025	
Кар.	6,32±0,12 A/bc	8,50 ±0,13 B/a	фактор А* /72,08, фактор В* /9,90, фактор А фактор В* /9,90, случайные факторы/ 7,40
Мад.	6,58±0,12 A/b	8,28 ±0,09 B/a	
Пр.	8,79 ± 0,14A/a	7,69±0,16 B/b	
Геп.	6,25±0,24 A/bc	7,62±0,17 B/b	
Тат.	6,06±0,14 A/c	6,73±0,13 B/c	
Мон.	3,89±0,13 A/e	5,91±0,09 B/d	
Гар.	5,04±0,04 A/d	5,38±0,18 B/e	
Мер.	4,74±0,20 A/d	5,28 ± 0,10 B/e	
Ур.	3,88 ±0,07 A/e	4,84±0,07 B/f	

Примечание: представленные значения являются средними. Для каждого года исследований использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), а средние значения сравнивались с использованием критерия множественных диапазонов Дункана (MRT). Прописными буквами показано сравнение между годами в пределах одной линии, строчными буквами, и в пределах одного года между линиями. Значения, отмеченные одинаковой буквой, не имели достоверных различий при $p_{0,05}$.

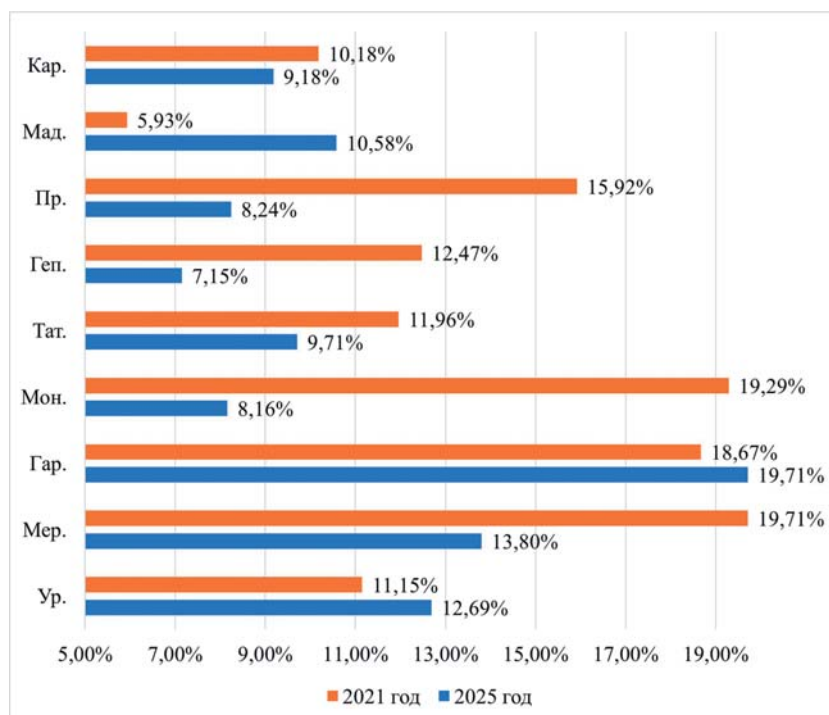


Рис. 5. Коэффициент вариации (CV) длины подсемядольного колена
 Fig. 5. Coefficient of variation of hypocotyl length

Коэффициент вариации (CV), показывающий выравненность признака «длина гипокотыля», в 2021 году у различных линий составлял от 6 до 19,7%, а в 2025 году – от 7 до 18,7%. В 2021 году наибольшая изменчивость (18,7-19,7%) наблюдалась у Мер., Гар. и Мон., что указывает на относительную пестроту по этому признаку. В 2025 году у первых двух линий коэффициент вариации оставался по-прежнему высоким, а у третьей – Мон. – уменьшился более чем в 2 раза. Наиболее выравненными, по длине гипокотыля в оба года исследований, были: Мад., Кар., Геп., немного им уступала линия Тат.

Особое значение имеет стабильность выраженности признака по годам. Наиболее стабильными были: Кар., Гар. и Ур., коэффициент вариации длины гипокотыля, в зависимости от года исследований, изменялся не более, чем на 1-1,5%. Наиболее не стабильными, по этому признаку, в дополнение к Мон., были Мад. И Пр., коэффициент вариации длины подсемядольного колена в 2025 году у них уменьшился почти в 2 раза. (рис. 5).

В пределах одного года линии с коротким подсемядольным колена в пределах одного года линии с коротким подсемядольным коленам: Гар., Мер. характеризовались более

Таблица 2. Морфологическая характеристика селекционных линий огурца (*Cucumis sativus* L.)
 Table 2. Morphological characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) breeding lines

Линия	Длина подсемядольного колена, см	Длина междоузлий, см	Высота растений, см
Кар.	8,50 ± 0,13	9,45 ± 0,19	332,00 ± 8,5
Мад.	8,28 ± 0,09	8,49 ± 0,21	332,00 ± 11,6
Пр.	7,69 ± 0,16	7,26 ± 0,32	318 ± 4,0
Геп.	7,62 ± 0,17	8,80 ± 0,25	266,00 ± 16,7
Тат.	6,73 ± 0,13	7,87 ± 0,24	283 ± 18,0
Мон.	5,91 ± 0,09	8,38 ± 0,31	350 ± 10,0
Гар.	5,38 ± 0,18	6,52 ± 0,23	283 ± 18,0
Мер.	5,28 ± 0,10	7,5 ± 0,46	340 ± 10,0
Ур.	4,84 ± 0,07	7,97 ± 0,30	295 ± 5,0

высоким коэффициентом вариации этого признака и лишь Ур. – средним.

ом: Гар., Мер. характеризовались более высоким коэффициентом вариации этого признака и лишь Ур. – средним. Линии с более длинным гипокотилем: Кар., Мад., Геп. отличались более высокой выравненностью этого признака и лишь Пр. – средней. Это указывает на возможность эффективного отбора по длине подсемядольного колена.

Все изучаемые селекционные линии можно условно сгруппировать следующим образом: среднерослые формы (Ур., Гар., Геп., Тат.), высокорослые (Пр., Кар., Мад., Мер., Мон.), что упрощает их селекционную оценку и практическое использование (табл. 2).

Сравнительный анализ длины подсемядольного колена, междоузлий и общей высоты растений показал чёткие различия по морфотипу между образцами. Удлиненное подсемядольное колено у Пр., Кар. и Мад. сопровождалось длинными междоузлиями и высоким основным стеблем, тогда как короткое подсемядольное колено у Ур. и Гар. обеспечивало более компактную рассаду и среднюю высоту. Образцы Мер. и Мон., при коротком и среднем подсемядольном колене формировали длинный основной побег, сочетая преимущества компактной рассады и мощного роста. Линия Геп., имеющая длинный гипокотиль в фазе рассады, отличалась среднерослыми растениями. Тат. выделялась средней высотой, при средних значениях междоузлий и подсемядольного колена, демонстрируя ограниченный рост.

Проведённый корреляционный анализ подтвердил, что длина подсемядольного колена тесно связана с длиной междоузлий ($r = 0,76$), что отражает их сопряжённое развитие, однако её влияние на высоту растений выражено очень слабо ($r=0,15$). На слабую эффективность отбора по «высоте растений» в фазу семядолей указывает и Шевкунов В.Н. [20]. В то же время длина междоузлий показала среднюю положительную связь с высотой растений ($r=0,57$). Таким образом, высота растений в большей степени определяется длиной междоузлий, чем подсемядольного колена, но не является строго определяющим фактором. Это даёт возможность вести селек-

цию на устойчивость рассады к полеганию различных по высоте линий. Следует отметить такие линии, как Мер. и Мон., представляющие интерес для селекции на сочетание компактности рассады и высокой вегетативной массы взрослых растений. Линии Ур., Гар., могут служить ценным исходным материалом в селекции среднерослых, устойчивых к полеганию в фазе рассады форм.

Заключение

Сравнение по критерию Дункана позволило разделить изученные линии, по длине гипокотыля на три укрупнённые группы. В группу с коротким гипокотилем вошли линии, длина подсемядольного колена у которых составляла 3,8-5,4 см; со средним гипокотилем – 6,1-7,6 см; с длинным гипокотилем – 6,2-8,8 см.

Линии с коротким подсемядольным коленом зачастую характеризовались более высоким коэффициентом вариации этого признака по сравнению с образцами, отличающимися более длинным гипокотилем. Это указывает на возможность отбора по длине подсемядольного колена. Однако стабильность выраженности этого признака по годам не зависела от длины гипокотыля. Особый интерес для селекции представляет линия Ур., отличающаяся не только коротким подсемядольным коленом, но и более низким коэффициентом вариации этого признака по сравнению с другими образцами с коротким гипокотилем.

Проведённый корреляционный анализ подтвердил, что длина подсемядольного колена тесно связана с длиной междоузлий ($r=0,76$), что отражает их сопряжённое развитие, однако её влияние на высоту растений выражено очень слабо ($r=0,15$). Это даёт возможность вести селекцию на устойчивость рассады к полеганию различных по высоте линии.

Выделены линии с коротким подсемядольным коленом, обуславливающим устойчивость рассады к полеганию, которые могут быть использованы для селекции среднерослых (Ур., Гар.) и высокорослых (Мер. и Мон.) гибридов огурца партенокарпического типа для весенних теплиц и временных укрытий.

• Литература

1. Российский сорт в открытом и закрытом грунте. Журнал «Агроинвестор» [Электронный ресурс]. <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/43288-rossiyskiy-sort-v-otkrytom-i-zakrytom-grunte-dolya-semyan-otechestvennoy-seleksii-ovoshche-i-kart/>. Дата обращения: 19 июня 2025.
2. Тепличные тренды. Журнал «Сельскохозяйственные вести».[Электронный ресурс]. <https://agri-news.ru/zhurnal/2022/3-2022/teplichnye-trendy/>. Дата обращения: 19 июня 2025
3. FAOSTAT. [Электронный ресурс]. <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL>. Дата обращения: 19 июня 2025.
4. Федеральная служба государственной статистики. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. <https://rosstat.gov.ru/>. Дата обращения: 19 июня 2025.
5. Robinson R., Shail J. A cucumber mutant with increased hypocotyl and internode length. *Report, Cucurbit Genetics Cooperative*. 1981;(4):19–20.
6. Koornneef M., van der Knaap B. A second long hypocotyl mutant at the 1h locus. *Cucurbit Genetics Cooperative Reports*. 1983;6:3.
7. Bo K., Ma Z., Chen J., Weng Y. Molecular mapping reveals structural

rearrangements and quantitative trait loci underlying traits with local adaptation in semi-wild Xishuangbanna cucumber (*Cucumis sativus* L. var. *xishuangbannanensis* Qi et Yuan). *Theoretical and Applied Genetics*. 2015;128(1):25–39.

<https://doi.org/10.1007/s00122-014-2410-z>

8. Bo K., Wang H., Pan Y., Behera T.K., Pandey S., Wen C., et al. Short hypocotyl1 Encodes a SMARCA3-Like Chromatin Remodeling Factor Regulating Elongation. *Plant Physiology*. 2016;172(2):1273–1292.

<https://doi.org/10.1104/pp.16.00501>

9. Miller G.A., George Jr.W.L. Inheritance of Dwarf and Determinate Growth Habits in Cucumber¹. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1979;104(1):114–117.

10. Weng Y., Wehner T.C. Cucumber Gene Catalog. 2017. 2017;40:17–54.

11. Hu L., Liu P., Jin Z., Sun J., Weng Y., Chen P., et al. A mutation in CsHY2 encoding a phytochromobilin (PФВ) synthase leads to an elongated hypocotyl 1(elh1) phenotype in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(8):2639–2652.

<https://doi.org/10.1007/s00122-021-03849-4>

12. Song J., Cao K., Hao Y., Song S., Su W., Liu H. Hypocotyl elongation is regulated by supplemental blue and red light in cucumber seedling. *Gene*. 2019;707:117–125.

<https://doi.org/10.1016/j.gene.2019.04.070>

13. Zhang K, Pan J, Chen Y, Wei Y, Du H, Sun J, et al. Mapping and identification of CsSh5.1, a gene encoding a xyloglucan galactosyltransferase required for hypocotyl elongation in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(4): 979–991. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03754-2>
14. Gao H, Song W, Severing E, Vayssières A, Huettel B, Franzen R, et al. PIF4 enhances DNA binding of CDF2 to co-regulate target gene expression and promote Arabidopsis hypocotyl cell elongation. *Nature Plants*. 2022;8(9):1082–1093. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01213-y>.
15. Nie J, Jiang Y, Lv L, Shi Y, Chen P, Zhang Q, et al. The bHLH transcription factor CsPIF4 positively regulates high temperature-induced hypocotyl elongation in cucumber. *Horticultural Plant Journal*. 2024;10(5):1187–1197. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2023.03.017>
16. Широкова Н.П. Рост и строение проростков некоторых видов растений семейств Cucurbitaceae и Fabaceae. *Проблемы Современной Науки*. 2013;(9):10–15. <https://elibrary.ru/rfnip>
17. Юрина А.В., Мамонова Л.Г., Кардашина Л.А. Тепличное овощеводство. Свердловск; 1989.
18. Портянкин А.Е. Огурец: От посева до урожая. 2010. 400 с. <https://elibrary.ru/qlalp>
19. DIN 5034-2-2025 Daylight in interiors – Part 2: Principles от 01 February 2025 – docs.cntd.ru. <https://docs.cntd.ru/document/1312982326>.
Дата обращения: 10 ноября 2025.
20. Шевкунов В.Н. Селекция пчелоопыляемых гибридов F1 огурца, устойчивых к пониженной освещенности. *Гавриш*. 2009;(2):35–37. <https://elibrary.ru/kaqjft>

• References

- Russian Variety in Open and Closed Ground. Agriinvestor Magazine [Electronic resource]. <https://www.agriinvestor.ru/markets/article/43288-rossiyskiy-sort-v-otkrytom-i-zakrytom-grunte-dolya-semyan-otechestvennoy-selektzii-v-ovoshche-i-kart/>. Accessed: June 19, 2025.
- Greenhouse Trends. Agricultural News Magazine. [Electronic resource]. <https://agri-news.ru/zurnal/2022/3-2022/teplichnye-trendy/>. Accessed: June 19, 2025
- FAOSTAT. [Electronic resource]. <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL>. Accessed June 19, 2025.
- Federal State Statistics Service. [Electronic resource]. <https://rosstat.gov.ru/>. Accessed June 19, 2025.
- Robinson R., Shail J. A cucumber mutant with increased hypocotyl and internode length. *Report, Cucurbit Genetics Cooperative*. 1981;(4):19–20.
- Koornneef M., van der Knaap B. A second long hypocotyl mutant at the 1h locus. *Cucurbit Genetics Cooperative Reports*. 1983;6:3.
- Bo K., Ma Z., Chen J., Weng Y. Molecular mapping reveals structural rearrangements and quantitative trait loci underlying traits with local

- adaptation in semi-wild Xishuangbanna cucumber (*Cucumis sativus* L. var. *xishuangbannanensis* Qi et Yuan). *Theoretical and Applied Genetics*. 2015;128(1):25–39. <https://doi.org/10.1007/s00122-014-2410-z>
8. Bo K., Wang H., Pan Y., Behera T.K., Pandey S., Wen C., et al. Short hypocotyl1 Encodes a SMARCA3-Like Chromatin Remodeling Factor Regulating Elongation. *Plant Physiology*. 2016;172(2):1273–1292. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00501>
9. Miller G.A., George Jr.W.L. Inheritance of Dwarf and Determinate Growth Habits in Cucumber. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1979;104(1):114–117.
10. Weng Y., Wehner T.C. Cucumber Gene Catalog. 2017;40:17–54.
11. Hu L., Liu P., Jin Z., Sun J., Weng Y., Chen P., et al. A mutation in CsHY2 encoding a phytochromobilin (PФВ) synthase leads to an elongated hypocotyl 1(elh1) phenotype in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(8):2639–2652. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03849-4>
12. Song J., Cao K., Hao Y., Song S., Su W., Liu H. Hypocotyl elongation is regulated by supplemental blue and red light in cucumber seedling. *Gene*. 2019;707:117–125. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2019.04.070>
13. Zhang K, Pan J, Chen Y, Wei Y, Du H, Sun J, et al. Mapping and identification of CsSh5.1, a gene encoding a xyloglucan galactosyltransferase required for hypocotyl elongation in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(4): 979–991. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03754-2>
14. Gao H, Song W, Severing E, Vayssières A, Huettel B, Franzen R, et al. PIF4 enhances DNA binding of CDF2 to co-regulate target gene expression and promote Arabidopsis hypocotyl cell elongation. *Nature Plants*. 2022;8(9):1082–1093. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01213-y>
15. Nie J, Jiang Y, Lv L, Shi Y, Chen P, Zhang Q, et al. The bHLH transcription factor CsPIF4 positively regulates high temperature-induced hypocotyl elongation in cucumber. *Horticultural Plant Journal*. 2024;10(5):1187–1197. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2023.03.017>
16. Shirokova N.P. Growth and structure of seedlings of some plant species of the Cucurbitaceae, Fabaceae family. *Problems of Modern Science*. 2013;(9):10–15. <https://elibrary.ru/rfnip> (In Russ.)
17. Yurina A.V., Mamonova L.G., Kardashina L.A. Greenhouse Vegetable Production. Sverdlovsk; 1989. (In Russ.)
18. Portyankin A.E. Cucumber: From sowing to harvest. 2010. 400 p. <https://elibrary.ru/qlalp> (In Russ.)
19. DIN 5034-2-2025 Daylight in interiors – Part 2: Principles 01 February 2025 - docs.cntd.ru. <https://docs.cntd.ru/document/1312982326>
Accessed: 10 November 2025.
20. Shevkunov V.N. Selection of bee-pollinated F₁ cucumber hybrids resistant to low light. *Gavrish*. 2009;(2):35–37. <https://elibrary.ru/kaqjft> (In Russ.)

Об авторах:

Сергей Николаевич Белов – кандидат с.-х. наук, младший научный сотрудник лаб. репродуктивной биотехнологии в селекции сельскохозяйственных растений, <https://orcid.org/0000-0002-4387-9153>, SPIN-код: 2054-6579, автор для переписки, belov.ser.nik@gmail.com

Ирина Борисовна Коротцева – кандидат с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства тыквенных культур, <https://orcid.org/0000-0001-5108-3289>, SPIN-код: 2400-3150, korottseva@mail.ru

Виктор Федорович Пивоваров – доктор с.-х. наук, академик РАН, научный руководитель, <https://orcid.org/0000-0001-9522-8072>, pivovarov@vniissok.ru

About the Authors:

Sergey N. Belov – Cand. Sci. (Agriculture), Junior Researcher of Laboratory of Reproductive Biotechnology in Crop Breeding, <https://orcid.org/0000-0002-4387-9153>, SPIN-code: 2054-6579, Correspondence Author, belov.ser.nik@gmail.com

Irina B. Korottseva – Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory of Selection and Seed Production of Pumpkin Crops, <https://orcid.org/0000-0001-5108-3289>, SPIN-code: 2400-3150, korottseva@mail.ru

Victor F. Pivovarov – Dr. Sci. (Agriculture), Full Member of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, <https://orcid.org/0000-0001-9522-8072>, pivovarov@vniissok.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-30-37
УДК: 635.646:631.674.6(470.31)

Н.Н. Дубенок¹, Д.А. Лебедев^{2*},
А.В. Гемонов¹

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга» (ФГБНУ ВНИИ «Радуга») 140483, Россия, Московская область, Коломенский городской округ, поселок Радужный, д. 38

*Автор для переписки:
denislebedev992@gmail.com

Вклад авторов: Дубенок Н.Н.: руководство исследованием, методология. Лебедев Д.А.: проведение исследований, создание черновика рукописи. Гемонов А.В.: концептуализация, методология, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Дубенок Н.Н. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2017 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Для цитирования: Дубенок Н.Н., Лебедев Д.А., Гемонов А.В. Эффективность использования воды и закономерности водопотребления баклажана при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья. *Овощи России*. 2026;(1):30-37. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-30-37>

Поступила в редакцию: 22.10.2025

Принята к печати: 18.11.2025

Опубликована: 16.03.2026

Nikolay N. Dubenok¹, Denis A. Lebedev^{2*},
Alexander V. Gemonov¹

¹Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 49, Timiryazevskaya street, Moscow, 127434, Russia

²Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply «Raduga» 38, Raduzhny Village, Kolomna Urban District, Moscow Region, 140483, Russia

*Corresponding Author:
denislebedev992@gmail.com

Authors' Contribution: N.N. Dubenok: supervision, methodology. D.A. Lebedev: investigation, writing – original draft. A.V. Gemonov: conceptualization, methodology, writing – review & editing.

Conflict of interest. Dubenok N.N. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2017, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citations: Dubenok N.N., Lebedev D.A., Gemonov A.V. Water Use Efficiency and Water Consumption Patterns of Eggplants under Drip Irrigation in the Central Non-Chernozem Region. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):30-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-30-37>

Received: 22.10.2025

Accepted for publication: 18.11.2025

Published: 16.03.2026

Эффективность использования воды и закономерности водопотребления баклажана при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Актуальность исследования обусловлена растущим дефицитом водных ресурсов и необходимостью интенсификации сельскохозяйственного производства, особенно в условиях Нечерноземной зоны России. Баклажан, как культура, требовательная к влаге и питанию, представляет особый интерес для изучения эффективности водопользования при капельном орошении. Целью работы являлось установление количественных закономерностей суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления (K_v) баклажана при капельном орошении в зависимости от уровня предполивной влажности почвы и минерального питания.

Материал и методика. Полевые исследования проводили на юге Московской области в 2022–2024 годах и включали изучение трех уровней предполивной влажности почвы (70%, 80% и 90% НВ) и двух уровней минерального питания (без удобрений и $N_{150}P_{90}K_{140}$). Суммарное водопотребление определялось методом водного баланса, влажность почвы контролировали тензиометрами.

Результаты. Установлено, что основными источниками влаги являются оросительная вода (35,5–65,2%) и атмосферные осадки (27,7–53,2%). Повышение ППВ с 70% до 90% НВ на удобренном фоне приводило к росту суммарного водопотребления с 3219 до 3777 м³/га. Максимальное среднесуточное водопотребление (29–39 м³/га/сут.) наблюдалось в фазы бутонизации–плодоношения. Коэффициент водопотребления изменялся от 80 до 104 м³/т. Оптимизация режимов орошения и питания оказывала значительное влияние на K_v : поддержание ППВ 90% НВ на неудобренном фоне снижало K_v на 9,8%, а внесение удобрений на фоне ППВ 70% НВ – на 10,8%. Наивысшая эффективность водопользования ($K_v=84$ м³/т) достигнута при сочетании высокого уровня влагообеспеченности (90% НВ) и интенсивного минерального питания ($N_{150}P_{90}K_{140}$). Этот агроприем обеспечил экономию воды в 17,5% по сравнению с контролем.

Заключение. Результаты доказывают целесообразность перехода на технологии возделывания баклажана, основанные на поддержании уровня предполивной влажности почвы 80–90% НВ в сочетании со сбалансированным минеральным питанием.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

баклажан, капельное орошение, суммарное водопотребление, коэффициент водопотребления, водный баланс, минеральное питание, предполивная влажность

Water Use Efficiency and Water Consumption Patterns of Eggplants under Drip Irrigation in the Central Non-Chernozem Region

ABSTRACT

Relevance. The relevance of the study is driven by the increasing water scarcity and the need to intensify agricultural production, particularly in the non-chernozem zone of Russia. Eggplant, being a crop with high demands for moisture and nutrition, presents a pertinent case for investigating water use efficiency under drip irrigation systems. The objective of this research was to quantify the patterns of total water use and the water consumption coefficient of eggplant under drip irrigation, as influenced by different levels of pre-irrigation soil moisture and mineral fertilizer application.

Methodology. Field experiments were conducted in the southern part of Moscow Oblast from 2022 to 2024. The study investigated three levels of pre-irrigation soil moisture (70%, 80%, and 90% of Field Capacity) and two levels of mineral nutrition (no fertilizer and $N_{150}P_{90}K_{140}$). Total water use was determined using the water balance method, with soil moisture monitored by tensiometers.

Results. The findings indicate that the primary sources of moisture were irrigation water (35.5–65.2%) and precipitation (27.7–53.2%). Increasing the pre-irrigation moisture threshold from 70% to 90% on a fertilized background resulted in a rise in total water consumption from 3219 to 3777 m³/ha. The peak average daily water use (29–39 m³/ha/day) was recorded during the budding-to-fruiting phases. The water consumption coefficient ranged from 80 to 104 m³/t. The optimization of irrigation and fertilization regimes: maintaining 90% on an unfertilized background reduced by 9.8%, while fertilizer application against a background of 70% reduced it by 10.8%. The highest water use efficiency (84 m³/t) was achieved by combining a high moisture supply (90%) with intensive mineral fertilization ($N_{150}P_{90}K_{140}$). This agronomic practice secured water savings of 17.5% compared to the control.

Conclusion. The results substantiate the expediency of adopting eggplant cultivation technologies based on maintaining pre-irrigation soil moisture levels at 80–90% in combination with balanced mineral nutrition.

KEYWORDS:

eggplant, drip irrigation, total water consumption, water consumption coefficient, water balance, mineral fertilization, pre-irrigation moisture

Введение

Актуальность разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий в овощеводстве обусловлена растущим дефицитом водных ресурсов и необходимостью интенсификации сельскохозяйственного производства для обеспечения продовольственной безопасности [1]. Особое значение эти вопросы приобретают в условиях Нечерноземной зоны России, в частности, на юге Московской области, где неустойчивость погодных условий в течение вегетационного периода предъявляет повышенные требования к управлению факторами роста и развития растений. В данном регионе водопотребление сельскохозяйственных культур традиционно компенсируется за счет атмосферных осадков, орошения и использования влагозапасов почвы. Однако изменение климатических паттернов, проявляющееся в неравномерном распределении осадков и увеличении частоты засушливых явлений, обуславливает критическую зависимость урожайности от регулируемого орошения [2]. Среди интенсивных возделываемых культур баклажан выделяется высокой требовательностью к влажности и питательному режиму почвы, что делает его подходящим объектом для изучения эффективности водопотребления.

Капельное орошение, являющееся одним из наиболее прогрессивных способов полива, позволяет точно дозировать подачу воды и питательных веществ непосредственно в корнеобитаемую зону, минимизируя непродуктивные потери влаги [3,4]. В связи с этим, исследование суммарного водопотребления баклажан при капельном орошении представляет значительный научный и практический интерес. Особую важность приобретает изучение не изолированного воздействия, а именно взаимодействия двух ключевых агротехнических факторов – водного и минерального режимов почвы, поскольку именно их синергия может обеспечить максимальную эффективность использования ресурсов [5]. Многочисленными исследованиями установлено, что продуктивность воды у сельскохозяйственных культур существенно зависит от уровня минерального питания, однако количественные закономерности этого взаимодействия для баклажана в специфических условиях Подмосковья остаются недостаточно изученными.

В наших исследованиях 2022-2024 годов был проведен анализ водного баланса, динамики среднесуточного водопотребления по фазам развития растения и, что наиболее важно, коэффициента водопотребления (K_v), что позволяет дать комплексную оценку эффективности различных сочетаний режимов орошения и применения минеральных удобрений. Предполагается, что поддержание предполивной влажности почвы на более высоком уровне (80-90% НВ) в сочетании с применением минеральных удобрений будет способствовать не только росту урожайности, но и значительному повышению эффективности использования водных ресурсов. Таким образом, цель настоящего исследования заключалась в установлении количественных закономерностей формирования суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления баклажана при капельном орошении в зависимости от уровня влажности почвы и минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья. Полученные результаты призваны стать научной основой для разработки высокоэффективных, водо- и ресурсосберегающих технологий возделывания данной культуры, обеспечивающих получение стабильных и высоких урожаев при минимизации затрат оросительной воды.

Материалы и методы

Экспериментальную работу осуществляли в период с 2022 по 2024 годы в хозяйстве ООО «Сергиевское», находящемся в Коломенском районе Подмосковья, приблизительно в 10 километрах от города Коломны. Установка системы капельного полива и все необходимые подготовительные мероприятия были проведены в апреле-мае [6].

Основной задачей исследований была оценка различных схем орошения и внесения минеральных удобрений на рост, развитие и урожайность баклажана, выращиваемого под пленочными укрытиями. Исходное предположение базировалось на понимании биологии данной культуры и её отклика на совокупность факторов внешней среды, с особым вниманием к взаимосвязи водного и питательного режимов для усовершенствования агротехнологии.

Опыты проводили по плану, учитывающему два фактора. Фактор А представлял собой режим увлажнения грунта, а фактор В – систему минерального питания. Программа экспериментов состояла из следующих вариантов:

- А1 (контроль): Поддержание уровня влажности почвы перед поливом на отметке 70% НВ в слое 0,4 м (от высадки рассады до цветения) и 0,6 м (от цветения до окончания сбора урожая).
- А2: Поддержание влажности на уровне 80% НВ в аналогичных слоях и временных интервалах.
- А3: Поддержание влажности на уровне 90% НВ.

Опытный участок соответствовал критериям типичности для почвенно-климатических условий Московской области. Опыт проведен в трехкратной повторности. Площадь учетной делянки составила 30 м², повторности – 240 м², общая площадь опыта – 720 м².

Для орошения использована капельная лента NEO-DRIP с эмиттерами шагом 0,4 м и расходом 1,8 л/ч при рабочем давлении 0,6–1,2 атм.

В рамках фактора В (пищевой режим) применялись два варианта:

- В1: внесение минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{90}K_{140}$;
- В2: без внесения удобрений (контроль).

Дозы удобрений рассчитаны балансовым методом с учетом планируемой урожайности, химического состава растений, выноса элементов питания и содержания доступных форм азота, фосфора и калия в почве.

Использован сорт баклажана Черный опал. Для достижения поставленных целей и получения надежных данных, пригодных для статистического анализа информации о воздействии капельного орошения и удобрений на водный и питательный режимы грунта, а также на продуктивность баклажана в условиях Московской области, применяли общепринятые методики. Используемые измерительные инструменты прошли необходимую метрологическую проверку, а сбор показаний производили через строго определенные промежутки времени, что минимизировало погрешности и позволило сформировать качественный, однородный массив данных для последующей интерпретации.

Метеорологические параметры (температура, влажность воздуха, осадки) фиксировали автоматической метеостанцией *KaipoMini v 2.2.0*; скорость и направление ветра – портативным мультимонитором *AMTAST AMF035*.

Поливные нормы рассчитывали с учетом локальности увлажнения при капельном орошении.

Учет поливной воды проводили по показаниям счетчика-водомера и контролировался по времени подачи воды на орошаемый массив. Влажность почвы контролировали тен-

зиометрами TR 46908 в четырехкратной повторности. Запасы влаги определяли расчетным методом на основе плотности почвы и полевой влажности.

Расчет суммарного водопотребления посевов проводили методом водного баланса, а также по сопутствующим методам определения водопотребления сельскохозяйственных культур. Среднесуточное водопотребление баклажана, а также затраты воды на образование одной тонны урожая определяли расчетным методом.

Все измерения и учеты выполнены с соблюдением методических требований, что обеспечило высокую достоверность и репрезентативность полученных данных [7].

Результаты и обсуждения

В естественных условиях юга Московской области потребность сельскохозяйственных растений в воде покрывается главным образом за счет дождевых осадков, поливной воды, запасов влаги в почве после зимы и продуктивного расхода влаги в течение сезона вегетации.

При выращивании баклажана с капельным орошением исходные запасы влаги в грунте играют незначительную роль в удовлетворении потребностей растений (табл. 1).

Расход почвенной влаги за вегетационный сезон у баклажана не превышал 11,9% от общего водопотребления. Эксперимент не выявил четкой зависимости между объемом используемой растениями почвенной влаги и условиями орошения или уровня подкормки.

Основным источником влаги в почве при культивации баклажана под укрытиями является орошение. В различные по погодным условиям годы исследований доля оросительной воды в общем водопотреблении культуры колебалась от 35,5 до 60,9%. Вторым по важности источником выступали атмосферные осадки, вклад которых составлял от 28,3 до 53,2%. Следовательно, объем осадков и количество поливной воды, а значит, и формирование режима орошения баклажана под укрытиями, в основном определяются динамикой суммарного водопотребления [8].

Результаты опытов продемонстрировали, что улучшение условий влаго- и минерального обеспечения приводит к значительному росту общего водопотребления баклажана (табл. 2). При увеличении допустимого порога снижения влажности почвы с 70% до 90% НВ и применении удобрений в дозе N₁₅₀P₉₀K₁₄₀, суммарное водопотребление в среднем возрастало с 3297 до 4054 м³/га.

Таблица 1. Основные статьи водного баланса при орошении баклажана капельным способом, м³/га (с применением минеральных удобрений N₁₅₀P₉₀K₁₄₀)
Table 1. Main components of the water balance for drip-irrigated eggplants, m³/ha (with N₁₅₀P₉₀K₁₄₀ mineral fertilizers)

Уровень предполивной влажности почвы, % НВ	Год исследований	Использовано влаги					
		Оросительная норма		Атмосферные осадки		Почвенные влагозапасы	
		м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%
70	2022	1710	55,1	1022	33,0	370	11,9
	2023	1230	37,0	1781	53,6	311	9,4
	2024	1390	43,0	1512	46,8	330	10,2
	Среднее	1443	44,8	1438	44,7	337	10,5
80	2022	2060	59,5	1024	29,6	380	11,0
	2023	1530	42,4	1779	49,3	302	8,4
	2024	1670	46,6	1514	42,2	402	11,2
	Среднее	1753	49,3	1439	40,5	361	10,2
90	2022	2420	65,2	1028	27,7	263	7,1
	2023	1920	49,1	1780	45,5	208	5,3
	2024	2040	54,9	1470	39,6	203	5,5
	Среднее	2127	56,3	1426	37,8	225	5,9

Таблица 2. Суммарное водопотребление баклажана при капельном орошении в зависимости от уровня водного и минерального питания, м³/га
Table 2. Total water consumption of drip-irrigated eggplants as affected by water and mineral nutrition levels, m³/ha

В зависимости от водного режима почвы								В зависимости от уровня минерального питания				
Доза внесения мин. удобрений, кг д.в./га	Уровень ППВ, %НВ	Год исследований				ΔЕ на каждом фоне режимов орошения		Уровень ППВ, %НВ	Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га	Среднее	ΔЕ на каждом фоне режимов орошения	
		2022	2023	2024	Среднее	м ³ /га	%				м ³ /га	%
Без удобрений	70	2636	2824	2812	2757	0	0	70	б/у	2757	0	0
	80	2979	3141	3156	3092	335	12,1		N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	3218	461	16,7
	90	3266	3400	3212	3293	535	19,4	80	б/у	3092	0	0
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	70	3102	3322	3232	3219	0	0		N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	3553	462	14,9
	80	3464	3611	3586	3554	335	10,4	90	б/у	3292	0	0
	90	3711	3908	3713	3777	559	17,4		N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	3777	485	14,7

Минимальные значения совокупного водопотребления, находившиеся в интервале 2953–3116 м³/га (в среднем 3043 м³/га), отмечали на опытных участках при отсутствии минеральных удобрений и поддержании предполивной влажности почвы на отметке 70% от наименьшей влагоёмкости (НВ). Повышение данного уровня до 80% НВ на неудобренных делянках вызывало увеличение объема используемой воды в среднем до 3297 м³/га, что на 254 м³/га (8,4%) выше показателя для 70% НВ. В условиях дальнейшего роста порога до 90% НВ среднее водопотребление достигало 3601 м³/га, что на 18,3% превышало значение при 70% НВ.

Комбинированное использование минеральных удобрений (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) и оросительных мероприятий, обеспечивающих влажность корнеобитаемого слоя не менее 70% НВ, также обуславливало повышение общего водопотребления, средняя величина которого за период исследований равнялась 3381 м³/га. Установление предполивного порога в 80% НВ на удобренных вариантах опыта способствовало последующему возрастанию данного показателя до 3685 м³/га, что на 303 м³/га (9%) больше, чем в условиях 70% НВ.

При увеличении уровня предполивной влажности грунта до 90% НВ суммарное водопотребление культуры баклажа-

на повышалось в среднем до 4054 м³/га, или на 19,9% относительно вариантов, где в вегетационный сезон допускалось снижение влажности перед орошением до 70% НВ.

Таким образом, увеличение общего водопотребления баклажана обусловлено воздействием как режима орошения, так и интенсивности минерального питания, контролируемого применением удобрений. Данное обстоятельство отражает эффект взаимодействия изучаемых факторов, вносящий свой вклад в интенсификацию водопотребления растениями.

В процессе вегетации водопотребление баклажана характеризуется неравномерностью. От посадки рассады до старта фазы бутонизации на суммарное испарение культура использует не более 386–453 м³/га влаги; в промежуток от бутонизации до начала массового цветения – 644–755 м³/га; от старта цветения до старта плодоношения – 805–944 м³/га; и от начала плодоношения до окончания уборки – 1384–1624 м³/га. Количество потребленной воды в межфазные интервалы развития определяется их длительностью и динамикой затрат влаги на транспирацию и физическое испарение с поверхности грунта, что при комплексной оценке выражается показателем среднесуточного водопотребления.

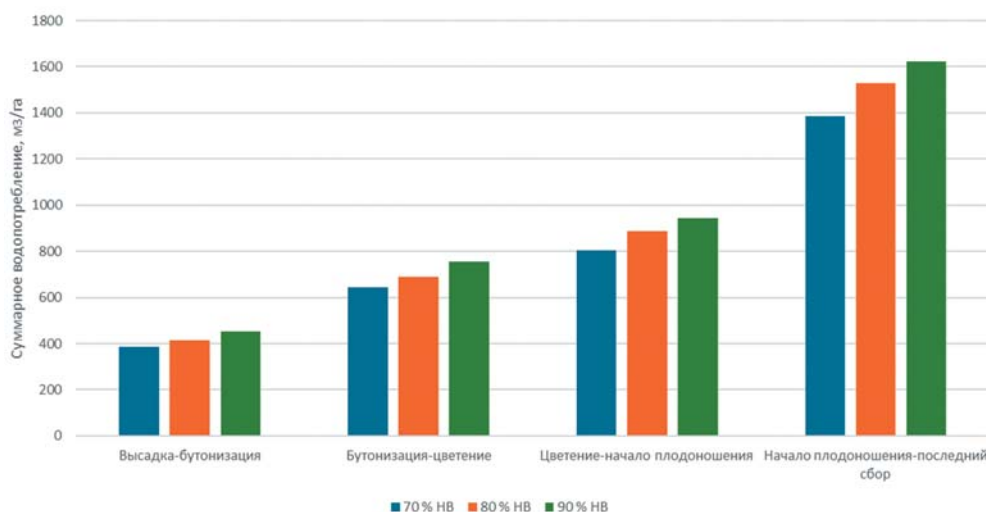


Рис. 1. Водопотребление рассадных баклажана в основные межфазные периоды, м³/га
 Fig.1. Water consumption of eggplant seedlings during the principal growth phases, m³/ha

Таблица 3. Интенсивность среднесуточного водопотребления баклажана в основные периоды развития, м³/га в сут.
 (с применением минеральных удобрений N₁₅₀P₉₀K₁₄₀)

Table 3. Mean daily water consumption rate of eggplants during the principal development periods, m³/ha/day (with N₁₅₀P₉₀K₁₄₀ mineral fertilizers)

Уровень предполивной влажности почвы, % НВ	Год исследований	Высадка-бутонизация	Бутонизация-цветение	Цветение-начало плодоношения	Начало плодоношения-последний сбор
70	2022	14	30	29	32
	2023	15	33	30	33
	2024	15	32	30	35
	Среднее	15	32	29	33
80	2022	14	30	35	35
	2023	15	34	33	36
	2024	19	36	33	37
	Среднее	16	33	34	36
90	2022	16	34	36	37
	2023	17	39	35	38
	2024	18	37	36	37
	Среднее	17	37	35	37

Изменение среднесуточного водопотребления баклажана описывается одновершинной кривой, что подтверждается экспериментальными данными трёх лет и представлено в соответствующей таблице. Минимальный расход влаги, составлявший 14–19 м³/га в сутки, наблюдался в интервале от высадки рассады до старта бутонизации. Однако в последующей фазе развития отмечался более чем двукратный прирост среднесуточного водопотребления, значения которого по вариантам опыта варьировали, в среднем, от 30 до 39 м³/га в сутки.

В фазы цветения, образования завязей и до первого сбора урожая суточное водопотребление баклажана составляло от 29 до 36 м³/га. В среднем, при поддержании влажности 70% НВ в этот период растения потребляли 29 м³/га/сутки, при 80% НВ — 34 м³/га/сутки, а при 90% НВ — 35 м³/га/сутки.

В промежуток от начала плодоношения до окончания сбора суточный расход воды составлял в среднем 32–38 м³/га, демонстрируя схожие с предыдущим периодом значения.

Исследования подтвердили существенное влияние погодных условий вегетационного сезона на интенсивность водопотребления [9,10]. Например, при поддержании влажности не ниже 80% НВ и внесении полной дозы удобрений (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) среднесуточное потребление воды баклажана составило 28 м³/га в 2022 году, 30 м³/га в 2023 году и 31 м³/га в 2024 году.

Ограниченность ресурсов пресной воды и значительные энергозатраты на её подачу диктуют необходимость оценки эффективности использования водных ресурсов как ключевого критерия результативности оросительных мероприятий для любой сельскохозяйственной культуры [11]. Проведенные изыскания выявили, что коэффициент водопотребления баклажана, отражающий затраты воды на производство единицы урожая, при капельном орошении и различных комбинациях изучаемых факторов колебался в среднем от 80 до 104 м³/т. Оптимизация водного и питательного режимов почвы позволяет достичь экономии воды до 30% на единицу полученной продукции.

Трехлетние наблюдения наглядно демонстрируют выраженную зависимость коэффициента водопотребления баклажана от двух ключевых агротехнических факторов: предполивной влажности почвы, поддерживаемой в активном слое, и уровня минерального питания, задаваемого внесением NPK. Исходные данные свидетельствуют о том, что даже на неудобренном фоне вариация водного режима оказывает статистически значимое воздействие на величину Кв. Так, при повышении уровня ППВ с 70% до 80% НВ на неудобренном фоне средний за три года коэффициент водопотребления снижается с 102 м³/т до 95 м³/т, что в абсолютном выражении составляет экономию 7 м³ воды на производство каждой тонны продукции, а в относитель-

ном – снижение на 6,8%. Дальнейшая интенсификация орошения, выражающаяся в поддержании ППВ на уровне 90% НВ, приводит к дополнительному, еще более существенному, снижению Кв до 92 м³/т. Таким образом, абсолютное снижение относительно фона 70% НВ составляет 10 м³/т, а относительное – 9,8%. Эта динамика однозначно указывает на то, что оптимизация водного режима, а именно поддержание более высоких уровней ППВ вплоть до 90% НВ, способствует значительному повышению эффективности использования влаги растениями баклажана. Физиологически это может быть объяснено устранением даже кратковременных водных дефицитов, негативно сказывающихся на процессах фотосинтеза и транспирации, что в конечном итоге повышает продуктивность использования единицы потребленной воды (таблица 4).

Не менее значимое влияние на величину коэффициента водопотребления оказывает применение минеральных удобрений. Введение в агроценоз дозы N₁₅₀P₉₀K₁₄₀ кг д.в./га на фоне оптимального увлажнения (70% НВ) способствует резкому снижению Кв по сравнению с неудобренным контролем на том же водном фоне – с 102 м³/т до 91 м³/т. Это снижение на 11 м³/т, или 10,8%, является статистически весомым и подтверждает тезис о том, что полноценное минеральное питание является необходимым условием для реализации потенциальной продуктивности не только по урожайности, но и по эффективности водопользования. Растение, обеспеченное всеми необходимыми макроэлементами, формирует более мощную корневую систему и ассимиляционный аппарат, что позволяет более рационально трансформировать поглощенную воду в биомассу и хозяйственно ценный урожай [12]. Однако наиболее репрезентативные данные, раскрывающие системный характер взаимодействия изучаемых факторов, получены при анализе изменения Кв на удобренном фоне при варьировании режимов орошения.

Синергетический эффект от совместного применения оптимизированного водного и минерального режимов проявляется наиболее отчетливо. Анализ данных показывает, что на удобренном фоне (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) градиент снижения Кв при увеличении ППВ с 70% до 80% НВ составляет 7,8 м³/т (8,6%), а при дальнейшем повышении до 90% НВ – 6,8 м³/т (7,5%) относительно Кв на фоне 70% НВ с удобрениями. Важно отметить, что абсолютные значения Кв на удобренном фоне при любом уровне орошения существенно ниже, чем на неудобренном. Ключевой вывод заключается в том, что максимальная эффективность использования водных ресурсов, выражающаяся в минимальном значении коэффициента водопотребления (84 м³/т), достигается исключительно при сочетании двух факторов: интенсивного минерального фона (N₁₅₀P₉₀K₁₄₀) и высокого уровня влагообеспеченности

Таблица 4. Коэффициент водопотребления баклажана при капельном орошении, м³/т
Table 4. Water consumption coefficient of drip-irrigated eggplants, m³/t

Доза внесения мин. удобрений, кг д.в./га	Уровень ППВ, %НВ	В зависимости от водного режима почвы						В зависимости от уровня минерального питания					
		Год исследований				ΔКв на каждом фоне режимов орошения		Уровень ППВ, %НВ	Доза внесения мин. удобрений, кг д.в./га	Среднее	ΔКв на каждом фоне режимов орошения		
		2022	2023	2024	Среднее	м ³ /т	%				м ³ /т	%	
Без удобрений	70	100	104	101	102	0	0	70	б/у	102	0	0	
	80	95	98	92	95	-7	-6,8		N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	91	-11	-10,8	
	90	96	93	87	92	-10	-9,8		б/у	95	0	0	
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	70	91	96	85	91	0	0	80	N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	83	-12	-12,6	
	80	84	84	81	83	-8	-8,8		б/у	92	0	0	
	90	84	87	80	84	-6,8	-7,7		N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₄₀	84	-8	-8,7	

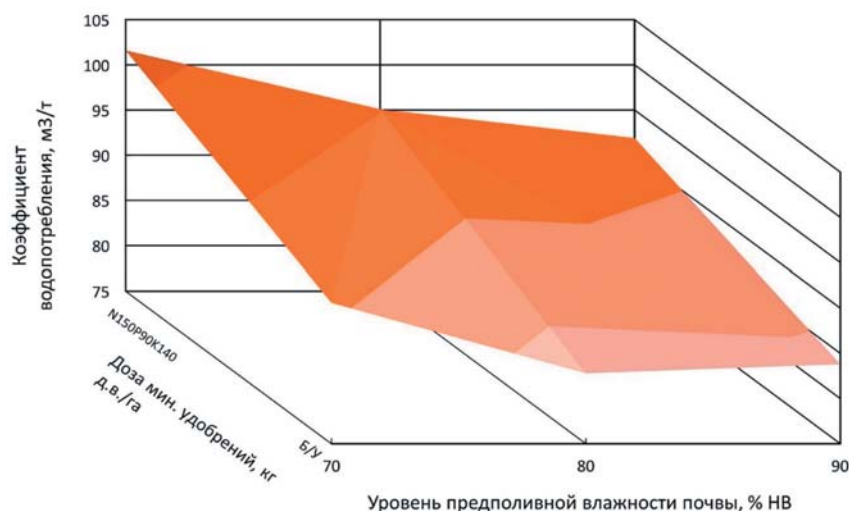


Рис. 2. График зависимости коэффициента водопотребления баклажана от условий водного и минерального питания
Fig. 2. Relationship between the water consumption coefficient of eggplants and their water and mineral nutrition conditions

(90% НВ). Сравнение этого значения с контролем (неудобренный фон, 70% НВ, $K_v = 102 \text{ м}^3/\text{т}$) показывает комплексную экономию в $17,8 \text{ м}^3$ воды на производство каждой тонны урожая, что в относительном выражении составляет 17,5%.

Таким образом, динамика коэффициента водопотребления баклажана при капельном орошении подчиняется четко выраженным закономерностям. Во-первых, установлена обратная зависимость между уровнем влагообеспеченности почвы и величиной K_v : поддержание ППВ на уровне 80-90% НВ является существенным фактором экономии водных ресурсов по сравнению с традиционным режимом в 70% НВ даже без изменения фона питания [13]. Во-вторых, доказано самостоятельное и мощное влияние сбалансированного минерального питания, которое за счет повышения урожайности и улучшения физиологического состояния растений позволяет значительно снизить расход воды на единицу полученной продукции. В-третьих, и это наиболее важно, выявлен выраженный синергетический эффект от совместного применения интенсивного водного и минерального режимов. Комбинация высоких уровней обоих факторов не просто суммирует их положительные эффекты, но и приводит к синергии, обеспечивая наивысшую эффективность водопользования. Полученные результаты являются серьезным научным обоснованием для перехода к ресурсосберегающим агротехнологиям возделывания баклажана в условиях Подмосковья, основанным на интегрированном управлении водным и питательным режимами почвы, что позволяет получать высокие и стабильные урожаи при минимальных затратах поливной воды.

Заключение

Проведенные многолетние полевые исследования позволили установить количественные закономерности формирования суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления (K_v) баклажана при капельном орошении в зависимости от уровней предполивной влажности почвы (ППВ) и минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья.

Установлено, что основными составляющими водного баланса при возделывании баклажана в условиях тоннельных укрытий являются оросительная норма (35,5–65,2%) и атмосферные осадки (27,7–53,2%), в то время как доля почвенных влагозапасов не превышает 11,9%. Показано, что увеличение уровня ППВ с 70% до 90% НВ приводит к статистически значимому росту суммарного водопотребления культуры. На удобренном фоне ($N_{150}P_{90}K_{140}$) данный рост

составил с 2757 до 3777 $\text{м}^3/\text{га}$. Динамика среднесуточного водопотребления характеризуется одновершинной кривой с максимумом в критический по водопотреблению период – фазы бутонизации–плодоношения (29–39 $\text{м}^3/\text{га}$ в сут.).

Ключевым результатом работы является выявление значительного влияния оптимизации водного и минерального режимов на эффективность водопользования, оцениваемую через коэффициент водопотребления [14,15]. Установлено, что коэффициент водопотребления баклажана варьировал в широких пределах – от 80 до 104 $\text{м}^3/\text{т}$. Поддержание ППВ на уровне 90% НВ на неудобренном фоне способствовало снижению K_v на 9,5% (до 92 $\text{м}^3/\text{т}$) по сравнению с вариантом 70% НВ. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{90}K_{140}$ на фоне ППВ 70% НВ обеспечило снижение K_v на 10,8% (до 91 $\text{м}^3/\text{т}$) относительно неудобренного контроля при том же водном режиме.

Наибольшая эффективность использования водных ресурсов (минимальное значение $K_v = 84 \text{ м}^3/\text{т}$) достигнута при сочетании интенсивного минерального фона ($N_{150}P_{90}K_{140}$) и высокого уровня влагообеспеченности (90% НВ). Данный агротехнический прием обеспечил экономию водных ресурсов в расчете на единицу продукции в размере 17,5% по сравнению с контролем. Выявлен выраженный синергетический эффект от совместного применения оптимизированных водного и питательного режимов, который проявляется не в простом суммировании положительных влияний каждого фактора, а в их взаимном усилении, приводящем к значительному повышению продуктивности воды [16].

Таким образом, результаты исследований убедительно доказывают, что переход к ресурсосберегающим агротехнологиям возделывания баклажана в условиях Центрального Нечерноземья должен базироваться на интегрированном управлении водным и минеральным режимами почвы. Рекомендуется поддерживать предполивную влажность почвы в активном слое на уровне не ниже 80–90% НВ в сочетании с внесением сбалансированных доз минеральных удобрений ($N_{150}P_{90}K_{140}$). Это позволяет не только получать стабильно высокие урожаи, но и существенно повышать эффективность использования дефицитных водных ресурсов, что имеет важное значение для устойчивого развития овощеводства в условиях возрастающей климатической изменчивости [17,18].

Полученные данные являются научным обоснованием для разработки практических рекомендаций по режимам капельного орошения и минерального питания баклажана, направленных на ресурсосбережение и экологизацию производства в регионе [19].

• Литература

1. Дубенок Н.Н., Лебедев Д.А. Совершенствование агротехнологических приемов для выращивания ранних баклажан в тоннельных укрытиях при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2025;17(1):29-36. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.38.85.005>
<https://elibrary.ru/bhaidc>
2. Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Ищенко О.С., Сабра Х. Водный режим орошаемых земель в условиях дефицита естественного увлажнения на примере свёклы сахарной. Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы IV Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 24–26 апреля 2023 года. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. С. 49-54. <https://elibrary.ru/lqwpij>
3. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Янченко А.В. [и др.] Капельное орошение овощных культур. *Картофель и овощи*. 2025;(4):31-37. <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.56.30.005>
<https://elibrary.ru/kwvgtg>
4. Курбанов С.А., Магомедова Д.С., Сулейманов М.С. Капельное орошение: итоги и перспективы. Абдулбасировские чтения: Материалы II Республиканской научно-практической конференции, Махачкала, 09 ноября 2023 года. Махачкала: ИП "Магомедалиев С.А.", 2023. С. 107-113. <https://elibrary.ru/kfyidk>
5. Енгальчев Д.И., Меньших А.М., Енгальчева Н.А. Применение капельного орошения и минеральных удобрений при выращивании томата в условиях Нечерноземной зоны. *Орошаемое земледелие*. 2017;(4):15-16. <https://elibrary.ru/nshidz>
6. Дубенок Н.Н. Водно-энергосберегающие режимы на мелиорированных землях – основа повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного производства. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2023;(65):35-40. <https://elibrary.ru/igogom>
7. Ольгаренко И.В., Ольгаренко В.И., Ольгаренко О.Н. Эмпирические параметры расчёта суммарного испарения с учётом изменчивости гидрометеорологических условий. *Мелиорация и водное хозяйство*: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения) с международным участием, Новочеркасск, 06–23 ноября 2018 года. Вып. 16. Ч.1. Новочеркасск: ООО "Лик", 2018. С. 100-104. <https://elibrary.ru/yuchtn>
8. Мухортова Т.В., Полухина Е.В., Власенко М.В. Влияние уровня водопотребления и минерального питания в условиях капельного орошения на продуктивность разных сортов баклажан. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2015;1(37):81-84. <https://elibrary.ru/tomqtt>
9. Курбанов С.А., Магомедова Д.С., Курбанова Л.Г., Келеметова З.Ш. Водопотребление столовой моркови при капельном орошении в зависимости от периодов посева. Экологические проблемы сельского хозяйства и научно-практические пути их решения: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Махачкала, 05–06 июня 2017 года. Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, 2017. С. 40-45. <https://elibrary.ru/zgkshd>
10. Кружилин И.П., Ганиев М.А., Кузнецова Н.В., Родин К.А. Динамика суммарного водопотребления и урожайность периодически увлажняемого риса при дождевании и капельном поливе в Волгоградской области. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018;3(51):34-42. <https://elibrary.ru/yqctmx>
11. Ольгаренко И.В., Эфендиев М.С. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов. Мелиорация и водное хозяйство: материалы научно-практической конференции, Новочеркасск, 24–25 ноября 2016 года. Том Выпуск 14. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2016. С. 50-53. <https://elibrary.ru/yofpxd>
12. Кизяев Б.М., Бородычев В.В. Эффективность минерального питания овощных культур при капельном орошении. *Плодородие*. 2016;5(92):18-21. <https://elibrary.ru/wwwrvxt>
13. Zhatkanbayeva A., Shokimova Zh., Nuruly Zh. Investigation of the coefficient of water consumption of pepper and eggplant in different irrigation methods. *3i intellect idea innovation*. 2024;(1):37-44. https://doi.org/10.52269/22266070_2024_1_37
14. Коржов В.И., Ольгаренко И.В., Коржова Т.В. Проблемы водораспределения на оросительных системах в условиях использования капельного орошения. Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), Новочеркасск, 07–24 ноября 2017 года. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Корунова. Вып. 15. Ч. 1. Новочеркасск: ООО "Лик", 2017. С. 80-85. <https://elibrary.ru/qjckah>
15. Aujla M.S., Thind H.s., Buttar G. Fruit Yield and Water Use Efficiency of Eggplant (*Solanum Melongema* L.) as Influenced by Different Quantities of Nitrogen and Water Applied through Drip and Furrow Irrigation. *Scientia Horticulturae*. 2007;(112):142-148. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.020>
16. Магомедова Д.С., Курбанов С.А., Шабанова М.Ш. Комплексное действие удобрений и капельного орошения на урожайность баклажана. *Овощи России*. 2021;(2):67-70. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-67-70>
<https://elibrary.ru/jkiufo>
17. Клевцова В.К., Ольгаренко И.В., Матвиенко Г.О. Обоснование динамики суммарного водопотребления капусты поздней в условиях полузасушливой степной зоны Ростовской области. Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), Новочеркасск, 07–24 ноября 2017 года. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Корунова. Вып. 15. Ч. 1. Новочеркасск: ООО "Лик", 2017. С. 60-65. <https://elibrary.ru/tbylqi>
18. Пчелкин В.В., Владимиров С.О., Кузина О.М. Водопотребление кормовых культур в нечерноземной зоне России. *Научная жизнь*. 2022;(85-2). <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2020-15-9-1186-1194>
<https://elibrary.ru/slyxfw>
19. Douh B., Boujelben A. Water saving and eggplant response to sub-surface drip irrigation. *Agricultural Segment*. 2010;(1):1.

• References

1. Dubenok N.N., Lebedev D.A. Improvement of agrotechnical methods for growing early eggplants in tunnel shelters under drip irrigation in the conditions of the central Non-Chernozem zone. *Vestnik of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2025;17(1):29-36. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.38.85.005>
<https://elibrary.ru/bhaidc> (In Russ.)
2. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Ishchenko O.S., Sabra H. Water regime of irrigated lands under conditions of natural moisture deficit on the example of sugar beet. In: *Melioration as a driver of agricultural*

- modernization in the context of climate change: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Internet Conference, Novocherkassk, April 24–26, 2023. Novocherkassk: Lik LLC; 2023. p. 49-54. <https://elibrary.ru/lqwpjl> (In Russ.)
3. Fedosov A.Y., Men'shikh A.M., Yanchenko A.V., et al. Drip irrigation of vegetable crops. *Potato and Vegetables*. 2025;(4):31-37. <https://doi.org/10.25630/PAV.2025.56.30.005> <https://elibrary.ru/kwvgtg> (In Russ.)
4. Kurbanov S.A., Magomedova D.S., Suleymanov M.S. Drip irrigation: results and prospects. In: Abdulbasirov Readings: Proceedings of the II Republican Scientific and Practical Conference, Makhachkala, November 09, 2023. Makhachkala: Magomedaliyev SA IP; 2023. p. 107-113. <https://elibrary.ru/kfyidk> (In Russ.)
5. Engalychev D.I., Men'shikh A.M., Engalycheva N.A. Application of drip irrigation and mineral fertilizers in the cultivation of tomatoes in the Non-Chernozem zone. *Irrigated Agriculture*. 2017;(4):15-16. <https://elibrary.ru/nshidz> (In Russ.)
6. Dubenok N.N. Water and energy saving regimes on reclaimed lands as a basis for increasing the competitiveness of agricultural production. *Izvestia of the International Academy of Agricultural Education*. 2023;(65):35-40. <https://elibrary.ru/igogom> (In Russ.)
7. Olgarenko I.V., Olgarenko V.I., Olgarenko O.N. Empirical parameters for calculating total evaporation taking into account the variability of hydrometeorological conditions. In: Land Reclamation and Water Management: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov Readings) with international participation, Novocherkassk, November 06–23, 2018. Vol. 16. Part 1. Novocherkassk: Lik LLC; 2018. p. 100-104. (In Russ.) <https://elibrary.ru/yuchtn>
8. Mukhortova T.V., Polukhina E.V., Vlasenko M.V. Influence of water consumption level and mineral nutrition under drip irrigation on the productivity of different eggplant varieties. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2015;1(37):81-84. <https://elibrary.ru/tomqtt> (In Russ.)
9. Kurbanov S.A., Magomedova D.S., Kurbanova L.G., Kelemetova Z.Sh. Water consumption of table carrots under drip irrigation depending on sowing periods. In: Environmental Problems of Agriculture and Scientific-Practical Ways to Solve Them: collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference, Makhachkala, June 05–06, 2017. Makhachkala: Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhabulatov; 2017. p. 40-45. (In Russ.) <https://elibrary.ru/zgkshd>
10. Kruzhilin I.P., Ganiev M.A., Kuznetsova N.V., Rodin K.A. Dynamics of total water consumption and yield of periodically moistened rice under sprinkling and drip irrigation in the Volgograd region. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2018;3(51):34-42. <https://elibrary.ru/yqtcmx> (In Russ.)
11. Olgarenko I.V., Efendiev M.S. Total water consumption of agricultural crops under conditions of water resources deficit. In: Land Reclamation and Water Management: proceedings of the scientific-practical conference, Novocherkassk, November 24–25, 2016. Vol. 14. Novocherkassk: Lik LLC; 2016. p. 50-53. (In Russ.) <https://elibrary.ru/yofpxd>
12. Kizyaev B.M., Borodychev V.V. Effectiveness of mineral nutrition of vegetable crops under drip irrigation. *Plodorodie*. 2016;5(92):18-21. <https://elibrary.ru/wrvvxt> (In Russ.)
13. Zhatkanbayeva A., Shokimova Zh., Nuraly Zh. Investigation of the coefficient of water consumption of pepper and eggplant in different irrigation methods. *3i intellect idea innovation*. 2024;(1):37-44. https://doi.org/10.52269/22266070_2024_1_37
14. Korzhov V.I., Olgarenko I.V., Korzhova T.V. Problems of water distribution in irrigation systems under conditions of drip irrigation use. In: Land Reclamation and Water Management. Ways to improve the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov Readings), Novocherkassk, November 07–24, 2017. Novocherkassk: Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov. Vol. 15, Part 1. Novocherkassk: Lik LLC; 2017. p. 80-85. <https://elibrary.ru/qjckah> (In Russ.)
15. Aujla M.S., Thind H.s., Buttar G. Fruit Yield and Water Use Efficiency of Eggplant (*Solanum Melongema* L.) as Influenced by Different Quantities of Nitrogen and Water Applied through Drip and Furrow Irrigation. *Scientia Horticulturae*. 2007;(112):142-148. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.020>
16. Magomedova D.S., Kurbanov S.A., Shabanova M.Sh. Complex effect of fertilizers and drip irrigation eggplant yield. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(2):67-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-2-67-70> <https://elibrary.ru/jkiufo>
17. Klevtsova V.K., Olgarenko I.V., Matvienko G.O. Substantiation of the dynamics of total water consumption of late cabbage in the conditions of the semi-arid steppe zone of the Rostov region. In: Land Reclamation and Water Management. Ways to improve the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov Readings), Novocherkassk, November 07–24, 2017. Novocherkassk: Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov. Vol. 15, Part 1. Novocherkassk: Lik LLC; 2017. p. 60-65. (In Russ.) <https://elibrary.ru/tbylqi>
18. Pchelkin V.V., Vladimirov S.O., Kuzina O.M. Water consumption of forage crops in the non-chernozem zone of Russia. *Scientific life*. 2022;(85-2). <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2020-15-9-1186-1194> <https://elibrary.ru/slyxfw> (In Russ.)
19. Douh B., Boujelben A. Water saving and eggplant response to sub-surface drip irrigation. *Agricultural Segment*. 2010;(1):1.

Об авторах:

Николай Николаевич Дубенок – академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, зав. каф. Сельскохозяйственных мелиораций РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>, SPIN-код: 1856-9793, ndubenok@mail.ru

Денис Андреевич Лебедев – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0009-0004-0983-1318>, SPIN-код: 9753-5647, автор для переписки, denislebedev992@gmail.com

Александр Владимирович Гемонов – доктор с.-х. наук, доцент кафедры Сельскохозяйственных мелиораций РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0002-2561-8179>, SPIN-код: 3293-5840, agemonov@yandex.ru

About the Authors:

Nikolay N. Dubenok – Academician of the RAS, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Agricultural Melioration, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>, SPIN-code: 1856-9793, ndubenok@rgau-msha.ru

Denis A. Lebedev – Junior Researcher, <https://orcid.org/0009-0004-0983-1318>, SPIN-code: 9753-5647, Corresponding Author, denislebedev992@gmail.com

Alexander V. Gemonov – Dr. Sci. (Agriculture), Assistant Professor of the Department of Agricultural Melioration Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, <https://orcid.org/0000-0002-2561-8179>, SPIN-code: 3293-5840, agemonov@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-38-43>
УДК: 635.54:631.574-02:577.112.3

П.О. Маврина

ФГБНУ «Всероссийский
научно-исследовательский институт
лекарственных и ароматических растений»
117216, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Грина, д. 7

*Автор для переписки:
mavrina.vilarnii@yandex.ru

Вклад автора. Маврина П.О.: концептуализация, администрирование данных, проведение исследования, формальный анализ, визуализация, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликтах интересов.

Для цитирования: Маврина П.О. Влияние аминокислот на продуктивность и содержание фенольных соединений в листьях цикория обыкновенного. *Овощи России*. 2026;(1):38-43. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-38-43>

Поступила в редакцию: 17.09.2025
Принята к печати: 09.02.2026
Опубликована: 16.03.2026

Polina O. Mavrina

All-Russian Scientific Research Institute
of Medicinal and Aromatic Plants
7, Greena st., Moscow, Russia, 117216

*Corresponding Author:
mavrina.vilarnii@yandex.ru

Author's Contribution: Mavrina P.O.: conceptualization, data curation, investigation, formal analysis, visualization, writing – review & editing.

Conflict of interest. The authors declar no other conflicts of interest.

For citations: Mavrina P.O. Effect of amino acids on productivity and phenolic content in common chicory leaves. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):38-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-38-43>

Received: 17.09.2025
Accepted for publication: 09.02.2025
Published: 16.03.2026

Влияние аминокислот на продуктивность и содержание фенольных соединений в листьях цикория обыкновенного

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Применение биостимуляторов на основе различных соединений находит все более широкое применение в сельском хозяйстве в связи с необходимостью увеличения урожайности растений при нестабильных климатических условиях. Экзогенная обработка аминокислотами вегетирующих растений различных сельскохозяйственных культур позволила увеличить продуктивность, содержание биологически активных соединений, а также повысить их устойчивость при воздействии абиотических стрессов. Цикорий обыкновенный является перспективным видом лекарственного растительного сырья для получения фармацевтических субстанций с высоким содержанием цикориевой кислоты. Благодаря содержанию в листьях различных классов фенольных соединений, извлечения из надземной части цикория обладают иммуномодулирующим и гепатопротекторным действием.

Методика. В данной работе проведена оценка действия некорневой обработки однокомпонентными растворами фенилаланина, тирозина и триптофана в двух концентрациях (10 мг/л и 25 мг/л) на продуктивность растений и содержание фенольных соединений в листьях цикория обыкновенного.

Результаты. Наиболее эффективны обработки аминокислотами в концентрации 10 мг/л. Применение триптофана позволило повысить продуктивность надземной части 29-57% в зависимости от концентрации (с 112 г до 144-176 г). Обработка всеми аминокислотами способствовала увеличению содержания фенольных соединений: фенилаланином – с 4,84% до 5,49%, тирозином – до 7,25%, триптофаном – до 6,23%. На массу корнеплодов обработка аминокислотами значимого влияния не оказала. Отмечено, что при благоприятных для развития растений метеорологических условиях применение аминокислот более эффективно, однако при неблагоприятных условиях значимого снижения показателей растений не происходит. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования аминокислот как элемента технологии выращивания для повышения продуктивности растений и содержания в них биологически активных веществ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Cichorium intybus, фенилаланин, тирозин, триптофан

Effect of amino acids on productivity and phenolic content in common chicory leaves

ABSTRACT

Relevance. Biostimulants based on different compounds is increasingly used in agriculture due to the need to increase plant yield under unstable climate conditions. Exogenous application with amino acids on various agricultural crops increased productivity, the content of biologically active compounds, and improved their resistance to abiotic stress. Common chicory is a promising medicinal plant for obtaining pharmaceutical substances with a high content of chicory acid. Due to the content of various classes of phenolic compounds in the leaves, extracts from the aboveground part of chicory have an immunomodulatory and hepatoprotective effect.

Methods. In this study, the effect of foliar application with single-component solutions of phenylalanine, tyrosine, and tryptophan at two concentrations (10 mg/L and 25 mg/L) on plant productivity and the content of phenolic compounds in the leaves of common chicory is assessed.

Results. Treatment with amino acids at a concentration of 10 mg/L was most effective. The use of tryptophan increased the productivity of the aboveground part by 29-57% depending on concentration (from 112 g to 144-176 g). Treatment with all amino acids contributed to increase the phenolic compounds content: phenylalanine – from 4.84% to 5.49%, tyrosine – up to 7.25%, tryptophan – up to 6.23%. Amino acids application did not have a significant effect on the root weight. It was noted that under favorable climate conditions for plant development, the use of amino acids is more effective, but under unfavorable conditions, there is no significant decrease in plant indicators. Results indicate the prospects of using amino acids as an element of agricultural practices to increase plant productivity and the content of biologically active substances.

KEYWORDS:

Cichorium intybus, phenylalanine, tyrosine, tryptophan

Введение

В настоящее время поиск устойчивых методов ведения сельского хозяйства направлен на максимальное увеличение производства продуктов питания при минимальном воздействии на окружающую среду. При этом остро стоит вопрос о повышении устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды без снижения урожайности [1]. Экзогенное применение различных органических стимуляторов роста растений, таких как фитогормоны, полиамины, гидролизаты белков и аминокислоты, микробные инокулянты, экстаркты из водорослей и высших растений, улучшает показатели фотосинтеза, относительное содержание воды в тканях, а также способствует накоплению осмолитов и антиоксидантов [2-4]. Использование биостимуляторов обладает несколькими преимуществами – они способствуют усилению роста растений и повышению их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды. Кроме того, они не оказывают негативного влияния на развитие растений и могут применяться совместно с неорганическими удобрениями и пестицидами [5]. Эффективность данных соединений доказана на различных сельскохозяйственных культурах [6-8].

Аминокислоты считаются органическими осмолитами, они способствуют стабилизации водного баланса клетки, а также выполняют функции поддержания клеточных структур и белков [9-11]. В условиях абиотического стресса в растениях увеличивается содержание различных аминокислот, что, в свою очередь, может оказывать влияние на синтез и накопление вторичных метаболитов [12]. Триптофан, тирозин и фенилаланин, синтезируются из хоризмата, конечного продукта шикиматного пути, и являются предшественниками широкого спектра вторичных метаболитов в растениях. Их применение в качестве некорневой обработки способствует повышению урожайности и содержания биологически активных соединений у различных сельскохозяйственных культур [13-22]. Из фенилаланина может синтезироваться салициловая кислота, которая играет важную роль в защите растений от патогенов, а также при воздействии различных абиотических стрессов. Она снижает их негативное воздействие, индуцируя экспрессию генов, связанных с реакцией на стресс, и повышая активность антиоксидантных ферментов, таких как каталаза, пероксидаза и супероксиддисмутаза. Триптофан является предшественником индолилуксусной кислоты. Во время засухи биосинтез ауксинов повышает засухоустойчивость растений за счет нейтрализации активных форм кислорода (АФК) и активации генов, чувствительных к абсцизовой кислоте [23].

Надземная часть цикория обыкновенного является перспективным источником сырья для получения фармацевтических субстанций, обладающих антиоксидантным, антимикробным, иммуномодулирующим и гепатопротекторным действием [24, 25]. Фенилпропаноиды, содержащиеся в листьях цикория и обуславливающие потенциал терапевтического действия экстрактов на его основе, синтезируются по шикиматному пути [26, 27]. Известно, что при воздействии температурного стресса и дефиците воды нарушается процесс фотосинтеза, что приводит к чрезмерному накоплению АФК, нарушению нормального функционирования клеток и их последующей гибели. В качестве защитного механизма и адаптивной стратегии в ответ на абиотические стрессы в растениях увеличивается синтез вторичных метаболитов-антиоксидантов, в частности фенольных соединений, что является ключевым показателем устойчивости растений к окислительному стрессу [28-30]. Применение органических и минеральных удобрений, а также биостимуляторов может оказывать влияние как на содержание фенольных соеди-

нений в листьях и их качественный состав, так и на массу корнеплода цикория и выход инулина [31, 32].

Целью данного исследования является изучение влияния некорневых обработок растворами фенилаланина, тирозина и триптофана на продуктивность цикория обыкновенного и содержание биологически активных соединений.

Материалы и методы

Исследование проведено в 2023-2024 годах, метеорологические условия приведены в Таблице 1. Использован технический сорт цикория обыкновенного Ростовский. Растения выращивали в открытом грунте в лекарственном севообороте лаборатории агробиологии ФГБНУ ВИЛАР (г. Москва). Участок расположен на окультуренных дерново-подзолистых почвах, почвенный покров – среднеподзоленный пылеватый суглинок. Агрохимические показатели опытного участка: содержание гумуса – 2,1%, pH – 5,5, содержание подвижного фосфора – P₂O₅ – 52 мг/кг, обменного калия – K₂O – 87 мг/кг.

25-дневная рассада высажена в открытый грунт во 2 декаде июня. Схема посадки – 60×15 см, площадь деланки – 1,35 м², повторность 4-кратная. В 1 декаде июля проведена однократная обработка однокомпонентными растворами фенилаланина (Phe), тирозина (Tyr) и триптофана (Trp) в концентрациях 10 мг/л и 25 мг/л. В контрольном варианте использована вода в аналогичном объеме.

Измерения морфологических показателей растений, а также сбор листьев для анализа на содержание фенольных соединений проведены каждые 10 дней с июля по октябрь. Отбирали неповрежденные вредителями и болезнями целые листья из разных участков листовой розетки. При неблагоприятных погодных условиях (дождь) сбор осуществлялся в ближайшую возможную дату. Сушка листьев осуществлялась при температуре 35-38°C. Продуктивность надземной части рассчитана как произведение среднего числа листьев на растении и средней массы листа в конкретную дату сбора. Уборка корнеплодов проведена во 2 декаде сентября в сухую погоду до наступления заморозков.

Определение содержания суммы фенольных соединений в пересчете на цикориевую кислоту проведено методом прямой спектрофотометрии [33]. Аналитическую пробу сырья измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстия 0,5 см. 1 г (точная навеска) измельченного сырья помещали в колбу, добавляют 100 мл спирта этилового 70%, колбу присоединяют к обратному холодильнику и нагревают на кипящей водяной бане в течение 60 мин с момента закипания растворителя. Полученное извлечение фильтруют через бумажный фильтр «синяя лента» (раствор А). В мерную колбу вместимостью 50 мл помещают 1 мл раствора А, доводят объем раствора до метки спиртом этиловым 70%, перемешивают (раствор Б). Оптическую плотность раствора Б измеряют на спектрофотометре UV-1800 («Shimadzu», Япония) при длине волны 328±2 нм в кюветках с толщиной поглощающего слоя 1 см. В качестве раствора сравнения используют спирт этиловый 70%. Для анализа использован стандартный образец (≥95%) цикориевой кислоты («Sigma-Aldrich»).

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием программы Microsoft Excel. Для выявления различий между вариантами опыта использован двухфакторный (фактор А – действующее вещество (аминокислота), фактор Б – концентрация действующего вещества) дисперсионный анализ с расчетом НСР₀₅, а также критерий Краскела-Уоллиса и критерий Данна для множественного сравнения [34].

Таблица 1. Средняя температура воздуха и количество осадков в период исследования
Table 1. Mean temperature and total rainfall during the experiment

	2023 год		2024 год	
	Средняя температура, °С	Количество осадков, мм	Средняя температура, °С	Количество осадков, мм
июнь (с даты высадки рассады)	15,8	100,4	18,9	10,9
июль	17,2	270,8	20,6	245,4
август	18,3	150,9	17,5	145,1
сентябрь	13,4	26,0	15,4	28,5
октябрь	4,7	189,3	6,9	110,1

Результаты и их обсуждение

У однолетних растений цинкория обыкновенного надземная часть представлена розеточным побегом. В первой половине вегетационного периода происходит постепенное увеличение числа листьев, их линейные размеры и масса достигают наибольших значений в конце августа – начале сентября. В этот период отмечена наибольшая продуктивность надземной части (Рис. 1), которая составила 109-116 г/растение сырой массы. В целом, динамика роста надземной части не отличалась в разные годы исследования, однако в 2024 году наибольшие значения продуктивности отмечены в более ранний срок. Это связано с более высокой температурой воздуха в июне-июле, чем в 2023 году, а также меньшим количеством осадков.

Применение аминокислот не оказало влияния на динамику роста растений, наибольшие значения продуктивности отмече-

ны в те же даты, что и в контрольном варианте. Оценка действия аминокислот на показатели надземной части проведена по данным, полученным в этот период.

Установлено, что применение аминокислот в большинстве вариантов не привело к значимому изменению размеров листьев (Табл. 2). Только применение триптофана в обеих концентрациях в 2023 году позволило достоверно увеличить длину листьев на 17-19% в зависимости от концентрации. Отмечено, что в 2023 году показатели листьев были в среднем выше, что объясняется более благоприятными для развития растений метеорологическими условиями.

В период наибольшей продуктивности (4 сентября в 2023 года, 26 августа в 2024 года) достоверные различия с контролем по данному показателю отмечены только в варианте с триптофаном в 2023 году (Рис. 2) – на 29-57% в зависимости от кон-

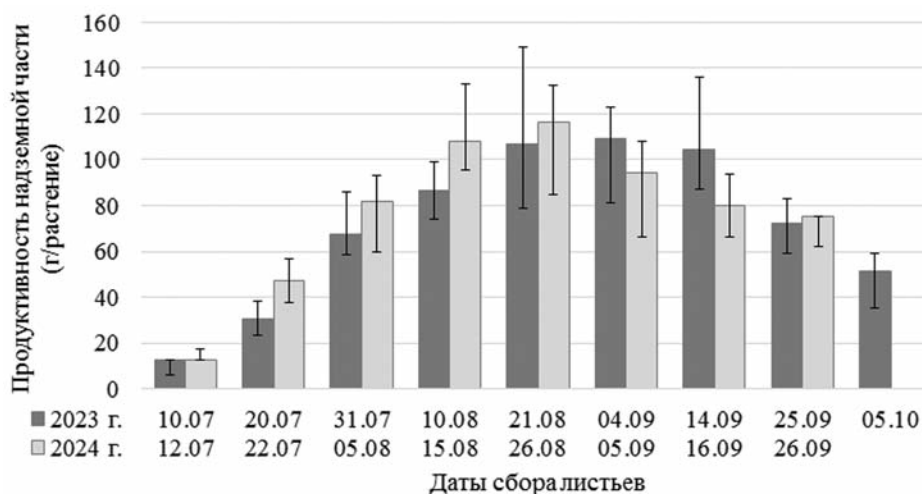


Рис. 1. Динамика продуктивности надземной части (г/растение) в 2023-2024 годах (контрольный вариант)
Fig. 1. Dynamics of aboveground part productivity (g/plant) in 2023-2024 (control)

Таблица 2. Морфологические показатели листьев в 2023-2024 годах ($\bar{x} \pm SD$)
Table 2. Morphological parameters of leaves in 2023-2024 ($\bar{x} \pm SD$)

	2023 год		2024 год	
	Длина листа, см	Ширина листа, см	Длина листа, см	Ширина листа, см
Контроль	38,8 ± 4,75	7,5 ± 1,41	39,8 ± 5,13	7,9 ± 1,35
Phe-10	40,7 ± 7,51	8,2 ± 1,72	40,1 ± 6,18	7,8 ± 1,47
Phe-25	41,4 ± 3,93	8,3 ± 1,66	36,8 ± 5,31	7,6 ± 1,89
Tyr-10	38,0 ± 4,84	6,5 ± 0,77	40,1 ± 5,69	7,2 ± 1,34
Tyr-25	41,1 ± 5,37	7,4 ± 1,33	38,7 ± 6,36	8,3 ± 1,48
Trp-10	45,2 ± 5,68	8,4 ± 1,81	38,1 ± 6,13	8,5 ± 2,00
Trp-25	46,3 ± 6,03	7,7 ± 1,72	40,4 ± 4,69	8,2 ± 2,08
HCP ₀₅	5,5	1,5	5,3	1,5

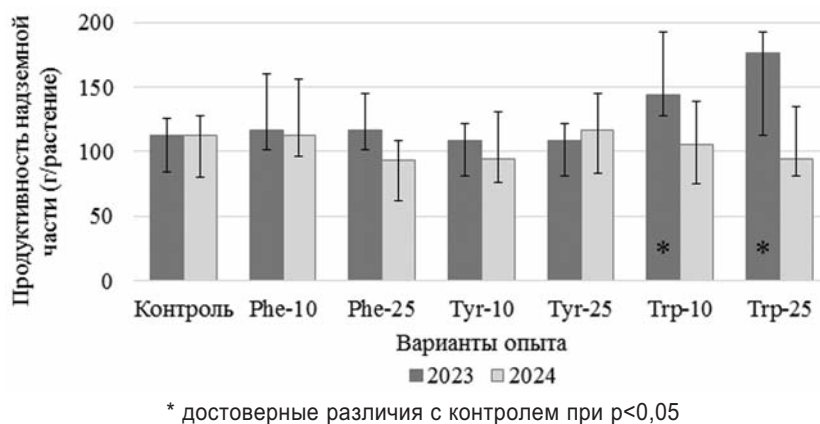


Рис. 2. Продуктивность надземной части (г/растение) в 2023-2024 годах ($M \pm Q_1 - Q_3$)
 Fig. 2. Aboveground part productivity (g/plant) in 2023-2024 ($M \pm Q_1 - Q_3$)

центрации. В 2024 году различия между вариантами опыта не обнаружены. При благоприятных условиях (2023 год) увеличение концентрации аминокислоты не приводит к значимому увеличению продуктивности, а при неблагоприятных – снижает значения данного показателя.

Содержание фенольных соединений (ФС) в период наибольшей продуктивности надземной части в вариантах с использованием аминокислот значительно различалось в разные годы исследования (Табл. 3). В 2023 году все варианты, кроме тирозина (25 мг/л) и триптофана (25 мг/л) значительно превышали контрольные значения: фенилаланин – на 13-19%, тирозин (10 мг/л) – на 50%, триптофан (10 мг/л) – на 29%. В 2024 году применение фенилаланина, тирозина и триптофана не оказало значимого влияния на содержание фенольных соединений.

Отмечено, что при увеличении концентрации аминокислоты содержание ФС увеличилось только при использовании фенилаланина. Это может быть связано с тем, что большая часть фенольных соединений (гидроксикоричные кислоты), присутствующая в листьях цикория, синтезируется по шикиматному пути через фенилаланин [27]. Тирозин и триптофан также образуются в данном пути синтеза. При избыточном количестве какой-либо из представленных аминокислот, её синтез временно прекращается, а двух других – возрастает [35]. Дополнительное поступление фенилаланина с некорневой обработкой отчасти способствует повышению содержания фенилпропаноидов, однако при этом усиливается синтез аминокислот, являющихся предшественниками других соединений. В свою очередь обработка тирозином и триптофаном способ-

ствует повышению содержания фенилаланина, что отражается на синтезе ФС. Аналогичные результаты по действию на общее содержание ФС и отдельно фенольных кислот были получены при обработке разных видов мяты [14]. Также во многих работах отмечено, что применение аминокислот более эффективно в низкой концентрации, ее увеличение либо не приводит к значимому увеличению показателей растений, либо снижает их [36-39]. Следует отметить, что, хотя на эффективность некорневой обработки аминокислотами оказывают влияние погодные условия, использование аминокислот не приводит к значимому снижению содержания фенольных соединений. Данная особенность наблюдалась и при обработке цикория обыкновенного растворами аланина, однако его применение не привело к увеличению содержания ФС [40].

Поскольку цикорий – техническая культура, необходимо оценить влияние некорневых обработок аминокислотами на среднюю массу корнеплодов (Рис. 3). Установлено, что в 2023 году значения данного параметра в вариантах с аминокислотами были выше контрольных (фенилаланин – на 47-49%, тирозин – на 15-20%, триптофан – на 22%), однако значимые различия с контролем отсутствуют. В 2024 году средняя масса корнеплода была наибольшей в контрольном варианте (212,5 г), при этом применение аминокислот не вызвало значимого снижения значений данного параметра. При увеличении концентрации аминокислоты выраженного положительного действия на массу корнеплода не обнаружено.

В качестве дополнительной оценки действия аминокислот на показатели растений был проведен расчет коэффициента вариации (Табл. 4). Установлено, что при неблаго-

Таблица 3. Содержание фенольных соединений в пересчете на цикориевую кислоту (%) в листьях в 2023-2024 годах ($\bar{x} \pm SD$)
 Table 3. Content of phenolic compounds in calculation of chicoric acid (%) in leaves in 2023-2024 ($\bar{x} \pm SD$)

	2023 год			2024 год		
	Содержание сухого вещества	Содержание ФС	% к контролю	Содержание сухого вещества	Содержание ФС	% к контролю
Контроль	92,8	4,84 ± 0,020	-	92,1	4,84 ± 0,069	-
Phe-10	93,1	5,49 ± 0,007	13	92,4	4,66 ± 0,114	-4
Phe-25	93,1	5,78 ± 0,009	19	92,3	4,58 ± 0,110	-5
Tyr-10	92,8	7,25 ± 0,050	50	92,1	4,73 ± 0,045	-2
Tyr-25	92,9	4,89 ± 0,028	1	92,3	4,59 ± 0,100	-5
Trp-10	93,2	6,23 ± 0,036	29	92,1	4,31 ± 0,054	-11
Trp-25	93,9	4,52 ± 0,024	-7	92,3	4,11 ± 0,096	-15
HCP ₀₅	-	0,20	-	-	0,64	-

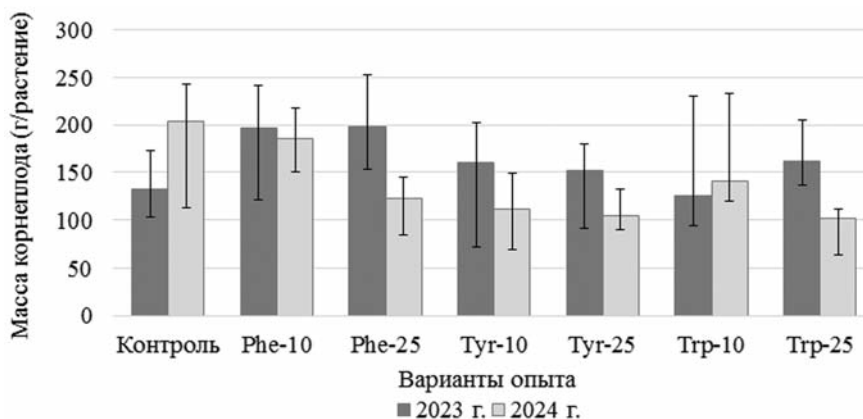


Рис. 3. Масса корнеплода (г/растение) в 2023-2024 годах (Me±Q1-Q3)
Fig. 3. Root weight (g/plant) in 2023-2024 (Me±Q1-Q3)

Таблица 4. Коэффициент вариации (%) показателей цикория обыкновенного в 2023-2024 годах
Table 4. Coefficient of variation (%) of common chicory parameters in 2023-2024

	Продуктивность надземной части			Масса корнеплода		
	2023 год	2024 год	разница	2023 год	2024 год	разница
Контроль	31	34	3	47	61	14
Phe-10	36	42	6	47	44	3
Phe-25	35	50	15	39	38	1
Tyr-10	25	38	13	58	41	17
Tyr-25	28	32	4	55	53	2
Trp-10	30	47	17	63	45	18
Trp-25	31	52	21	53	48	5
среднее	31	42	-	52	47	-

приятных для развития растений условиях в вариантах с аминокислотами несколько снижается изменчивость массы корнеплода и повышается изменчивость продуктивности надземной части. При этом не происходит значимого увеличения значений данных параметров.

Заключение

Использование представленных аминокислот в

качестве некорневой обработки позволяет повысить содержание биологически активных соединений в листьях цикория обыкновенного, однако не оказывает выраженного действия на продуктивность растений. Предпочтительно применение растворов аминокислот в меньшей концентрации – 10 мг/л. На эффективность данного приема значительное влияние оказывают метеорологические условия.

Литература / References

- Acuna I., Andrade-Piedra J., Andrivon D., Armengol J., Arnold A.E. et al. A global assessment of the state of plant health. *Plant Disease*. 2023;107(12):3649-3665. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-23-0166-FE>
- dos Santos T.B., Ribas A.F., de Souza S.G.H., Budzinski I.G.F., Domingues D.S. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*. 2022;2(1):113-135. <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>
- Oyebamiji Y.O., Adigun B.A., Shamsudin N.A.A., Ikmal A.M., Salisu M.A., Malike F.A., Lateef A.A. Recent advancements in mitigating abiotic stresses in crops. *Horticulturae*. 2024;10(2):156. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10020156>
- Kumari M., Swarupa P., Kesari K.K., Kumar A. Microbial inoculants as plant biostimulants: a review on risk status. *Life*. 2023;13(1):12. <https://doi.org/10.3390/life13010012>
- Ukolova A.Yu., Kuznetsova M.A. Use of biological and chemical fungicides and biostimulators for potato protection against early and late blights. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(3):83-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-83-89> <https://elibrary.ru/wbultc>
- Singh M., Subahan G.M., Sharma S., Singh G., Sharma N., Sharma U., Kumar V. Enhancing horticultural sustainability in the face of climate change: harnessing biostimulants for environmental stress alleviation in crops. *Stresses*. 2025;5(1):23. <https://doi.org/10.3390/stresses5010023>
- Rabdanova Z.K., Magomedova D.S., Kurbanov S.A. Scientific substantiation of agrotechnical methods of cultivation of onions on sandy soils. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(1):52-57. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-52-57> <https://elibrary.ru/jzcpel>
- Markarova A.E., Markarova M.Yu., Nadezhkin S.M. The influence of biostimulations on the yield and quality of Brassica oleracea hybrids in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(6):98-105. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-98-105> <https://elibrary.ru/bcslbj>
- Yan G., Shi Y., Mu C., Wang J. Differences in organic solute and metabolites of *Leymus chinensis* in response to different intensities of salt and alkali stress. *Plants*. 2023;12(9):1916. <https://doi.org/10.3390/plants12091916>
- Saeed W., Mubeen S., Pan J., Rehman M., Fang W., Luo D., Liu P., Li Y., Chen P. Integrated physiological and metabolomics responses reveal mechanisms of Cd tolerance and detoxification in kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under Cd stress. *Frontiers in Plant Science*. 2024;15:1332426. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1332426>
- Mehari T.G., Tang J., Gu H., Fang H., Han J., Zheng J., Liu F., Wang K., Yao D., Wang B. Insights into the role of GhTAT2 genes in tyrosine metabolism and drought stress tolerance in cotton.

- International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(3):1355. <https://doi.org/10.3390/ijms26031355>
12. Trovato M., Funck D., Forlani G., Okumoto S., Amir R. Amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772810>
13. Deveikyte J., Blynstrubienė A., Burbulis N. Amino acids as biostimulants: effects on growth, chlorophyll content, and antioxidant activity in *Ocimum basilicum* L. *Agriculture*. 2025;15(14):1496. <https://doi.org/10.3390/agriculture15141496>
14. Tarasevičienė Ž., Velička A., Paulauskienė A. Impact of foliar application of amino acids on total phenols, phenolic acids content of different mints varieties under the field condition. *Plants*. 2021;10(3):599. <https://doi.org/10.3390/plants10030599>
15. Oosalo A.A., Naseri L., Alirezalu A., Darvishzadeh R., Ebrahimi S.N. Exogenous phenylalanine application effects on phytochemicals, antioxidant activity, HPLC profiling, and PAL and CHS genes expression in table grapes (*Vitis vinifera* cv. 'Qzl Ouzum'). *BMC Plant Biology*. 2024;24:1216. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05934-4>
16. Atteya A.K.G., Serafy El-R.S., El-Zabalawy K.M., Elhakem A., Genaidy E.A.E. Exogenously supplemented proline and phenylalanine improve growth, productivity, and oil composition of salted moringa by up-regulating osmoprotectants and stimulating antioxidant machinery. *Plants*. 2022;11(12):1553. <https://doi.org/10.3390/plants11121553>
17. Sadak M.S., Bakry B.A., Abdel-Razik T.M., Hanafy R.S. Amino acids foliar application for maximizing growth, productivity and quality of peanut grown under sandy soil. *Brazilian Journal of Biology*. 2023;83:e256338. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256338>
18. Talaat I.M., Khattab H.I., Ahmed A.M. Changes in growth, hormones levels and essential oil content of *Ammi visnaga* L. plants treated with some bioregulators. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2014;21:355-365. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.10.008>
19. Turfan N., Kibar B., Davletova N., Kibar H. Ameliorative effects of humic acid and L-tryptophan on enzyme activity, mineral content, biochemical properties, and plant growth of spinach cultivated in saline conditions. *Food Science and Nutrition*. 2024;12:8324-8339. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4435>
20. Tahoun A.M.M.A., El-Enin M.M.A., Mancy A.G., Sheta M.H., Shaaban A. Integrative soil application of humic acid and foliar plant growth stimulants improves soil properties and wheat yield and quality in nutrient poor sandy soil of a semiarid region. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022;22:2857-2871. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00851-7>
21. Fouda S.E.E., El-Saadony F.M.A., Saad A.M., Sayed S.M., El-Sharnouby M., El-Tahan A.M., El-Saadony M.T. Improving growth and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) using chitosan, tryptophan, and potassium silicate anti-transpirants under different irrigation regimes. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022;29:955-962. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.007>
22. Velička A., Tarasevičienė Ž., Hallmann E., Kieltyka-Dadasiewicz A. Impact of foliar application of amino acids on essential oil content, odor profile, and flavonoid content of different mint varieties in field conditions. *Plants*. 2022;11(21):2938. <https://doi.org/10.3390/plants11212938>
23. Das D., Kashthoh H., Panda J., Rustagi S., Mohanta Y.K., Singh N., Baek K.-H. From hormones to harvests: a pathway to strengthening plant resilience for achieving sustainable development goals. *Plants*. 2025;14(15):2322. <https://doi.org/10.3390/plants14152322>
24. Mavrina P.O., Saybel O.L., Malankina E.L. Possibilities of using leaves cultivated chicory (*Cichorium intybus* L.) as a medicinal plant material (review). *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):105-110. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-105-110> <https://elibrary.ru/aqtnmh>
25. Rambaud C., Croy M., Choque E. The great diversity of products from *Cichorium intybus* L. culture: how to valorize chicory byproducts: a review. *Discover Plants*. 2025;2:107. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00195-3>
26. Al-Haliem S.M., Mohammed M.J., Abedelmaksoud T.G., Hesarinejad M.A., Baioumy A.A. Chicory (*Cichorium intybus*) leaves extract: phenolic composition, antibacterial activity, and antioxidant capacity assessment. *Food Science and Nutrition*. 2025;13(7):e70550. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70550>
27. Lee J., Scagel C.F. Chicoric acid: chemistry, distribution, and production. *Frontiers in Chemistry*. 2013;1. <https://doi.org/10.3389/fchem.2013.00040>
28. Rao M.J., Zheng B. The role of polyphenols in abiotic stress tolerance and their antioxidant properties to scavenge reactive oxygen species and free radicals. *Antioxidants*. 2025;14(1):74. <https://doi.org/10.3390/antiox14010074>
29. Salam U., Ullah S., Tang Z.-H., Elateeq, A.A., Khan, Y., Khan J., Khan A., Ali S. Plant metabolomics: an overview of the role of primary and secondary metabolites against different environmental stress factors. *Life*. 2023;13(3):706. <https://doi.org/10.3390/life13030706>
30. Rao M.J., Duan M., Zhou C., Jiao J., Cheng P., Yang L., Wei W., Shen Q., Ji P., Yang Y. et al. Antioxidant defense system in plants: reactive oxygen species production, signaling, and scavenging during abiotic stress-induced oxidative damage. *Horticulturae*. 2025;11(5):477. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050477>
31. Sinkovič L., Demšar L., Žnidarič D., Vidrih R., Hribar J., Treutter D. Phenolic profiles in leaves of chicory cultivars (*Cichorium intybus* L.) as influenced by organic and mineral fertilizers. *Food Chemistry*. 2015;166:507-513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.024>
32. Paglialonga G., Proietti S., Cardarelli M., Moscatello S., Colla G., Battistelli A. Chicory taproot production: effects of biostimulants under partial or full controlled environmental conditions. *Agronomy*. 2022;12(11):2816. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112816>
33. Saybel O.L., Dargaeva T.D., Tsitsilin A.N., Dul V.N. Development of technique for quantitative determination of total phenolic compounds in the *Cichorium intybus* L. herbs. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2016;(6):20-24. (In Russ.) <https://elibrary.ru/whptzv>
34. Glantz S. Primer of biostatistics. 4th ed. Moscow. Praktika; 1998. (In Russ.)
35. Strasburger E. Text-book of botany. M.: Publishing center "Academy", 2008. Vol. 2. Plant physiology. P. 191. (In Russ.)
36. Kisa D., Imamoglu R., Genc N., Sahin S., Qayyum M.A., Elmastas M. The interactive effect of aromatic amino acid composition on the accumulation of phenolic compounds and the expression of biosynthesis-related genes in *Ocimum basilicum*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2021;27:2057-2069. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01068-1>
37. Haghighi M., Sadeghabad A.B., Abolghasemi R. Effect of exogenous amino acids application on the biochemical, antioxidant, and nutritional value of some leafy cabbage cultivars. *Scientific Reports*. 2022;12:17720. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21273-6>
38. Matysiak K., Kierzek R., Siatkowski I., Kowalska J., Krawczyk R., Miziniak W. Effect of exogenous application of amino acids L-arginine and glycine on maize under temperature stress. *Agronomy*. 2020;10(6):769. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060769>
39. Rosa R., Franczuk J., Zaniewicz-Bajkowska A., Remiszewski K., Dydiv I. Effect of L-glycine on the growth and selected nutritional elements of butterhead lettuce. *Journal of Ecological Engineering*. 2022;23(7):20-28. <https://doi.org/10.12911/22998993/149861>
40. Mavrina P.O., Adamov G.V., Malankina E.L. Effect of alanine on accumulation of phenolic compounds in the leaves of chicory (*Cichorium intybus* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2023;(5):62-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-5-62-67> <https://elibrary.ru/wuhrqe>

Об авторе:

Полина Олегоана Маврина – младший научный сотрудник отдела химии и технологии природных соединений, <https://orcid.org/0000-0002-8559-8771>, SPIN-код: 7119-8667, mavrina.vilarnii@yandex.ru

About the Author:

Polina O. Mavrina – Junior Researcher, Department of Chemistry and Technology of Natural Compounds, <https://orcid.org/0000-0002-8559-8771>, SPIN-code: 7119-8667, mavrina.vilarnii@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-44-50>
УДК: 635.64-02:631.544:631.937.15

И.И. Рассохина, Л.В. Сухарева*,
М.М. Кузнецова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук» (ФГБУН ВолНЦ РАН)
160014, Россия, Вологодская область, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а

*Автор для переписки:

lyubov.suxareva@yandex.ru

Вклад авторов: Рассохина И.И.: концептуализация, методология, проведение исследования, руководство исследованием, редактирование рукописи перед отправкой. Сухарева Л.В.: проведение исследования, редактирование рукописи, визуализация исследования. Кузнецова М.М.: проведение исследования, формальный анализ, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рассохина И.И., Сухарева Л.В., Кузнецова М.М. Действие препарата, созданного на основе бактерий *Bacillus subtilis*, на рост и продуктивность томата в условиях закрытого грунта. *Овощи России*. 2026;(1):44-50. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-44-50>

Поступила в редакцию: 27.06.2025

Принята к печати: 18.09.2025

Опубликована: 16.03.2026

Irina I. Rassokhina, Lyubov V. Sukhareva*,
Maria M. Kuznetsova

Federal State Budgetary Institution of Science "Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (FSBI VolSC RAS)
56a, Gorky St., Vologda,
Vologda Oblast, Russia, 160014

*Corresponding Author:

lyubov.suxareva@yandex.ru

Authors' Contribution: Rassokhina I.I.: conceptualization, methodology, investigation, supervision, writing – review & editing. Sukhareva L.V.: investigation, writing – review & editing, visualization. Kuznetsova M.M.: investigation, formal analysis, writing – original draft.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interests.

For citations: Rassokhina I.I., Sukhareva L.V., Kuznetsova M.M. The effect of a preparation based on *Bacillus subtilis* bacteria on the growth and productivity of tomatoes in closed ground conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):44-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-44-50>

Received: 27.06.2025

Accepted for publication: 18.09.2025

Published: 16.03.2026

Действие препарата, созданного на основе бактерий *Bacillus subtilis*, на рост и продуктивность томата в условиях закрытого грунта

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В соответствии с научно-обоснованным нормам питания в России необходимо производить около 17 млн т овощной продукции, однако обеспеченность достигнута лишь для 8–11% населения страны. Учитывая высокую потребность в овощной продукции, а также популярность томата, поиск перспективных путей повышения урожайности томата в настоящее время весьма актуален. Один из возможных экологически безопасных способов – использование биопрепаратов. Цель исследования – изучить действие препарата «Натурост» (*Bacillus subtilis*) на ростовые и продуктивные показатели томата.

Материал и методика. Опыты проводили в поликарбонатной теплице в 2021–2023 годах (томат Маныч) и в рамках производственного опыта (томат Прозезо F₁) – в 2023 году. Изучаемый препарат «Натурост» вносили дважды: под корневую систему при пересадке и по филлосфере путем опрыскивания растений. В исследованиях определяли высоту растений, количество цветков и бутонов, количество и массу плодов. Уборку плодов и их оценку в условиях поликарбонатной теплицы осуществляли по мере побурения плодов, в производственном опыте – дважды в неделю.

Результаты. Внесение препарата «Натурост» увеличивало высоту растений томата и количество цветков на 5–13% и в 2,0–3,4 раза в условиях поликарбонатной теплицы. Итоговое количество плодов в варианте с внесением препарата было выше контроля в 1,9–3,7 раза, продуктивность культуры – на 50–117%. Результаты производственного опыта продемонстрировали менее существенное действие препарата в строго контролируемых и откорректированных условиях возделывания томата гидропонным методом: различия по высоте и урожайности растений достигают лишь 3–4%. Вероятно, основной механизм активации роста томата при внесении микробного препарата «Натурост» – повышение устойчивости растений к неблагоприятным условиям возделывания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Solanum lycopersicum, *Bacillus subtilis*, рост, количество цветков, количество плодов, урожайность

The effect of a preparation based on *Bacillus subtilis* bacteria on the growth and productivity of tomatoes in closed ground conditions

ABSTRACT

Relevance. In accordance with scientifically based nutrition standards in Russia, it is necessary to produce about 17 million tons of vegetable products, however, the provision has been achieved only for 8–11% of the country's population. Given the high need for vegetable products, as well as the popularity of tomatoes, the search for promising ways to increase tomato yields is currently relevant. One possible environmentally friendly way is to use biologics. The purpose of the study is to study the effect of the drug "Naturost" (*Bacillus subtilis*) on the growth and productive indicators of tomato.

Materials and Methods. The experiment was staged in a polycarbonate greenhouse in 2021–2023. (Manych tomato) and within the framework of production experience (Prodezo F₁ tomato) – in 2023. The studied drug "Naturost" was introduced twice: under the root system during transplantation and along the phyllosphere by spraying plants. The studies evaluated the height of the plants, the number of flowers and buds, the number and weight of fruits. Harvesting of fruits and their assessment in the conditions of a polycarbonate greenhouse was carried out as the fruits were browned, in the production experience – twice a week.

Results. Application of the drug "Naturost" increased tomato plant height and flower number by 5–13% and 2.0–3.4 times under polycarbonate greenhouse conditions. The total number of fruits in the variant with the application of the drug was higher than the control by 1.9–3.7 times, the productivity of the crop – by 50–117%. The results of the production experiment demonstrated a less significant effect of the drug in strictly controlled and adjusted hydroponic tomato cultivation conditions: differences in plant height and yield reach only 3–4%. Probably, the main mechanism of activation of tomato growth during the application of the microbial preparation "Naturost" is to increase the resistance of plants to unfavorable cultivation conditions.

KEYWORDS:

Solanum lycopersicum, *Bacillus subtilis*, growth, number of flowers, number of fruits, yield

Введение

Возделывание томата в Европе берет начало в 50–60 годы XVI века, при этом открытие и использование в мировом сельском хозяйстве данного вида датируется V веком до н. э. Николай Иванович Вавилов центром происхождения томата указывал Южноамериканский район [1]. В России, как и в мире, томат относится к одной из важнейших овощных культур, которую возделывают в условиях и открытого и защищенного грунта. Каждая седьмая тонна собранного в мире урожая овощей – томат, удельный вес которого в общем объеме переработанного плодоовощного сырья составляет около 80% [2]. Популярность томата связана с содержанием в плодах каротиноидов (ликопин, бета-каротин, лютеин), аскорбиновой кислоты (витамин С) и полифенолов [3–4]. Томат является важной добавкой в большинстве диет и относительно дешевым источником витаминов и питательных веществ. Он также защищает организм от болезней, что связано с действием витаминов и бета-каротина как антиоксидантов, которые нейтрализуют вредные свободные радикалы в крови человека [5].

Гарантированное снабжение населения качественными продуктами питания вне сезонности представляет собой стратегическую задачу продовольственной безопасности. Ключевым инструментом ее решения выступает «Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» [6]. В развитие данного стратегического документа реализуется Федеральный проект «Развитие отраслей овощеводства и картофелеводства». Его целевые ориентиры предусматривают наращивание объемов производства овощей защищенного грунта на 14 процентов к 2025 году и на 38 процентов – к 2030 году [7].

Для снабжения населения России овощами согласно научно-обоснованным нормам питания (119 кг овощей на 1 человека в год) необходимо производить 17 млн тонн овощной продукции [8]. Однако обеспеченность требуемой нормой свежих овощей и фруктов достигнута лишь для 8–11% населения страны, при этом ярко выражены региональные отличия по данному показателю. Например, в Северо-Западном федеральном округе потребление овощей и фруктов существенно отстает от требуемых норм: на человека в год приходится лишь 93 кг овощей и фруктов, из них около 10 кг приходится на томат [9].

В 2024 году посевные площади под томат открытого грунта в хозяйствах всех категорий в России составили 78,9 тыс. га, а валовый сбор достигал 2,05 млн т в условиях открытого грунта и 0,98 млн т в условиях защищенного. Наиболее крупными производителями томата являются Южный, Центральный и Приволжский регионы Российской Федерации [10]. При этом, исходя из агроклиматических условий Северо-Западного федерального округа, возделывание томата осуществляется в условиях тепличных хозяйств.

Коммерческому производству этой культуры при выращивании в открытом и защищенном грунтах препятствуют биотические и абиотические факторы. Одной из весомых проблем, связанной с действием абиотических факторов, является сохранение качества плодов томата при хранении: данный вид относится к культуре климактерического типа (быстро созревают и стареют, теряя показатели качества) [11]. Биотические факторы, например вредоносные микроорганизмы, также способны снижать качество и сохранность продукции и семян, урожайность культуры, а также способствовать высокой контаминации плодов фито-, микотоксина-

ми или аллергенами [12]. Так, высокие потери для овощеводства связаны с широким распространением таких грибных болезней, как фитофтороз, черная ножка, бурая пятнистость, макроспориоз, мучнистая роса и пр. [13]. При этом ослабленные растения становятся еще более восприимчивы к патогенам и стрессорам абиотической природы. В связи с этим обоснованные и своевременные агротехнические приемы в отношении томата, использование средств защиты растений и активаторов роста важно для получения качественной продукции. Однако помимо традиционного используемых химических средств возможно использование и биологических препаратов. Весомым преимуществом биологических методов (применение биообъектов и биопрепаратов) для борьбы с болезнями овощных культур и активацией их роста – минимизация воздействия на окружающую среду и отсутствие аккумуляции в сельскохозяйственной продукции [14].

Цель работы: изучить действие препарата, созданного на основе бактерий *Bacillus subtilis*, на ростовые и продуктивные показатели томата в условиях закрытого грунта.

Материал и методика проведения исследований

В рамках исследования изучали действие экспериментального препарата «Натурост», созданного на основе бактерий *Bacillus subtilis*, на ростовые и продуктивные показатели томата в условиях защищенного грунта. Опыты в поликарбонатной теплице ВолНЦ РАН осуществляли в 2021–2023 годах, производственный опыт в теплице на базе СХПК «Тепличный» (г. Вологда) – в 2023 году.

Испытуемый микробиологический препарат «Натурост», разработанный и предоставленный ООО «Биотроф», создан на основе штамма *Bacillus subtilis* №111. Биологическая активность штаммов *B. subtilis* обусловлена их способностью к биосинтезу широкого спектра биоактивных соединений, включая индолилуксусную кислоту (ИУК), липопептиды, этилен и полиамины [15–17]. Данные метаболиты индуцируют у растений системную резистентность, стимулируют ростовые процессы [18–20], ускоряют онтогенез и повышают толерантность к стресс-факторам. Вследствие этого, применение препарата «Натурост» предположительно обеспечит антифунгальную и антибактериальную активность, сокращение периода созревания, повышение общей урожайности и качества продукции (включая снижение уровня микотоксинов). Рабочий раствор готовили путем разведения 1 мл препарата в 1 л водопроводной воды.

Объектом исследования был томат (*Solanum lycopersicum* L.) сорт Маньч (опыты в теплице ВолНЦ РАН) и гибрид Прозево F₁ (производственный опыт в теплице на базе СХПК «Тепличный»). Сорт Маньч является раннеспелым, самоопыляемым, низкорослым, детерминантным, включен в Госреестр по РФ для выращивания в весенних необогреваемых теплицах в ЛПХ [21]. Рассадка томата данного сорта для постановки опытов в поликарбонатной теплице приобретена в СХПК «Тепличный» (г. Вологда). Все растения в опыте имели заведомо схожий внешний вид и морфометрические параметры, а также стадию развития.

Для постановки опытов в поликарбонатной теплице ВолНЦ РАН в 2021 году был закуплен универсальный грунт от компании «4 сада» (г. Вологда) в состав которого входили: торф низинный, торф верховой, песок, дол. мука, агроперлит. Исследования 2022–2023 годов осуществляли на том же грунте без дополнительного внесения минеральных и/или органических удобрений.

Вегетационные периоды 2021–2023 годов значительно различались по погодным условиям: сезон 2022 года был умеренным по температуре (средняя температура вегетационного периода 15,6оС), 2023 года – более прохладным (средняя температура вегетационного периода 14,9оС), а 2021 года – жарким (средняя температура вегетационного периода 18,2оС) [22]. Полив растений опытной и контрольной группы осуществляли отстоянной водопроводной водой в одно время и в одинаковом количестве (в зависимости от условий влажности почвы в момент полива). Проветривание теплицы – по мере необходимости.

Производственный опыт в теплице на базе СХПК «Тепличный» проводили в условиях гидропонной культуры: культивирование растений на стекловате. Опыт был поставлен в единой теплице на одной линии (уход за растениями осуществляли одним специалистом хозяйства), полив – капельным способом идентичным питательным раствором.

Критерием созревания плода являлось появление первых признаков покраснения и/или побурения.

Исследования включало два варианта: контроль (использовалась водопроводная вода) и опыт (раствор экспериментального микробного препарата «Натурост»). В опытах 2021–2023 годов в условиях поликарбонатной теплицы (рис. 1) внесение препарата осуществляли следующим образом: замачивание корневой системы рассады томата перед посадкой в грунт в течение 2 минут и вторичное внесение путем опрыскивания растений по филлосфере спустя 2 недели после посадки растений. Каждый вариант в данном опыте включал в себя по 10 растений.

В производственном опыте (рис. 2) внесение препарата осуществляли путем полива корневой системы в период пересадки растений на стекловату (100 мл под растение) и опрыскивания филлосферы растений спустя 2 недели после пересадки. Каждый вариант включал в себя по 16 растений (по 4 емкости с субстратом, в каждом по 4 растения).



Рис. 1. Постановка опыта в поликарбонатной теплице ВолНЦ РАН:
 А – замачивание корневой системы в растворе биопрепарата «Натурост» при посадке;
 Б – общий вид теплицы
Fig. 1. Setting up an experiment in a polycarbonate greenhouse of the VolNC RAS:
 А – soaking of the root system in a solution of the biological product "Naturest" during planting;
 В – general view of the greenhouse



Рис. 2. Постановка производственного опыта в теплице СХПК «Тепличный»:
 А - первичное внесение препаратов путем полива;
 Б - опрыскивание растений при вторичном внесении исследуемого препарата
Fig. 2. Setting up production experience in the greenhouse of the greenhouse complex "Teplichny":
 А - primary application of drugs by irrigation;
 В - spraying of plants with secondary application of the studied drug

В исследованиях, как в условиях поликарбонатной теплицы, так и на базе сельскохозяйственной организации, осуществляли оценку следующих ростовых и продуктивных параметров: высота растения, количество цветков и бутонов, количество и масса плодов. Уборку плодов в условиях поликарбонатной теплицы осуществляли по мере побурения плодов, в производственном опыте – дважды в неделю. Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерной программы Microsoft Excel, 2019.

Результаты исследований и их обсуждение

Влияние внесения препарата «Натурост» на ростовые показатели томата сорта Маныч в условиях поликарбонатной теплицы отражено в таблице 1. Обработка способствовала увеличению высоты растений: на 5–7% в фазу начального роста (июнь, 36-ой день после высадки рассады в грунт) и на 16–33% к фазе активной вегетации (июль, 49-ый день после высадки рассады в грунт). В вегетационном сезоне 2023 года статистически значимое превышение высоты отмечали на всех этапах наблюдений, в отличие от 2022 года, где достоверный эффект проявлялся лишь с середины вегетации.

В ходе вегетации, наряду с высотой растений, фиксировали изменения количества цветков и бутонов в соцветиях.

Учитывая, что этот показатель служит индикатором потенциальной продуктивности, его мониторинг представляет научный интерес. На рисунке 3 представлены данные за 2022 год, полученные в условиях поликарбонатной теплицы. Как следует из представленных результатов, обработка препаратом «Натурост» на протяжении всего вегетационного периода стимулировала увеличение количества цветков и бутонов в 2,0–3,4 раза по сравнению с контролем.

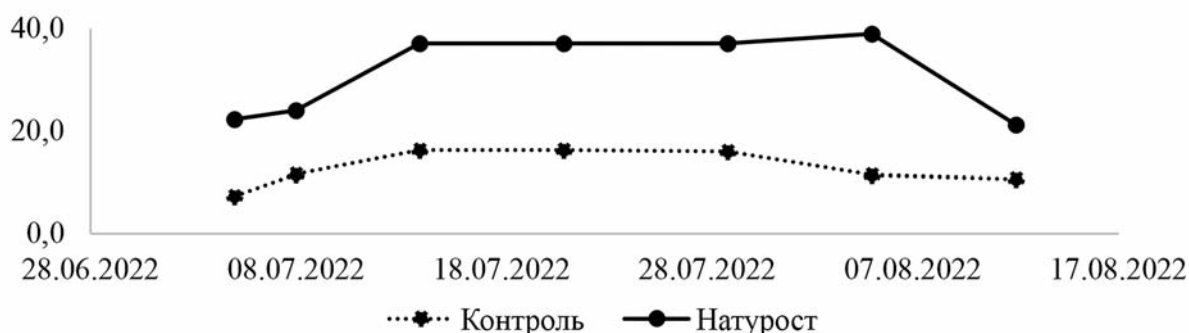
Оценка продуктивности и структуры урожая томата в опытной и контрольной группах являлась ключевым этапом исследования (табл. 2). Анализ данных показал, что в условиях поликарбонатной теплицы применение препарата «Натурост» приводило к увеличению количества плодов на растении в 1,9–3,7 раза по сравнению с контролем. Масса плодов с одного растения также возрастала, достигая значений существенно выше контрольных. При этом динамика массы отдельного плода варьировала по годам, достоверное увеличение было выявлено лишь в опыте 2023 года.

Выявленные существенные различия опытных и контрольных вариантов как по ростовым, так и по продуктивным показателям позволили провести производственный опыт. Базой для проведения такого исследования стало реальное овощеводческое хозяйство региона – СХПК «Тепличный». Однако отметим, что технология возделывания томата

Таблица 1. Результаты оценки высоты растений томата сорта Маныч при внесении препарата «Натурост» в условиях поликарбонатной теплицы ВолНЦ РАН в опытах 2022–2023 годов
Table 1. Results of the assessment of the height of tomatoes of the Manych variety when applying the drug "Naturest" in a polycarbonate greenhouse of the VolNC RAS in experiments in 2022-2023

Сутки после высадки рассады в грунт, сут.	Высота растения, см					
	опыт 2022 года			опыт 2023 года		
	контроль	Натурост	НСР ₀₅	контроль	Натурост	НСР ₀₅
36-ые	72,3±2,5	76,1±2,5	8,00	52,7±1,4	56,5±0,8*	3,45
42-ые	82,0±4,6	89,7±3,4	12,54	62,7±2,1	74,0±4,0*	9,67
49-ые	90,3±5,0	104,4±3,8*	13,69	64,2±4,0	85,5±5,1*	13,92

* Разница с контролем статистически достоверна при P>0,05.



* Разница с контролем статистически достоверна при P>0,05.

Рис. 3. Динамика изменения количества цветков и бутонов томата (опыт 2022 год)
Fig. 3. Dynamics of changes in the number of tomato flowers and buds (2022 experience)

Таблица 2. Продуктивность томата в условиях поликарбонатной теплицы ВолНЦ РАН при внесении препарата «Натурост»
Table 2. Tomato productivity in a polycarbonate greenhouse of the VolNC RAS when applying the drug "Naturesst"

Год опыта	Вариант	Среднее количество плодов с растения, шт.	Средняя масса одного плода, г	Средняя масса плодов с одного растения, кг
2021	Контроль	11,4±0,7	118,9±9,5	1,452±0,112
	Натурост	21,6±2,0*	117,5±11,2	2,181±0,175*
	НСР ₀₅	5,3	17,1	0,422
2022	Контроль	8,8±0,9	121,9±13,3	1,583±0,141
	Натурост	32,2±2,5*	92,7±15,4	2,998±0,301*
	НСР ₀₅	5,8	30,1	0,577
2023	Контроль	14,1±2,4	90,4±9,8	1,400±0,164
	Натурост	26,1±3,2*	120,4±15,3*	3,050±0,268*
	НСР ₀₅	5,9	15,4	0,450

* Разница с контролем статистически достоверна при $P>0,05$.

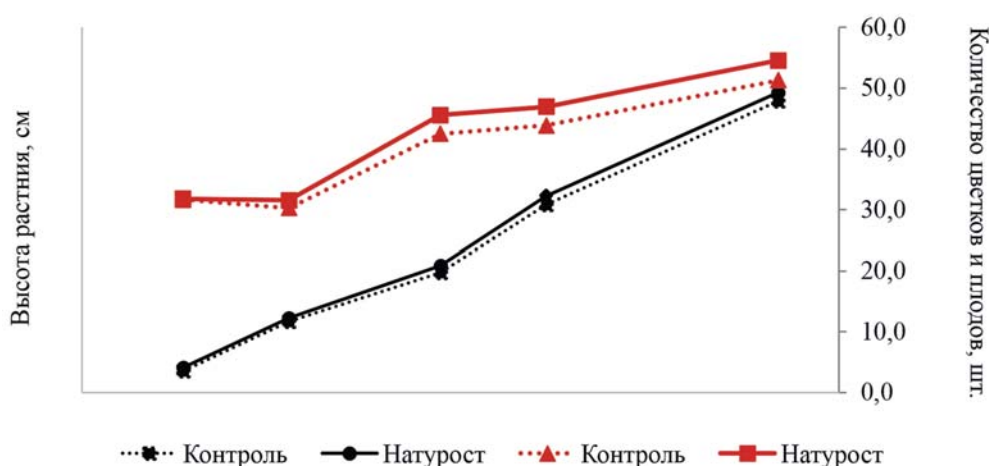


Рис. 4. Динамика изменения биометрических показателей растений томата в производственном опыте на базе СХПК «Тепличный»

Fig. 4. Dynamics of changes in the biometric parameters of tomato plants in the production experience on the basis of the Greenhouse agricultural Complex

существенно отличалась от ранее проведенных опытов в поликарбонатной теплице: в условиях хозяйства культивирование томата идет гидропонным методом. Результаты производственного опыта показали незначительное действие вносимого микробного препарата «Натурост» на ростовые параметры томата в процессе вегетации: различия по высоте культуры, а также количеству соцветий, бутонов и плодов находились в пределах 3% (рис. 4).

Относительно незначительные изменения ростовых параметров томата в условиях производственного опыта

при внесении испытуемого микробного препарата способствовали увеличению урожайности на 4%, что наблюдаю за счет увеличения массы плодов (различия статистически достоверны, табл. 3).

Вероятно, столь ощутимая прибавка по ростовым и продуктивным показателям растений в условиях поликарбонатной теплицы связана, прежде всего, с эффективным ростостимулирующим действием микроорганизмов изучаемого биопрепарата. Как уже было отмечено ранее в основе препарата лежит штамм *B. subtilis*, который способен к большо-

Таблица 3. Продуктивность томата в условиях производственного опыта на базе СХПК «Тепличный» при внесении препарата «Натурост»

Table 3. Productivity of tomatoes in the conditions of production experience on the basis of the Greenhouse agricultural complex when applying the drug Naturesst

Показатель	Контроль	Натурост	НСР ₀₅
Среднее количество плодов с 1 растения, шт.	151,1±7,4	152,2±6,8	25,9
Средняя масса 1 плода, г	106,7±1,4	110,6±1,6*	3,5
Средняя масса плодов с растения, кг	16,0±0,6	16,7±0,6	1,3

* Разница с контролем статистически достоверна при $P>0,05$.

му количеству продукции важных для роста и развития растений метаболитов (фитогормоны, сидерофоры и пр.). При этом стоит отметить, что показатели продуктивности томата контрольных вариантов в поликарбонатной теплице были низкими (ниже средних для сорта), вероятно, условия возделывания культуры: освещение и почвенное питание, – были недостаточными. Однако использование экспериментального препарата «Натурост» позволило существенно увеличить продуктивность, прежде всего, за счет увеличения количества плодов. Вероятно, один из механизмов благоприятного действия бактерии *B. subtilis* на рост и продуктивность томата – повышение устойчивости растений к неблагоприятным условиям возделывания томата. Это подтверждают и результаты, полученные в ходе производственного опыта на базе СХПК «Тепличный». Так, в условиях возделывания томата вне лимитирующих их рост и развитие факторов (в условиях реального хозяйства температура, освещение, питание откорректированы и строго контролируются) препарат «Натурост» не привел к значимой прибавке по урожайности, различия с контролем достигают 4%. Кроме того, существенно меньшая прибавка урожайности томата может быть связана и с возделыванием

растений в гидропонных условиях, где жизнедеятельность и биосинтетическая способность бактерий затруднены.

Заключение

Применение экспериментального микробного препарата «Натурост» в поликарбонатной теплице с субоптимальными условиями возделывания обеспечило значительное увеличение урожайности томата сорта Маныч (различия достигали 50–117%). Помимо прироста урожайности, опытные растения достоверно превосходили контрольные по высоте: на 5–7% в начальной фазе вегетации и на 16–33% к ее середине. Также зафиксировано увеличение числа цветков и бутонов в соцветиях в 2,0–3,4 раза. Полученные данные позволяют предположить, что одним из механизмов стимуляции роста и урожайности исследуемым экспериментальным препаратом является усиление адаптивного потенциала растений к условиям пониженной освещенности. В производственном опыте на базе СХПК «Тепличный» (условия возделывания культуры откорректированы и строго контролируются, используется гидропонный метод культивирования растений) препарат увеличил урожайность томата лишь на 4%.

• Литература

- Чусовитина К.А., Цикарева О.С. Биологические особенности томата. *Вклад молодых ученых в развитие АПК: Сборник тезисов, подготовленный в рамках Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь и наука – 2022» (15 марта 2022 г.). В 2-х томах. Том 2.* 2022;(2):26-28. <https://elibrary.ru/tgmjvw>
- Титова Л.В., Бородин В.С. Фенология развития гибридов томата черри при выращивании в продленном обороте. *Наука и Образование.* 2024;(1)7:1-6. <https://elibrary.ru/ngdek>
- Терехова В.И., Дыйканова М.Е., Воробьев М.В., Бочарова М.А. Влияние некорневых обработок органическими препаратами на качество и урожайность продукции томата. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии.* 2024;(4):102-115. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-102-115> <https://elibrary.ru/bbqsss>
- Méndez-Carmona J.Y., Ascacio-Valdes J.A., Alvarez-Perez O.B., Hernández-Almanza A.Y., Ramírez-Guzmán N., Sepúlveda L., Aguilar-González M.A., Ventura-Sobrevilla J. M., Aguilar C. N. Tomato waste as a bioresource for lycopene extraction using emerging technologies. *Food Bioscience.* 2022;49:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101966>
- Ахмедова П.М. Влияние биопрепаратов на хозяйственно ценные показатели при производстве томата отечественной селекции в условиях открытого грунта Республики Дагестан. *Овощи России.* 2024;(2):65-70. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-65-70> <https://elibrary.ru/yusdzy>
- Козлова И.В. Состояние и перспективы развития селекции томата в условиях современного рынка. *Овощи России.* 2021;(5):11-15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-11-15> <https://elibrary.ru/mguzio>
- Паспорт государственной программы (комплексной программы) Российской Федерации «Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» (утв. Правительством РФ 24.12.2022 № ММ–П11–22479). Федеральный проект «Развитие отраслей овощеводства и картофелеводства», 2023–2030 гг. Режим доступа: <https://www.consultant.ru> (дата обращения 20.03.2025).
- Мустафаев Г.М., Гаджиева А.М., Сапукова А.Ч. Влияние различных агротехнических приемов на сроки созревания и урожай томатов. Роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности: материалы Международной научно-практической конференции (Мелитополь, 21 июня 2024 г.). МелГУ. 2024; 92-99. <https://elibrary.ru/yiaawbs>
- Першакова Т.В., Яковлева Т.В., Котвицкая Д.В. Современные тенденции и перспективы обеспечения населения России овощной продукцией. *Плодоводство и виноградарство Юга России.* 2024;(4)88:72-86. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2024-4-88-72-86>
- Енгальчев М.Р., Джос Е.А., Матюкина А.А., Вербя О.В., Демиденко Е.В., Соснов В.С., Рубцов А.А. Селекция томата для открытого грунта юга России. *Овощи России.* 2024;(2):5-11. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-5-11> <https://elibrary.ru/apghyx>
- Яковлева Т.В., Першакова Т.В., Чернявская Ю.Н. Современное производство и особенности хранения томатов в России. *Плодоводство и виноградарство Юга России.* 2024;90(6):134-152. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2024-6-90-134-152> <https://elibrary.ru/hykbkt>
- Стручалина Е.В., Соколова Л. М. Оценка исходного материала томата к комплексу патогенов и поиск источников устойчивости для селекции в Волгоградской области. *Агронаука.* 2025;(1)3:38-50. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-2025-3-1-38-50> <https://elibrary.ru/mysbtx>
- Шнейдер Ю. А., Каримова Е.В., Приходько Ю.Н., Лозовая Е.Н., Живаева Т.С. Вирусы томата, особо опасные для овощеводства России. *Картофель и овощи.* 2021;(6):3-8. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.93.45.001> <https://elibrary.ru/jkrhlc>
- Садовина А.А., Марьяна-Чермных О.Г. Влияние биологических препаратов на семенную инфекцию и посевные качества томата. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки».* 2020;(6)2:193-197. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-193-197> <https://elibrary.ru/zfxwmd>
- Платонов А.В., Рассохина И.И., Ильина Л.А., Йылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю. Практическое обоснование возможности использования экспериментального биопрепарата при выращивании ячменя. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2024;(16)2:271-291. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-2-809> <https://elibrary.ru/eqcklf>
- Платонов А.В., Рассохина И.И., Ерегина С.В. Изменение продуктивности и питательной ценности горохоовсяной травосмеси под влиянием биопрепаратов, основа которых бактерии рода *Bacillus*. *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2024;(113):220-225. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-113-220-225>
- Miljkovic D., Marinkovic J., Balesevic-Tubic S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms.* 2020;(8)7:1-19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Samaras A., Roumeliotis E., Ntasiou P., Karaoglanidis G. *Bacillus subtilis* MBI600 Promotes Growth of Tomato Plants and Induces Systemic Resistance Contributing to the Control of Soilborne Pathogens. *Plants.* 2021;10(6):1-17. <https://doi.org/10.3390/plants10061113>
- Venancio W.S., Gomes J.M., Nakatani A.S., Araujo M.H. and R.S. Lettuce Production under Reduced Levels of N-fertilizer in the Presence of Plant Growth-promoting *Bacillus* spp. Bacteria. *J Pure*

Appl Microbiol. 2019;13(4):1941-1952. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.4.06>
 20. Ortega-García M., Ríos-Rocaful Y., Zelaya-Molina L.X., Ruiz-Ramírez S., Zaldívar-López H.A., Chávez-Díaz I.F. Bioprospecting a mountain-derived phosphorus-solubilizing bacterium: *Bacillus thuringiensis* B3 as a plant-growth promoter in lettuce and tomato horticultural crops, *Scientia Horticulturae*. 2024;337:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113568>
 21. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию. Режим доступа: <https://gossortf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-d-ostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni> (дата обращения 20.03.2025).
 22. Справочно-информационный портал "Погода и климат" 2004–2025. Режим доступа: http://www.pogodaiklimat.ru/history/27037_2.htm (дата обращения 02.02.2025).

• References

1. Chusovitina K.A., Cikareva O.S. Biological characteristics of tomato. 2022;(2):26-28. <https://elibrary.ru/tgmjvw> (In Russ.)
2. Titova L.V., Borodin V.S. Phenology of the development of hybrids of cherry tomato in extended cultivation. *Nauka i Obrazovanie*. 2024;(1)7:1-6. <https://elibrary.ru/ngdekd> (In Russ.)
3. Terekhova V.I., Dyikanova M.E., Vorob'ev M.V., Bocharova M.A. Effect of foliar fertilization with organic preparations on tomato quality and yield. *Izvestiya of Timiryazev agricultural academy*. 2024;(4):102-115. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-102-115> <https://elibrary.ru/bbqsss> (In Russ.)
4. Méndez-Carmona J.Y., Ascacio-Valdes J.A., Alvarez-Perez O.B., Hernández-Almanza A.Y., Ramírez-Guzmán N., Sepúlveda L., Aguilar-González M.A., Ventura-Sobrevilla J. M., Aguilar C. N. Tomato waste as a bioresource for lycopene extraction using emerging technologies. *Food Bioscience*. 2022;49:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101966>
5. Akhmedova P.M. The influence of biological products on economically valuable indicators in the production of tomatoes of domestic selection in open ground conditions of the Republic of Dagestan. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(2):65-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-65-70> <https://elibrary.ru/yusdzy>
6. Kozlova I.V. State and prospects of development of tomato breeding in modern market conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(5):11-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-11-15> <https://elibrary.ru/mguzio>
7. Passport of the state program (comprehensive program) of the Russian Federation «State program of agricultural development and regulation of markets of agricultural products, raw materials and food» (Government of RF 24.12.2022 MM-P11-22479). Federal project «Development of vegetable and potato sectors», 2023-2030. Access mode: <https://www.consultant.ru> (date of request 20.03.2025). (In Russ.)
8. Mustafaev G.M., Gadzhieva A.M., Sapukova A.CH. Impact of different agricultural techniques on the ripening time and yield of tomatoes. *MeIGU*. 2024; 92-99. (In Russ.) <https://elibrary.ru/yiawbs>
9. Pershakova T.V., Yakovleva T.V., Kotvitskaya D.V. Current trends and prospects of providing the Russian population with vegetable products. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2024;(4)88:72-86. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2024-4-88-72-86> (In Russ.)
10. Engalychev M.R., Dzhos E.A., Matyukina A.A., Verba O.V., Demidenko E.V., Sosnov V.S., Rubtsov A.A. Tomato breeding for open

ground in the south of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(2):5-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-5-11> <https://elibrary.ru/apghyx>
 11. Yakovleva T.V., Pershakova T.V., Chernyavskaya Y.N. Modern production and storage features of tomatoes in Russia. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2024;90(6):134-152. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2024-6-90-134-152> <https://elibrary.ru/hykbkt> (In Russ.)
 12. Struchalina E.V., Sokolova L.M. Evaluation of tomato source material to a complex of pathogens and search for sources of resistance for breeding in the Volgograd region. *Agroscience*. 2025;(1)3:38-50. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-2025-3-1-38-50> <https://elibrary.ru/mysbtx>. (In Russ.)
 13. Shneyder Yu.A., Karimova E.V., Prikhodko Yu.N., Lozovaya E.N., Zhivaeva T.S. Tomato viruses especially dangerous for vegetable growing of Russia. *Potato and vegetables*. 2021;(6):3-8. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.93.45.001> <https://elibrary.ru/jkrhlc> (In Russ.)
 14. Sadovina A.A., Maryina-Chernykh O.G. Influence of biological preparations on seed infection and seed quality of tomatoes. Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics". 2020;(6)2:193-197. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-193-197> <https://elibrary.ru/zfxwdm> (In Russ.)
 15. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Ilna L.A., Yildirim E.A., Laptev G.Yu. Substantiation of the Possibility of using an Experimental Biological Preparation in Barley Cultivation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024;(16)2:271-291. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-2-809> <https://elibrary.ru/eqckif> (In Russ.)
 16. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Ereghina S.V. Modification in productivity and nutritive value of pea-oat grass mixture influenced by bio-preparations based on Bacillus bacteria. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024;(113):220-225. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-113-220-225> (In Russ.)
 17. Miljakovic D., Marinkovic J., Balesevic-Tubic S. The significance of Bacillus spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms*. 2020;(8)7:1-19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
 18. Samaras A., Roumeliotis E., Ntasiou P., Karaoglanidis G. *Bacillus subtilis* MBI600 Promotes Growth of Tomato Plants and Induces Systemic Resistance Contributing to the Control of Soilborne Pathogens. *Plants*. 2021;10(6):1-17. <https://doi.org/10.3390/plants10061113>
 19. Venancio W.S., Gomes J.M., Nakatani A.S., Araujo M.H. and R.S. Lettuce Production under Reduced Levels of N-fertilizer in the Presence of Plant Growth-promoting *Bacillus* spp. Bacteria. *J Pure Appl Microbiol.* 2019;13(4):1941-1952. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.4.06>
 20. Ortega-García M., Ríos-Rocaful Y., Zelaya-Molina L.X., Ruiz-Ramírez S., Zaldívar-López H.A., Chávez-Díaz I.F. Bioprospecting a mountain-derived phosphorus-solubilizing bacterium: *Bacillus thuringiensis* B3 as a plant-growth promoter in lettuce and tomato horticultural crops, *Scientia Horticulturae*. 2024;337:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113568>
 21. State register of varieties and hybrids of agricultural plants approved for use. Access mode: <https://gossortf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni> (date of request 20.03.2025). (In Russ.)
 22. Reference and information portal "Weather and climate" 2004–2025. Access mode: http://www.pogodaiklimat.ru/history/27037_2.htm (date of request 02.02.2025). (In Russ.)

Об авторах:

Ирина Игоревна Рассохина – научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, <https://orcid.org/0000-0002-6129-6912>, SPIN-код: 8216-9895, rasskhinairina@mail.ru

Любовь Владимировна Сухарева – научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, <https://orcid.org/0000-0002-1069-0856>, SPIN-код: 6212-2390, автор для переписки, lyubov.suxareva@yandex.ru

Мария Михайловна Кузнецова – младший научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, <https://orcid.org/0000-0002-6288-1005>, SPIN-код: 6285-0435, 137lidia@gmail.com

About the Authors:

Irina I. Rassokhina – Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6129-6912>, SPIN-code: 8216-9895, rasskhinairina@mail.ru

Lyubov V. Sukhareva – Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1069-0856>, SPIN-code: 6212-2390, Corresponding Author, lyubov.suxareva@yandex.ru

Maria M. Kuznetsova – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6288-1005>, SPIN-code: 6285-0435, 137lidia@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-51-57>
УДК: 633.413:577.212:631.527.33

Т.В. Вострикова*, Т.П. Федулова,
А.А. Налбандян, Т.С. Руденко,
Ю.С. Коростелева

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова»
396030, Россия, Воронежская область,
Рамонский район, ВНИИСС, д. 86

*Автор для переписки:
tanyavostric@rambler.ru

Вклад авторов: А.А. Налбандян: руководство исследованием, ресурсы, создание рукописи и её редактирование; Т.В. Вострикова: проведение исследований, концептуализация, методология, верификация и администрирование данных, создание рукописи и её редактирование; Т.П. Федулова: проведение исследований, создание рукописи и её редактирование; Т.С. Руденко, Ю.С. Коростелева: проведение исследований.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вострикова Т.В., Федулова Т.П., Налбандян А.А., Руденко Т.С., Коростелева Ю.С. Молекулярно-генетический анализ и комбинационная способность линий свеклы сахарной при создании гетерозисных гибридов. *Овощи России*. 2026;(1):51-57.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-51-57>

Поступила в редакцию: 14.11.2025
Принята к печати: 09.02.2026
Опубликована: 16.03.2026

Tatyana V. Vostrikova*, Tatyana P. Fedulova,
Arpine A. Nalbandyan, Tatyana S. Rudenko,
Yulia S. Korosteleva

"A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar"
86, ARRISBS, Ramonsky district,
Voronezh region, 396030, Russia

*Correspondence Author:
tanyavostric@rambler.ru

Authors' Contributions. A.A. Nalbandyan: supervision, resources, writing – review & editing. T.V. Vostrikova: investigation, conceptualization, methodology, validation, data curation, writing – review & editing. T.P. Fedulova: investigation, writing – review & editing; T.S. Rudenko, Yu.S. Korosteleva: investigation.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

For citations: Vostrikova T.V., Fedulova T.P., Nalbandyan A.A., Rudenko T.S., Korosteleva Yu.S. Molecular genetic analysis and combination capability of sugar beet lines in the creation of heterosis hybrids. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):51-57. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-51-57>

Received: 14.11.2025
Accepted for publication: 09.02.2026
Published: 16.03.2026

Молекулярно-генетический анализ и комбинационная способность линий свеклы сахарной при создании гетерозисных гибридов

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В последнее время для развития отечественных селекционных программ и увеличения эффективности селекционного процесса привлекаются молекулярно-генетические исследования, в том числе по микросателлитным ДНК-маркерам. Они помогают сэкономить время для подбора наиболее продуктивных гибридных комбинаций при создании гетерозисных гибридов, когда важен анализ комбинационной способности генотипов.

Материал и методика. Работа была выполнена в ФГБНУ «Всероссийском научно-исследовательском институте сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова». В экспериментах были использованы диплоидные раздельноплодные мужскостерильные формы свеклы сахарной, которые скрещивали с фертильными диплоидными сростноплодными опылителями (типа топкросс). У полученных гибридов оценивали признаки продуктивности (урожайность, сахаристость и сбор сахара). Молекулярно-генетические экспериментальные исследования проведены в 3-х кратной биологической повторности. При проведении генотипирования селекционных образцов сахарной свёклы были использованы 8 пар праймеров к микросателлитным локусам генома.

Результаты. Отобранные по молекулярно-генетическим маркерам родительские компоненты продемонстрировали высокую продуктивность в сравнении со стандартом. По результатам микросателлитного анализа наиболее высокую продуктивность проявили родительские пары, компоненты которых имели наибольшие генетические расстояния. В результате проведенных полевых испытаний выявлено, что гибридные комбинации на основе компонентов MS 9047, MS 94 Ap, ЛБС 16 в сочетании с ОП 15676 и опылителями-синтетиками, содержащими ОП 15676, показали высокую продуктивность (урожайность и сахаристость), сбор сахара от 7,3 до 9,9 т/га существенно превышающий стандарт на 43-93%.

Заключение. Результаты молекулярно-генетического анализа по SSR-маркерам, прогнозирующие гетерозис в гибридных комбинациях свеклы сахарной, подтверждаются экспериментальными полевыми исследованиями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

свекла сахарная, гибрид, мужскостерильные формы, комбинационная способность, продуктивность, микросателлитный анализ

Molecular genetic analysis and combination capability of sugar beet lines in the creation of heterosis hybrids

ABSTRACT

Relevance. Molecular genetic research, including microsatellite DNA markers, has recently been used to develop domestic breeding programs and increase the efficiency of the breeding process. The time is saved in selecting the most productive hybrid combinations whith creating heterotic hybrids, where analyzing the combining ability of genotypes is important.

Materials and Methods. The study was made at the A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar. The experiments utilized diploid, dioecious, male-sterile sugar beet varieties, which were crossed with fertile diploid (topcross type), unioecious pollinators (selected by the A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar). The resulting hybrids were evaluated for productivity traits (yield, sugar content, and sugar yield). Molecular genetic experimental studies were conducted in triplicate. Eight pairs of primers to microsatellite loci of the genome were used for genotyping sugar beet breeding samples.

Results. The parental components selected using molecular genetic markers demonstrated high productivity as compared to the standard. Microsatellite analysis revealed that the highest productivity was demonstrated by parental pairs whose components had the greatest genetic distances. Field trials revealed that hybrid combinations based on MS 9047, MS 94 Ap, and LBS 16 components, combined with OP 15676 and synthetic pollinators containing OP 15676, demonstrated high productivity (yield and sugar content), sugar yield From 7,3 to 9,9 t/ga, significantly exceeding the standard for 43-93%.

Conclusion. The results of molecular genetic analysis of SSR markers predicting heterosis in hybrid combinations of sugar beet are confirmed by experimental field studies.

KEYWORDS:

sugar beet, hybrid, male-sterile forms, combining ability, productivity, microsatellite analysis

Введение

В программе селекции информация о комбинационной способности необходима для отбора родительских особей, а также идентификации потомства при выведении высокоурожайных сортов [1]. При этом важную роль в селекции играет анализ комбинационной способности генотипов. Успешный подбор пар для гибридизации зависит от способности образцов к комбинированию [2, 3]. Оценка комбинационной способности изучаемых сортов и линий позволяет предвидеть результаты будущих скрещиваний и отбирать перспективный материал [4-6]. Комбинационная способность передается потомству, как при самоопылении, так и при скрещивании [6]. При оценке линий различают общую комбинационную способность (ОКС) и специфическую комбинационную способность (СКС). ОКС выражает среднюю ценность линии в гибридных комбинациях [5, 7]. СКС используют для характеристики отдельных комбинаций на основании среднего качества изучаемых родительских форм [4, 5]. Для свеклы сахарной комбинационную способность обычно оценивают по признакам урожайности и сахаристости, применяя метод топкросс, когда анализируемые линии скрещивают с одним тестером [5]. Использование линии в качестве тестера повышает результативность селекционной работы, позволяя анализировать в том числе влияние природно-климатических факторов на проявление комбинационной способности по хозяйственно ценным признакам [8, 9]. Установлено, что комбинационная способность по признакам урожайности и сахаристости у диплоидных и тетраплоидных линий и опылителей свеклы сахарной на широкой генетической основе определяется, в основном, аддитивными взаимодействиями генов [10]. В работах М.А. Богомолова (2022-2024) показано, что проявление СКС обуславливается неаддитивными взаимодействиями генов [6, 7, 11-14]. Анализ действия генов выявил преобладание как аддитивных, так и неаддитивных генов для урожайности и сопутствующих ей признаков у кукурузы [15]. Комбинационную способность по признаку «урожайность зерна», «скороспелость» часто исследуют на кукурузе [15, 16], сое [1]. В Российской Федерации были выделены линии с высокой общей и специфической комбинационной способностью и созданы новые высокогетерозисные гибридные комбинации на основе самоопыленных линий кукурузы в системе топкроссных скрещиваний [17]. Отобранные генотипы по общей и специфической комбинационной способности как лучшие родители могут быть использованы для скрещивания и получения скороспелых и высокоурожайных сортов [1]. При удачном подборе пар для скрещивания отмечается гетерозис в гибридном поколении. Гетерозис – свойство гибридов превосходить по определённым признакам родительские компоненты, взятые для гибридизации [2, 3, 11].

В последнее время для развития отечественных селекционных программ и увеличения эффективности селекционного процесса привлекаются молекулярно-генетические исследования, в том числе по микросателлитным ДНК-маркерам. SSR-метод (Simple Sequence Repeat), являющийся одним из высокоэффективных и надежных, основан на анализе микросателлитных повторов, которые окружают многие гены и используются как якорные последовательности к этим генам [18]. Например, с использованием разработанной авторами мульти-плексной системы микросателлитных ДНК маркеров удалось в короткие сроки идентифицировать и оценить генетическое разнообразие 28 линий подсолнечника [19]. Применение

SSR-метода включено в разработанную в ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» схему маркер-ассоциированной (MAS) селекции *Beta vulgaris* L. [18].

Для определения эффективности комбинирования линий при выведении гетерозисных гибридов в последние годы часто прибегают к молекулярно-генетическому анализу в селекционных исследованиях свеклы [20, 21]. Ранее были проведены исследования родительских линий и гибридов из Казахстана и России (в том числе селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова) с использованием маркеров случайной амплифицированной полиморфной ДНК (RAPD), хозяйственно-ценных признаков и биохимического состава: массы корнеплода, содержания сахара. Образцы были разделены на шесть групп на основе массы корнеплодов и содержания сахара с помощью кластерного анализа.

В целях получения гетерозисного эффекта и создания высокопродуктивных гибридов свёклы рекомендуется использование селекционных материалов, находящихся на большом генетическом расстоянии друг от друга [20, 22]. В связи с этим при создании гетерозисных гибридов важен анализ комбинационной способности генотипов, а молекулярно-генетические исследования помогают сэкономить время для подбора наиболее продуктивных гибридных комбинаций.

Цель исследования – проведение молекулярно-генетического анализа и оценке комбинационной способности линий свеклы сахарной для подбора гибридных комбинаций с наибольшей продуктивностью.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили на территории опытно-производственной базы ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» в условиях трехпольного севооборота. Предшественником свеклы сахарной первого года вегетации являлась озимая пшеница. Изолированные участки для свеклы второго года вегетации жизни располагались в посевах озимой пшеницы с соблюдением правил пространственной изоляции [23]. Почвы севооборота представлены выщелочным черноземом с содержанием гумуса – 4,83-5,53 %; N-NO₃–=1,39-1,49 мг/100 г почвы; P₂O₅=8,87-10,6 мг/100 г почвы; K₂O=10,2-11,3 мг/100 г почвы [24].

В экспериментах нами были использованы диплоидные раздельноплодные мужскостерильные формы свеклы сахарной (МС 94 Ар, МС 9047, МС ЛБС 16), которые скрещивали с фертильными диплоидными сростноплодными опылителями (15676, ОП синтетик 15202 x 14044, ОПС 2, ОПС 6, ОПС 8 селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова).

Патент на мужскостерильную линию ЛБС 16 был получен ранее (авторы: д. с.-х. н. Богомолов М.А., д.б.н. Федулова Т.П., 2005) [25].

Линия МС 94 Ар – стерильная, раздельноплодная, диплоидная, урожайно-сахаристого направления с корнеплодом округло-конической формы. Апомиктичная линия, полученная с помощью индуцированного опыления гамма-облученной пылью дикой свеклы (*Beta corolliflora* Zosimovic ex Buttler) и последующим повторно-индивидуальным отбором по раздельноплодности, стерильности, продуктивности. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, корнеедом поражается на уровне стандарта. Отличается способностью к апомиктическому способу семенной репродукции.

Линия ГП-1518 – стерильная, раздельноплодная, диплоидная, урожайного направления с корнеплодом округло-конической формы. Обладает хорошей комбинационной способ-

ностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, корнеедом поражается на уровне стандарта.

Ранее описанная и исследуемая нами инбредная линия MC-2113 с корнеплодом округло-конической формы селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова [9] являлась основой для дигиплоида ГП-1518, полученного с помощью методов биотехнологии и микрклонального размножения. Значительная комбинационная способность исходной линии MC-2113 отмечена нами ранее на основании полевых экспериментов. Кроме того, по результатам RAPD-анализа данная линия характеризовалась потенциально высокой комбинационной способностью [21].

Линия КУ-1519 – стерильная, раздельноплодная, диплоидная, урожайного направления с корнеплодом округло-конической формы. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, корнеедом поражается на уровне стандарта. Осмоустойчивая линия была получена с помощью методов биотехнологии и микрклонального размножения.

Сростноплодный диплоидный опылитель 15676 выделен из сорта-популяции Рамонская 931 (х Р 065), сростноплодные диплоидные опылители 15202 и 15465 выделены из сорта-популяции Р-125. Описание этих линий было представлено ранее [9]. Сростноплодный диплоидный опылитель 14044 выделен из сорта Рамонская 1537 улучшенная. Сростноплодный диплоидный опылитель Р 065 отобран из сорта-популяции Рамонская 06 [6, 7, 9, 23].

Линия ОП-14044 – фертильная, сростноплодная, диплоидная, урожайно-сахаристого направления с корнеплодом овально-конической формы. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, церкоспорозу, корнеедом поражается на уровне стандарта.

Линия Р 065 – фертильная, сростноплодная, диплоидная, урожайно-сахаристого направления с корнеплодом овально-конической формы. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, церкоспорозу, корнеедом поражается на уровне стандарта.

Сравнительное испытание исходного материала свеклы сахарной проводили в 2022 г. В следующем (2023 год) осуществляли молекулярно-генетический анализ и посадку корне-

плодов в соответствии с его результатами. Производили сбор семян, которые были высеваны в предварительном испытании в 2024 году У полученных гибридов оценивали признаки продуктивности (урожайность, сахаристость и сбор сахара). Стандартом служил иностранный диплоидный гибрид Митика (оригинатор LTD Lion Seeds).

Оценку урожайности и сахаристости линий свеклы сахарной проводили путем отбора средней пробы с делянки. Для определения количественных признаков опыт проводили в четырех повторностях, поэтому площадь опытной делянки 54 м². Размер учетной делянки для одной повторности – 13,5 м². Густоту стояния растений рассчитывали в тыс. шт./га. Анализ корнеплодов для определения массы корнеплода и сахаристости проводили на автоматизированной линии ВЕНЕМА. Исследования производили по стандартным методикам [6, 7, 11]. Достоверность полученных результатов оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа [26].

Выделение геномной ДНК из растительной ткани сахарной свеклы осуществляли наборами фирмы «Синтол» по протоколу производителя. Качество выделенной нуклеиновой кислоты определено путем электрофореза в 1% агарозном геле в присутствии бромистого этидия. Полученная ДНК растворялась в 10 мМ трис-НСI-буфера, рН 8,0, содержащем 0,1 мМ ЭДТА и использовалась для ПЦР-анализа. Полимеразно-цепная реакция проведена на амплификаторе «Genius» (Великобритания). Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований осуществлена с использованием программного обеспечения PAST.

Молекулярно-генетические экспериментальные исследования проведены в 3-х кратной биологической повторности. При проведении генотипирования селекционных образцов сахарной свеклы были использованы 8 пар праймеров к микросателлитным локусам генома: Unigene 16898, Unigene 22373 [27], Bv23 [28], FD1002, BQ584493, BQ585656 [29], Sb15, Sb04 [30].

Результаты исследований и их обсуждение

Исходными компонентами для подбора родительских пар в гибридных комбинациях на основе генетической дивергенции служили мужскостерильные раздельноплодные линии свеклы сахарной: MC 94 Ap, MC 9047, MC ЛБС 16, простые гибриды между мужскостерильной линией и неродственным раздель-

Таблица 1. Результаты сравнительного испытания исходного материала свеклы сахарной (2022 год)
Table 1. Results of comparative testing of sugar beet raw material (2022)

Материал	Густота стояния растений, тыс. шт./га	Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	В % от стандарта		
					урожайность	сахаристость	сбор сахара
Стандарт Митика F1	108,7	32,9	14,8	4,9	100,0	100,0	100,0
MC ЛБС 16 (х)	102,8	38,5	14,8	5,7	117,1	100,0	117,0
MC 9047 (х)	101,7	51,8	16,5	8,6	157,4	111,5	175,5
КУ-1519 (х)	91,4	46,2	14,7	6,8	140,4	99,3	139,5
ГП-1518 (х)	93,3	46,1	15,1	6,9	140,0	101,9	142,5
ОП синтетик 15202 х 14044	97,8	48,3	16,1	7,8	146,8	108,8	159,2
ОП синтетик 6	94,5	49,1	16,1	7,9	149,2	108,8	161,2
ОП синтетик 8	107,8	36,7	16,5	6,1	111,6	111,5	124,3
ОП синтетик 2	98,8	44,6	17,4	7,8	135,6	117,6	159,2
MC 94 Ap	109,4	45,3	15,2	6,9	137,7	102,7	141,4
MC ЛБС 16	108,4	53,6	15,8	8,5	162,9	106,8	173,5
НСР ₀₅	1,0	1,8	0,3	0,4			

ноплодным опылителем: МС 9047 (х), МС ЛБС 16 (х), КУ-1519 (х), ГП-1518 (х), а также сростноплодные опылители: ОП 15676, опылитель-синтетик 15202 х 14044, ОП синтетик 2 (получен на основе ОП 15202), ОП синтетик 6, ОП синтетик 8 (получены на основе ОП 15676). Продуктивность исходных компонентов представлена в таблице 1.

Из таблицы следует, что максимальной продуктивностью (сбором сахара 8,5-8,6 т/га), урожайностью (51,8-53,6 т/га) характеризовались мужскостерильная линия МС ЛБС 16 и простой гибрид на основе линии МС 9047 (х). Высокая сахаристость отмечена у этого гибрида, также у ОП синтетика 8 (16,5%), ОП синтетика 6 (16,1%), полученных на основе ОП 15676 (урожайно-сахаристого типа), а наибольшая у ОП синтетика 2 (17,4%), полученного на основе ОП 15202 (сахаристого типа). Наиболее существенно превысили сахаристость стандарта сростноплодные опылители-синтетики ОПС 6, ОПС 2 и ОПС 8 – 108,8-117,6%. Значительное увеличение продуктивности в сравнении со стандартом, включающее как урожай-

гибриды (МС ЛБС 16 (х), МС 9047 (х)); сростноплодные опылители (ОП 15676), в том числе опылители-синтетики (ОП 15202 х 14044, ОПС 2 – на основе ОП 15202 и ОПС 6); закрепители стерильности О-типа (ГП-1518 и КУ-1519). Выявленные генетические расстояния между компонентами показывают, что наиболее эффективное сочетание компонентов пробных гибридов для их высокой продуктивности ожидается от пар: МС 9047 х ОПС 6, МС 9047 (х) х ОПС 6, МС 9047 (х) х ОПС 15202 х 14044, МС ЛБС 16 х ОП 15676, МС ЛБС 16 (х) х ОП 15676, МС 94 AP х ОПС 2, МС 94 AP х ОПС 6.

Осуществив скрещивание по рекомендуемым вариантам в полевых условиях на изолированных участках, мы получили следующие результаты. Действительно, высокую продуктивность показали гибридные комбинации на основе МС 9047 с ОПС 6, урожайность в одной из них составила 147,6%, сахаристость – 109,1% от стандарта. При скрещивании простого гибрида МС 9047 (х) с ОПС 6 – 159,8% и 112,3% соответственно. Более высокую урожайность от стандарта (163,1%) и сахарис-

Таблица 2. Генетические расстояния между исходными родительскими линиями по Эвклиду
Table 2. Genetic distances between the original parental lines according to Euclidean

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.00	2.24	2.00	1.41	2.45	2.83	2.83	2.83	2.45	2.24	2.83
2	2.24	0.00	1.00	2.65	3.00	3.00	2.24	2.24	1.73	1.41	2.24
3	2.00	1.00	0.00	2.45	2.83	2.83	2.00	2.00	1.41	1.00	2.00
4	1.41	2.65	2.45	0.00	2.45	2.45	3.16	2.45	2.00	2.24	2.83
5	2.45	3.00	2.83	2.45	0.00	2.45	2.83	2.45	2.83	2.65	2.45
6	2.83	3.00	2.83	2.45	2.45	0.00	2.00	2.00	2.45	2.65	2.00
7	2.83	2.24	2.00	3.16	2.83	2.00	0.00	2.00	2.45	2.24	1.41
8	2.83	2.24	2.00	2.45	2.45	2.00	2.00	0.00	1.41	1.73	1.41
9	2.45	1.73	1.41	2.00	2.83	2.45	2.45	1.41	0.00	1.00	2.00
10	2.24	1.41	1.00	2.24	2.65	2.65	2.24	1.73	1.00	0.00	1.73
11	2.83	2.24	2.00	2.83	2.45	2.00	1.41	1.41	2.00	1.73	0

Примечание:

Родительские компоненты: 1 – МС 94 AP; 2 – МС ЛБС 16; 3 – МС ЛБС 16 (х); 4 – МС 9047; 5 – МС 9047 (х); 6 – ОП 15676; 7 – ОПС 6; 8 – ОПС 2; 9 – ОП 14044 х 15202; 10 – ГП-1518; 11 – КУ-1519

ность, так и сахаристость отмечено у мужскостерильной линии МС ЛБС 16 (162,9% и 106,8% от стандарта, соответственно) и простого гибрида на основе линии МС 9047 (х) (157,4% и 111,5% от стандарта, соответственно).

По результатам микросателлитного анализа между изученными генотипами сахарной свёклы рассчитаны Эвклидовы генетические расстояния и построена дендрограмма их генетической близости (табл. 2, рис. 1).

Для проведения скрещиваний рекомендованы следующие гибридные комбинации, находящиеся на значительном генетическом расстоянии друг от друга: d = 2,83 – МС 94 AP х ОП 15676; МС 94 AP х ОПС 6; МС 94 AP х ОПС 2; МС 94 AP х КУ-1519; МС ЛБС 16 х ОП 15676; МС 9047 х КУ-1519; МС 9047 (х) х ОП 14044 х 15202; МС 9047 (х) х ОПС 6; d = 3,16 – МС 9047 х ОПС 6; d=3,00 – МС ЛБС 16 х ОП 15676.

Таким образом, отобранные по молекулярно-генетическим маркерам компоненты продемонстрировали высокую продуктивность в сравнении со стандартом Митика F₁.

По результатам микросателлитного анализа наиболее высокую продуктивность следует ожидать от родительских пар, компоненты которых имеют наибольшие генетические расстояния.

В микросателлитный анализ были включены: раздельно-плодные МС-линии (МС 9047, МС ЛБС 16, МС 94 AP); простые

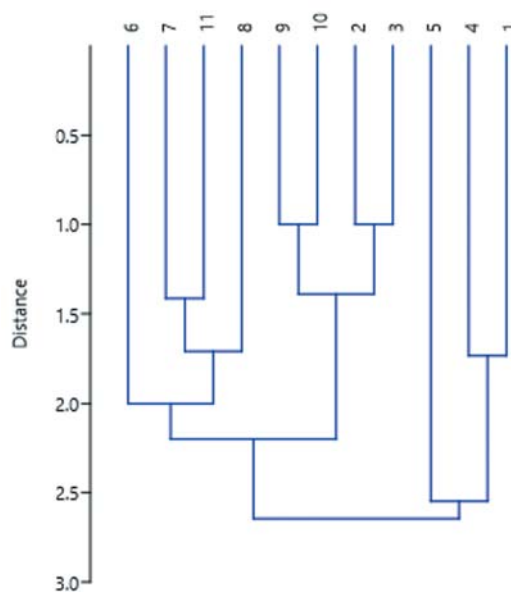


Рис. 1. Генетические расстояния между родительскими компонентами
Примечание: Обозначения родительских компонентов из таблицы 1.
Fig. 1. Genetic distances between parental components
Note: Parental component designations are from Table 1.

Таблица 3. Результаты сравнительного испытания гибридных комбинаций свеклы сахарной (2024)
Table 3. Results of comparative testing of hybrid sugar beet combinations (2024)

Материал	Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	В % от стандарта		
				урожайность	сахаристость	сбор сахара
Стандарт Митика F ₁	32,8	15,4	5,1	100,0	100,0	100,0
МС 9047 х ОПС 8	50,0	17,2	8,6	152,4	111,7	168,6
МС 94 AP х 15676	44,0	16,6	7,3	134,1	107,8	143,1
МС 9047 х ОПС 6	48,4	16,8	8,1	147,6	109,1	158,9
МС 9047 (х) х ОПС 6	52,4	17,3	9,1	159,8	112,3	178,4
МС 94 AP х ОПС 6	46,2	17,0	7,9	140,9	110,4	154,1
МС 94 AP х ОПС 2	48,8	17,1	8,3	148,8	111,0	162,7
МС 9047 (х) х ОПС 15202 х 14044	53,5	17,4	9,3	163,1	113,0	182,4
МС ЛБС 16 х ОП 15676	56,2	16,2	9,1	171,3	105,2	178,4
МС ЛБС 16 (х) х ОП 15676	58,8	16,8	9,9	179,3	109,1	193,7
НСР ₀₅	2,2	0,2	0,2			

стость (113,0%) имело сочетание простого гибрида МС 9047 (х) с ОПС 15202 х 14044, которое было составлено по рекомендации микросателлитного анализа.

Другой МС компонент МС 94 AP в гибридной комбинации с ОП 15676 превысил стандарт по урожайности на 34,1%, по сахаристости – на 7,8%, с ОПС 6 были получены более высокие результаты, но самую лучшую продуктивность показало его сочетание с ОПС 2: урожайность – 148,8%, сахаристость – 111,0% (от стандарта).

Гибридная комбинация линий МС ЛБС 16 и ОП 15676, составленная в соответствии с наибольшими генетическими расстояниями проиллюстрировала значительную продуктивность по сбору сахара (178,4% от стандарта). Однако наиболее существенный результат по сбору сахара (193,7% от стандарта) был получен при использовании простого гибрида МС ЛБС 16 (х) в сочетании с ОП 15676.

В результате проведенных полевых испытаний выявлено, что перечисленные гибридные комбинации имели высокую урожайность и сахаристость, существенно отличающуюся от стандарта (табл. 3). Следовательно, продуктивность значительно превысила стандарт. Самую большую урожайность (56,2-58,8 т/га) проявили сочетания: МС ЛБС 16 х ОП 15676, МС ЛБС 16 (х) х ОП 15676, немного меньшую (50,0-53,5 т/га) – МС 9047 х ОПС 6, МС 9047 х ОПС 8, МС 9047 (х) х ОПС 6. При этом в комбинациях простого гибрида (МС ЛБС 16 (х), МС 9047 (х)) и сростноплодного опылителя урожайность была выше, чем в сочетании такого же опылителя с мужскостерильной линией (МС ЛБС 16, МС 9047). Однако в гибридной комбинации мужскостерильной линии МС 9047 с ОП синтетиком 8 отмечена как более высокая урожайность, так и сахаристость по сравнению с ОП синтетиком 6 (табл. 3). Это может свидетельствовать о высокой комбинационной способности мужскостерильной линии МС 9047.

Аналогичная тенденция наблюдалась по отношению к сахаристости в анализируемых гибридных комбинациях. Более высокую сахаристость показали сочетания простого гибрида (МС ЛБС 16 (х) и МС 9047 (х)) с опылителем-синтетиком (16,8% и 17,4% соответственно) в сравнении с мужскостерильной линией (МС ЛБС 16 и МС 9047 – 16,2% и 16,8%, соответственно). Однако наибольшую сахаристость отмечалась в комбинациях между простым гибридом МС 9047 (х) и опылителем-синтетиком 15202 х 14044, что составило 17,4%, а также с ОПС 6 (17,3%). Учитывая увеличение как урожайности, так и саха-

ристости в гибридных комбинациях с мужскостерильной линией МС ЛБС 16 (табл. 3) по сравнению с исходным материалом (табл. 1), возможно указать на хорошую комбинационную способность линии МС ЛБС 16. Анализируя исходную продуктивность линии МС 94 AP (табл. 1), а также урожайность и сахаристость пробных гибридов с ее участием (табл. 3), можно предположить высокую комбинационную способность линии по исследуемым признакам.

Полученные нами результаты свидетельствуют о возможном прогнозировании эффекта гетерозиса в гибридных комбинациях на основании анализа по SSR-маркерам, что подтверждено ранее выполненными исследованиями [31]. Проведенные ранее в Казахстане исследования свеклы сахарной с использованием маркеров случайной амплифицированной полиморфной ДНК (RAPD), хозяйственно ценных признаков и биохимического состава: массы корнеплода, содержания сахара позволили разделить образцы на несколько групп [21]. Было предложено использовать генотипы двух групп линий свеклы сахарной, наиболее различающиеся по генетическим расстояниям, для создания гибридов с высокой массой корнеплода и сахаристостью. Предполагалось, что полученные в результате скрещивания этих групп гибриды могут обладать хорошей комбинационной способностью.

Наши исследования по SSR-маркерам согласуются с проведенными ранее работами с использованием RAPD-анализа и иллюстрируют высокую продуктивность в гибридных комбинациях. На основании показанного увеличения урожайности и сахаристости возможно предположить высокую комбинационную способность линий по исследуемым признакам.

Выводы

Таким образом, результаты молекулярно-генетического анализа по SSR-маркерам, прогнозирующие гетерозис в гибридных комбинациях свеклы сахарной, подтверждаются экспериментальными полевыми исследованиями. Это наглядно проиллюстрировано на примере свеклы сахарной, являющейся двухлетней перекрестноопыляемой культурой, чем ее селекция особенно затруднена. Родительские линии показали высокую комбинационную способность по селекционно ценным признакам (урожайности и сахаристости), что проявлялось увеличением продуктивности в гибридных комбинациях, подобранных с помощью микросателлитного анализа.

• Литература

1. Susanto G.W.A. Estimation of gene action through combining ability for maturity in soybean. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2018;50(1):62-71.
2. Варламов Д.В. Гульняшкин А.В. Анашенков С.С. Селекция гибридов кукурузы, адаптированных к засушливым условиям юга России. *Зерновое хозяйство России*. 2013;4:7-13. <https://www.elibrary.ru/rcoxsp>
3. Гульняшкин А.В., Анашенков С.С., Варламов Д.В. Результаты изучения экологической адаптивности новых раннеспелых гибридов кукурузы. *Зерновое хозяйство России*. 2014;4:31-36. <https://www.elibrary.ru/smxmnl>
4. Монахос Г.Ф. Схема создания двухлинейных гибридов капустных овощных культур на основе самонесовместимости. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2007;2:86-93. <https://www.elibrary.ru/iadqjx>
5. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Генетические основы селекции растений. В 4 т. Общая генетика растений. Т.1. Минск: Белорус. наука; 2008. 551 с.
6. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Комбинационная способность в селекционных исследованиях сахарной свёклы. *Saxar*. 2023;9:26-30. <http://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-9-34-38> <https://www.elibrary.ru/oehowb>
7. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Комбинационная способность в адаптивной селекции сахарной свёклы. *Saxar*. 2023;11:22-27. <http://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-11-22-27> <https://www.elibrary.ru/fyqsar>
8. Суслов В.И., Логвинов В.А., Шевченко А.Г., Мищенко В.Н., Суслов А.В., Логвинов А.В. Перспективы селекции сахарной свеклы в условиях юга России. *Сахарная свекла*. 2012;7:23-27. <https://www.elibrary.ru/qipvhh>
9. Вострикова Т.В., Богомолов М.А., Сенютин А.А., Путилина Л.Н. Селекция свеклы сахарной на устойчивость к абиотическим факторам среды. *Овощи России*. 2024;(6):22-29. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-22-29> <https://www.elibrary.ru/osdyce>
10. Волгин В.В. Рекуррентный отбор в селекции растений (обзор). *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2012;1(150):161-171. <https://www.elibrary.ru/pbmqyb>
11. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Оценка комбинационной способности МС-линий и многосемянных опылителей сахарной свёклы для подбора пар при скрещивании. *Saxar*. 2022;6:44-48. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-6-44-48> <https://www.elibrary.ru/ojtlxg>
12. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Сравнение продуктивности селекционного материала сахарной свёклы. *Биосфера*. 2022;14(4):275-276. <https://www.elibrary.ru/hexlpr>
13. Вострикова Т.В., Богомолов М.А. Влияние комплекса природно-климатических факторов на адаптивные реакции гибридных комбинаций сахарной свеклы. *Аграрная наука*. 2024;(11): 87-91. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-87-91> <https://www.elibrary.ru/iuzmvy>
14. Вострикова Т.В., Богомолов М.А., Федулова Т.П. Влияние погодных условий на продуктивность гибридных комбинаций сахарной свеклы. *Saxar*. 2024;11:32-36. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-4-32-36> <https://www.elibrary.ru/skvwsq>
15. Dhasarathan M., Babu C., Iyanar K. Combining ability and gene action studies for yield and quality traits in baby corn (*Zea mays* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2015;47(1):60-69.
16. Nadeem T., Khalil I.H., Jadoon S.A. Combining ability analysis for maturity and yield attributes in sweet corn across environments. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2023;55(2):319-328. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.2.5>
17. Кривошеев Г.Я., Шевченко Н.А. Общая и специфическая комбинационная способность самоопыленных линий кукурузы по признаку «Урожайность зерна». *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрно-университета*. 2014;104:664-674. <https://www.elibrary.ru/tfwsrd>
18. Федулова Т.П., Налбандян А.А. Современные возможности маркер-ассоциированной (MAS) селекции *Beta vulgaris* L. *Saxar*. 2022;6:34-40. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-6-34-40> <https://www.elibrary.ru/zethak>
19. Головатская А.В., Гучетль С.З. Оценка генетического разнообразия линий подсолнечника селекции ВНИИМК на основе мульти-

плексного микросателлитного анализа. *Аграрная наука*. 2024;(11):117-121. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-117-121> <https://www.elibrary.ru/nfcwce>

20. Федулова Т.П., Федорин Д.И., Богомолов М.А., Ошевнев В.П., Грибанова Н.П. Использование молекулярных маркеров в селекционно-генетических исследованиях свеклы. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2016;4:99-104. <https://www.elibrary.ru/xgrhal>
21. Abekova A.M., Yerzhebayeva R.S., Bastaubayeva S.O., Konusbekov K., Bazylova T.A., Babissekova D.I., Amangeldiyeva A.A. Assessment of sugar beet genetic diversity in the Republic of Kazakhstan by using RAPD markers and agromorphological traits. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2022;54(1):67-78. <http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.1.7>
22. Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Kryukova T.I., Cherepukhina I.V., Kulikova N.V. Polymorphic Microsatellite Markers to Study Sugar Beet's (*Beta vulgaris* L.) Genetic Diversity. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49:1-7. <http://doi.org/10.3103/s1068367423010123> <https://www.elibrary.ru/gqydze>
23. Балков И.Я. Цитоплазматическая мужская стерильность сахарной свеклы. М.: Агропромиздат;1990. 239 с.
24. Минакова О.А., Косякин П.А., Боронтов О.К. Основные результаты научных исследований ВНИИСС в области технологии возделывания сахарной свёклы. *Сахарная свекла*. 2022;9:19-25. <https://doi.org/10.25802/SB.2022.20.23.004> <https://www.elibrary.ru/egniar>
25. Богомолов М.А., Федулова Т.П. Патент на селекционное достижение № 2708 РФ. Свекла сахарная *Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *altissima* Doell ЛБС 16. заяв. № 9553127 26.06.2004; заявитель и патентообладатель: Учреждение РАН Центр «Биоинженерия» РАН. вид. 17.05.2005.
26. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат; 1985. 351 с.
27. Fugate K., Fajardo D., Schlautman B., Ferrareze J. P., Bolton M. D., Campbell L. G., Wiesman E., Zalapa J. Generation and Characterization of a Sugarbeet Transcriptome and Transcript-Based SSR Markers. *The Plant Genome*. 2014;7(2):1-13. <http://doi.org/10.3835/plantgenome2013.11.0038>
28. Smulders M., Esselink G., Danny G., Riek J., Vosman B. Characterisation of sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) varieties using microsatellite markers. *BMC Genetics*. 2010;11(1):1-11. <http://doi.org/10.1186/1471-2156-11-41>
29. McGrath J.M., Trebbi D., Fenwick A., Panella L., Schulz B., Laurent V., Barnes S., Murray S. An open-source first-generation molecular genetic map from a sugarbeet x table beet cross and its extension to physical mapping. *Plant Gen*. 2007;1:27-44. <http://doi.org/10.2135/cropsci2006-05-0339tpp>
30. Richards Ch., Brownson M., Mitchell Sh., Kresovich S., Panella L. Polymorphic microsatellite markers for inferring diversity in wild and domesticated sugar beet (*Beta vulgaris*). *Molecular Ecology Notes*. 2004;4:243-245. <http://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00630.x>
31. Богачева Н.Н., Федулова Т.П., Налбандян А.А. Инновационные приемы молекулярной селекции сахарной свеклы. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019;2:15-18. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019215-18> <https://www.elibrary.ru/eziqtx>

• References

1. Susanto G.W.A. Estimation of gene action through combining ability for maturity in soybean. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2018;50(1):62-71.
2. Varlamov D.V., Gulnyashkin A.V., Anashenkov S.S. Breeding of maize hybrids adapted to arid conditions of southern Russia. *Grain Economy of Russia*. 2013;4:7-13. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/rcoxsp>
3. Varlamov D.V., Gulnyashkin A.V., Anashenkov S.S. Results of a study of the ecological adaptability of new early-maturing maize hybrids. *Grain Economy of Russia*. 2014;4:31-36. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/smxmnl>
4. Monakhos G.F. Scheme for creating two-line hybrids of cabbage vegetable crops based on self-incompatibility. *Izvestiya of Timiryazev agricultural academy*. 2007;2:86-93. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/iadqjx>
5. Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Genetic foundations of plant breed-

- ing. In 4 volumes. General genetics of plants. Vol. 1. Minsk: Belarusian science; 2008. 551 p. (In Russ.)
6. Bogomolov M.A., Vostrikova T.V. Combination ability in breeding studies of sugar beet. *Sugar*. 2023;9:26-30. (In Russ.) <http://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-9-34-38> <https://www.elibrary.ru/oehowb>
7. Bogomolov MA, Vostrikova TV Combination ability in adaptive breeding of sugar beet. *Sugar*. 2023;11:22-27. (In Russ.) <http://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-11-22-27> <https://www.elibrary.ru/fyqsap>
8. Suslov V.I., Logvinov V.A., Shevchenko A.G., Mishchenko V.N., Suslov A.V., Logvinov A.V. Prospects for sugar beet breeding in the south of Russia. *Sugar beet*. 2012;7:23-27. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/qipvhh>
9. Vostrikova T.V., Bogomolov M.A., Senyutin A.A., Putilina L.N. Breeding sugar beet for the resistance to abiotic environmental factors. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(6):22-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-22-29> <https://www.elibrary.ru/osdyce>
10. Volgin V.V. Recurrent selection in plant breeding (review). *Oil crops. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oil Crops*. 2012;1(150):161-171. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/pbmqyb>
11. Bogomolov M.A., Vostrikova T.V. Evaluation of combining ability of MS lines and multi-seeded pollinators of sugar beet for selection of pairs during crossing. *Sugar*. 2022;6:44-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-6-44-48> <https://www.elibrary.ru/ojtlxg>
12. Bogomolov M.A., Vostrikova T.V. Comparison of productivity of sugar beet breeding material. *Biosfera*. 2022;14(4):275-276. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/hexplp>
13. Vostrikova T.V., Bogomolov M.A. The complex influence of natural and climatic factors on adaptive reactions in hybrid combinations of sugar beet. *Agrarian science*. 2024;(11):87-91. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-87-91> <https://www.elibrary.ru/uzzmvy>
14. Vostrikova T.V., Bogomolov M.A., Fedulova T.P. The influence of weather conditions on the productivity of hybrid combinations of sugar beet. *Sugar*. 2024;11:32-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-4-32-36> <https://www.elibrary.ru/skvwsq>
15. Dhasarathan M., Babu C., Iyanar K. Combining ability and gene action studies for yield and quality traits in baby corn (*Zea mays* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2015;47(1):60-69.
16. Nadeem T., Khalil I.H., Jadoon S.A. Combining ability analysis for maturity and yield attributes in sweet corn across environments. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2023;55(2):319-328. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.2.5>
17. Krivosheev G.Ya., Shevchenko N.A. General and specific combining ability of self-pollinated maize lines for the "Grain yield" trait. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 2014;104:664-674. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/tfwsrd>
18. Fedulova T.P., Nalbandyan A.A. Current possibilities of marker-assisted (MAS) selection of *Beta vulgaris* L. *Sugar*. 2022;6:34-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-6-34-40> <https://www.elibrary.ru/zethak>
19. Golovatskaya A.V., Guchetl S.Z. Evaluation of genetic diversity of sunflower lines bred at VNIIMK based on multiplex microsatellite analysis. *Agrarian science*. 2024;(11):117-121. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-117-121> <https://www.elibrary.ru/nficwe>
20. Fedulova T.P., Fedorin D.I., Bogomolov M.A., Oshevnev V.P., Gribanova N.P. Use of molecular markers in breeding and genetic studies of sugar beet. *Vestnik of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2016;4:99-104. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/xgrhal>
21. Abekova A.M., Yerzhebayeva R.S., Bastaubayeva S.O., Konusbekov K., Bazylova T.A., Babissekova D.I., Amangeldiyeva A.A. Assessment of sugar beet genetic diversity in the Republic of Kazakhstan by using RAPD markers and agromorphological traits. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2022;54(1):67-78. <http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.1.7>
22. Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Kryukova T.I., Cherepukhina I.V., Kulikova N.V. Polymorphic Microsatellite Markers to Study Sugar Beet's (*Beta vulgaris* L.) Genetic Diversity. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49:1-7. <http://doi.org/10.3103/s1068367423010123> <https://www.elibrary.ru/gqydze>
23. Balkov I.Ya. Cytoplasmic Male Sterility of Sugar Beet. Moscow: Agropromizdat; 1990. 239 p. (In Russ.)
24. Minakova O.A., Kosyakin P.A., Borontov O.K. Main results of scientific research of VNIISS in the field of sugar beet cultivation technology. *Sugar beet*. 2022;9:19-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.25802/SB.2022.20.23.004> <https://www.elibrary.ru/egniap>
25. Bogomolov M.A., Fedulova T.P. Patent for breeding achievement No. 2708 of the Russian Federation. Sugar beet *Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *altissima* Doell LBS 16. Applicant. No. 9553127, 26.06.2004; applicant and patent holder: Institution of the Russian Academy of Sciences, the Bioengineering Center of the Russian Academy of Sciences. Issued. 17.05.2005. (In Russ.)
26. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat; 1985. 351 p. (In Russ.)
27. Fugate K., Fajardo D., Schlautman B., Ferrareze J. P., Bolton M. D., Campbell L. G., Wiesman E., Zalapa J. Generation and Characterization of a Sugarbeet Transcriptome and Transcript-Based SSR Markers. *The Plant Genome*. 2014;7(2):1-13. <http://doi.org/10.3835/plantgenome2013.11.0038>
28. Smulders M., Esselink G., Danny G., Riek J., Vosman B. Characterisation of sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) varieties using microsatellite markers. *BMC Genetics*. 2010;11(1):1-11. <http://doi.org/10.1186/1471-2156-11-41>
29. McGrath J.M., Trebbi D., Fenwick A., Panella L., Schulz B., Laurent V., Barnes S., Murray S. An open-source first-generation molecular genetic map from a sugarbeet x table beet cross and its extension to physical mapping. *Plant Gen*. 2007;1:27-44. <http://doi.org/10.2135/cropsci2006-05-0339tpg>
30. Richards Ch., Brownson M., Mitchell Sh., Kresovich S., Panella L. Polymorphic microsatellite markers for inferring diversity in wild and domesticated sugar beet (*Beta vulgaris*). *Molecular Ecology Notes*. 2004;4:243-245. <http://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00630.x>
31. Bogacheva N.N., Fedulova T.P., Nalbandyan A.A. Innovative methods of molecular breeding of sugar beet. *Russian Agricultural Science*. 2019;2:15-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019215-18> <https://www.elibrary.ru/eziqtx>

Об авторах:

Татьяна Валентиновна Вострикова – доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции исходного материала и гетерозисных опылителей, <https://orcid.org/0000-0002-0951-0942>, SPIN-код: 3360-6151, автор для переписки, tanyavostric@rambler.ru

Татьяна Петровна Федуллова – доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, <https://orcid.org/0000-0002-6479-9187>, SPIN-код: 5645-2071

Арпине Артаваздовна Налбандян – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией маркер-ориентированной селекции, <https://orcid.org/0000-0001-5959-047X>, SPIN-код: 9305-4400

Татьяна Сергеевна Руденко – научный сотрудник лаборатории маркер-ориентированной селекции, <https://orcid.org/0000-0003-4653-4115>

Юлия Сергеевна Коростелева – лаборант – исследователь, аспирант лаборатории маркер-ориентированной селекции, SPIN-код: 2107-0167

About the Authors:

Tatyana V. Vostrikova – Dr. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory for selection of source material and heterotic pollinators, SPIN-code: 3360-6151, <https://orcid.org/0000-0002-0951-0942>, Corresponding Author, tanyavostric@rambler.ru

Tatyana P. Fedulova – Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher of the Marker-Assisted Selection Laboratory, <https://orcid.org/0000-0002-6479-9187>, SPIN-code: 5645-2071

Arpine A. Nalbandyan – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of the Marker-Assisted Selection Laboratory, <https://orcid.org/0000-0001-5959-047X>, SPIN-code: 9305-4400

Tatyana S. Rudenko – Researcher of the Marker-Assisted Selection Laboratory, <https://orcid.org/0000-0003-4653-4115>

Yulia S. Korosteleva – Laboratory assistant – researcher, graduate student of the Marker-Assisted Selection Laboratory, SPIN-code: 2107-0167

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-58-65>
УДК: 635.11:631.527.2:631.17

В.А. Заячковский

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14

Автор для переписки: 89854217114@mail.ru

Вклад автора. Заячковский В.А.: концептуализация, проведение исследования, верификация и анализ данных, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Заячковский В.А. Способ ускоренного получения семян и маточников свёклы в один год с использованием малообъемной технологии. *Овощи России*. 2026;(1):58-65. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-58-65>

Поступила в редакцию: 23.12.2025

Принята к печати: 03.02.2026

Опубликована: 16.03.2026

Vladimir A. Zayachkovsky

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Seleccionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

***Corresponding Author:**

vladimir898542178114@mail.ru

Author's Contributions. V.A. Zayachkovsky: conceptualization, validation, formal analysis, writing – review & editing.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest

For citations: Zayachkovsky V.A. The method for accelerated production of table beet seeds and mother plants in one year using low-volume technology. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):58-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-58-65>

Received: 23.12.2025

Accepted for publication: 03.02.2025

Published: 16.03.2026

Способ ускоренного получения семян и маточников свёклы в один год с использованием малообъемной технологии

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Селекция корнеплодных культур, особенно с двулетним циклом развития – длительный процесс. На создание сорта или гибрида у свёклы при выращивании в двухлетней культуре уходит 14-20 лет или 7-10 поколений (гибридизация или инбридинг, отбор, оценка в ПСИ, КСИ). В современных условиях рынок и крупные сельскохозяйственные производители предъявляют определенные требования к урожайности, размеру корнеплода и его форме, биохимическому составу и ряду других показателей, поэтому разработка методов, которые позволяют ускорить внедрение и размножение новых сортов и гибридов свёклы, востребованных в промышленном производстве, является актуальной.

Материалы и методы. Посадку отобранных маточников проводили во второй декаде января в зимней остекленной теплице в 2020-2022 годах и в зимней рассадной поликарбонатной теплице на столах в 2022-2024 годах в горшки, наполненные торфо-перлитной смесью. Уход за семенными растениями проводили по традиционной технологии. По мере созревания семян, через 108-120 суток осуществляли обмолот, и высевали семена текущего года в открытом грунте, одновременно с селекционными посевами в общем массиве в период с третьей декады мая.

Результаты. Посадка элитных маточных корнеплодов в защищенном грунте с использованием малообъемной технологии с досвечиванием и формированием семенного куста первого типа в совокупности позволяет получать семенное потомство у растений свёклы, провести посев семенами урожая текущего года в третьей декаде мая в открытом грунте и получить товарные корнеплоды за один календарный год со сформированными сортовыми и хозяйственно ценными признаками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

ускорение селекционного процесса, свёкла, яровизация, маточник, хозяйственно-ценные признаки, досвечивание, формирование семенного куста

The method for accelerated production of table beet seeds and mother plants in one year using low-volume technology

ABSTRACT

Relevance. The breeding process of root crops, especially those with a biennial development cycle, is a lengthy process. It takes 14-20 years or 7-10 generations to develop a beet variety or hybrid (hybridization or inbreeding, selection, evaluation). Nowadays, the market and large commercial agricultural producers place special requirements on breeding achievements regarding the size of the root crop and its shape, productivity, biochemical composition, and a number of other technological indicators. Therefore, the development of methods that accelerate the introduction and reproduction of new beet varieties and hybrids in demand in industrial production is very essential.

Materials and Methods. The selected mother plants were planted in the second decade of January in a winter glazed greenhouse (years 2020-2022) and in a winter polycarbonate greenhouse on tables (years 2023-2024), in pots filled with a peat-perlite mixture. The seed plants were cared for using traditional technology. As the seeds ripened, after 108-120 days, they were threshed and sown in the open ground, simultaneously with the selection crops in the general field starting from the third decade of May.

Results. Planting elite mother root crops in protected soil using low-volume technology with supplementary lighting and formation of a seed bush of the first type, together allows to obtain seed progeny from the beet plants, sow seeds of the current year's crop in the third decade of May in open ground and harvest commercial root crops in one calendar year with formed varietal and economically valuable traits.

KEYWORDS:

acceleration of the breeding process, table beet, vernalization, mother plant, economically valuable traits, supplementary lighting, formation of seed bush

Введение

Свёкла столовая является значимым компонентом современного питания человека за счет уникального биохимического состава, возможности её употребления в свежем виде в течение года, высокой сохранности и доступности для широких слоев населения [1]. В последние годы с развитием быстрых услуг в сфере питания при производстве салатов, сублимированных и замороженных супов, чипсов, снеков, порошков для приготовления смузи и мороженого, а также возрастающим объёмом потребления микрозелени свёкла столовая уверенно вошла в пятерку самых потребляемых в России овощей [2, 3]. В процессе эволюции для сохранения и продолжения рода растения выработали важное свойство – лабильность перехода вегетативной фазы в генеративную. В оптимальных условиях первая фаза достаточно продолжительная и приводит к образованию крупного вегетативного органа, а в экстремальных условиях она резко сокращается. Таким образом, используя особенности роста и развития растений, можно разрабатывать приемы их выращивания, в одних случаях замедлять развитие, и тем самым увеличивать корнеплод, а в других случаях – ускорять его и получать семена, что требуется в семеноводстве и селекции для ускорения селекционного процесса [4]. Свёкла нуждается в фототермической индукции для перехода от вегетативной к репродуктивной стадии. Главным элементом в этой индукции является яровизация, которая выражается в потребности растения в низких температурах на стадии розетки [5, 6, 7, 8]. Попытки ускорить селекционный процесс и получать семена двулетних культур на свёкле за один год проводили давно, и использовали следующие методы: яровизация наклюнувшихся семян в холодильной камере с низкими положительными температурами или их промораживание, яровизация рассады в различной стадии развития, осенние или ранневесенние посевы, а также обработка различными химическими веществами.

1. Посев яровизированными семенами. На наличие связи между степенью стеблевания в год посева и продолжительностью воздействия низкими температурами на прорастающие семена указывают работы ряда авторов [9, 10]. При яровизации семян свёклы, намоченных в течение 24, 48, и 96 часов, было установлено, что чем продолжительнее время замачивания, тем выше при посеве доля растений, которые развиваются по однолетнему циклу развития, зацветают и образуют семена, минуя стадию развития корнеплода. В дальнейших исследованиях показано, что овощные культуры не могут полностью пройти яровизацию в наклюнувшихся семенах, а лучше её проходят в рассаде, достигшей определённой для каждого вида, сорта фазы развития [11].

2. Использование подзимних или ранневесенних посевов. С целью ускорения развития двулетников рядом исследователей была предпринята также попытка заменить яровизацию прорастающих семян осенним, подзимним и сверхранними посевами, по аналогии с посевом озимых культур, но 100% стеблевания и созревания семян получить не удавалось.

3. Обработка семян химическими мутагенами или праймерами. В основном селекционные усилия сосредоточены на вегетативном производстве свёклы и на подавлении цветущности из-за негативного влияния на урожайность [12, 13, 14]. Даррант и Маш (1990) сообщили о повышенной скорости стеблевания пропитанных тирамом семян свёклы

сахарной [15]. Гидропраймирование семян значительно улучшало всхожесть, снижало необходимое количество суток роста для перехода к репродуктивной стадии. Чрезмерная обработка может негативно повлиять на развитие эмбриона семени, поэтому молекулярная основа сверхпраймирования будет оценена в будущих исследованиях [16].

По результатам поиска в Евразийской патентно-информационной системе EAPATIS и Espacenet имеется патент на «Способ выращивания семян сахарной свёклы» [17]. Исследователи добились ускорения развития растений, которое проходило по однолетнему циклу, минуя стадию корнеплода, используя синергизм действия низкотемпературной обработки семян продолжительностью 60-70 суток при 2...3°C и стимуляторов: янтарной кислоты и (0,005%) и гиббереллина (250 мг/л), а также ингибитора – гидразида малеиновой кислоты в концентрации 50 мг/л с последующим выращиванием на высоком агрофоне с внесением значительных доз минеральных и органических удобрений.

4. Высадка растений яровизированной рассадой. Основным фактором, вызывающим цветущность, является температура. На ее проявление влияют длина дня, условия минерального питания, увлажнения, фаза развития растения, место происхождения и экологические условия, в которых формировался данный генотип. При этом проявление цветущности может быть неодинаково в разных группах сортов и даже между сортами одной и той же группы [16, 18]. Так, для свёклы Бордо 237, наиболее успешно рассада проходила яровизацию в фазе 4-5 настоящих листьев. Яровизация рассады лучше шла при 3..5°C, но проходила и при более высокой температуре 8...10°C, хотя и медленнее [19, 20].

По данной тематике зарегистрирован патент с названием: «Способ выращивания рассады семенников сахарной свёклы» [21]. Авторы данной методики в первой половине сентября проводили посев в полевых условиях по 3-5 плодиков свёклы сахарной в заполненные почвенным субстратом торфоперегнойные или бумажные конусовидные горшочки (диаметр по верху 6-8 см, по низу 3-4 см, высота 7-9 см). После наступления устойчивого похолодания полученную рассаду переносили в стеклянную теплицу и продолжали выращивать ее при дополнительном освещении и температуре 1-8°C, а с фазы 4-5 пар настоящих листьев – при 1...3°C. В поле рассаду высаживали весной. Таким образом, авторы добивались получения семян за счет яровизации рассады свёклы сахарной по однолетнему циклу развития, минуя стадию корнеплодов, используя только температурный фактор, с нарушением биологии развития двулетней культуры [22]. Исследователи аналогичной работы, которая была проделана в Китае, используя местные природно-климатические условия Харбина, также получили свидетельство на изобретение [23], хотя в России в условиях южных регионов беспересадочным семеноводством занимаются давно [24].

В период 1996-1997 годов на базе ВНИИССОК 4 популяции свёклы столовой в фазе развития рассады 4-5 настоящих листьев проходили яровизацию в подвальном помещении при температуре 4...6°C и досвечивании с интенсивностью освещения 3-4 Клк продолжительностью 14 часов в течение 60 суток, с целью ускорения селекционного процесса. Результаты работы показали, что наиболее отзывчивая популяция свёклы сорта Нежность при яровизации рассады образовывала до 85% продуктивных цветоносов, а райони-

рованные сорта (Одноростковая, Несравненная, Бордо 237) до 50% в условиях Московской области с использованием защищенного грунта [25].

Изученный литературный обзор по возможности получения репродукционных семян свёклы в один год с помощью яровизации семян или рассады осенними или ранневесенними посевами, в том числе с индуцированным мутагенезом, для ускорения селекционного процесса или бесперсидного семеноводства показывает, что все существующие методики имеют свои недостатки: могут использоваться однократно с каждой партией семян высоких категорий, приводить к появлению в популяции форм с нежелательными признаками, а доля семенных растений может достигать 75-90% от общего количества высаженных.

Наиболее оптимальным способом является метод штеклингов, сущность которого заключается в том, что используют корнеплоды размером 1-4 см в диаметре, которые выращивают в тепличном комплексе в осенне-зимний период [26] или летом в открытом грунте на хорошо удобренных участках. Использование культуры штеклингов широко применяется на культуре свёклы сахарной: в семеноводстве и при ускоренном репродуцировании селекционно-ценных образцов [27, 28, 29, 30]. Наибольшее число цветущих растений (85%) отмечено в крупной фракции (3-4 см) штеклингов, выращенных при летнем посеве в III декаде июля [31, 32]. Этот метод также имеет свои недостатки по сравнению с традиционной схемой селекции свёклы: происходит увеличение числа упрямец (растений, которые на второй год вегетации не переходят в репродуктивную стадию развития). В позднеспелых инбредных потомствах увеличиваются потери в период хранения до 10% и в период приживаемости до 30%, а при выращивании семенных растений в условиях защищенного грунта в зимне-весеннем обороте удлиняется этап онтогенеза «посадка-начало цветения». Ускорение двулетней культуры сокращается до 1,5 лет, и использование маточников маленького размера с несформированными сортовыми и хозяйственно-полезны-

ми признаками приводит к изменению структуры потомства по отдельным признакам. Поэтому культуру «штеклингов» непрерывно использовать рекомендуется только для предварительной оценки селекционного материала по признаку мужской стерильности [33].

Целью работы была разработка методики получения полноценного потомства у двулетней культуры свёклы за один год, где последовательно бы сохранялись все этапы онтогенеза растений первого и второго года жизни, и которая могла бы использоваться неограниченное количество раз для всех разновидностей *Beta vulgaris* L: сахарной, столовой и кормовой [34].

Материалы и методы

Исследования проводили на маточных корнеплодах сорта Маруся (рис. 1).

Сорт Маруся относится к сорто типу Бордо, среднеспелый, получен методом индивидуально-семейственного отбора. Характеризуется полураскидистой листовой розеткой с зелеными листьями овальной формы. Корнеплод округлый с гладкой ровной поверхностью, маленькой голов-



Рис. 1. Свёкла столовая сорта Маруся
Fig. 1. Marusya table beet variety



А

А. Раскладка отобранных маточных корнеплодов при посадке в грунт в теплице 1, Схема 70 x 25 см, 03.02.2020



Б

Б. Отобранные маточные корнеплоды перед посадкой в вегетационные сосуды, 2020-2024 годы

Рис. 2. Внешний вид маточных корнеплодов свёклы столовой сорта Маруся перед посадкой, 2020-2024 годы
Fig. 2. Appearance of mother roots of table beet variety Marusya before planting, 2020-2024

кой и тонким осевым корешком. Мякоть корнеплода темно-красная, нежная, без четко выраженных колец. Сорт предназначен для товарного производства и приусадебных хозяйств. Рекомендуется для потребления в свежем виде, длительного хранения и переработки. Устойчив к загущению (600 тыс. растений/га), цветущности и перерастанию, отзывчив на внесение больших доз удобрений. Следняя урожайность в условиях 2023 года – 49 т/га, максимальная – 78,2 т/га, товарность – 95-97%, средняя масса товарного корнеплода 180-250 г, сохранность продукции составляет 95%. В корнеплодах содержится 17,2% сухого вещества, 12,0% сахаров, 11,2 мг% аскорбиновой кислоты и 5,8 мг/г антиоксидантов.

Маточные корнеплоды после уборки хранили при температуре 3-5°C в течение 4 месяцев (октябрь-январь) в контейнерах с полиэтиленовым вкладышем (вместо 6,5 месяцев по традиционной технологии с температурой 1-20°C). Перед посадкой маточные корнеплоды отбирали по внешним (форма, размер головки, окраска поверхности, толщина осевого корешка и прочие) и внутренним признакам (окраска мякоти и характер кольцеватости), при этом срезали 1/3 часть корнеплода в зоне наибольшего диаметра со стороны, где нет роста корней. Высадку маточников проводили в грунт (рис. 2А, контроль) и в вегетационные сосуды объемом 3 л (рис. 2Б) в зимней остекленной теплице (далее теплица 1) с 2020 по 2022 годы, и в 2023-2024 годах в поликарбонатной теплице на стеллажных рассадных установках (далее теплица 2) в вегетационных сосудах. Для предотвращения прорастания корневой системы в грунт в теплице 1 проводили изоляцию при помощи полиэтиленового вкладыша между грунтом и вегетационными сосудами. Температурный режим в теплице 1 днем поддерживался в пределах 18...25°C, ночью около 15.17°C, в теплице 2 условия были более благоприятными: днем 20...25°C, ночью 17...20°C. Ежегодно высаживали от 45 до 62 маточных корнеплодов. Посадку проводили в первых числах февраля, в 2023 году – 23 января.

Растения досвечивали первые 30 суток по 14 часов интенсивностью освещения 3-4 клк лампами ДРЛ-400, в

последующем – только в пасмурные дни. За период от посадки до уборки с конца марта до конца мая вручную формировали семенное одностебельное растение, регулярно удаляя лишние цветоносы и розеточные пристеблевые листья нижних порядков, а для ускорения созревания семян проводили пинцировку центрального цветоноса. После уборки семенные растения досушивали в чердачном помещении при температуре 30...40°C в течение 5-6 суток. Высушенные семенные растения обмолачивали, семена дорабатывали вручную и высевали в открытый грунт в конце мая, что является оптимальным сроком для семеноводческих целей. Уход за высаженными маточниками в теплицах и деланочными посевами в открытом грунте проводили по традиционной технологии. Уборку начинали во второй декаде сентября, когда корнеплоды проявляли все апробационные признаки. При уборке проводили учет хозяйственно ценных показателей, таких как средняя масса товарного корнеплода, урожайность, товарность.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа на персональном компьютере с помощью пакета прикладных программ Excel.

Результаты и обсуждения

В результате проведенных исследований в условиях Московской области в 2020-2025 годах, используя различные типы культивационных сооружений и способы посадки, были получены результаты, представленные в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают, что при прямой посадке в грунт в теплицу 1 -03.02.2020 года вегетационный период составил 170 суток, как и при обычной технологии в открытом грунте. При этом наблюдали значительный полиморфизм в росте и развитии семенных растений, начиная с продолжительного периода отрастания, составляющего от 43 до 57 суток, так и в последующие этапы онтогенеза развития семенных растений. Формирование цветоноса началось на 51 сутки и продолжалось более 1,5 месяцев. В то время, когда одни растения переходили в стадию начала цветения, у других только начинался образовываться цвето-

Таблица 1. Продолжительность основных этапов онтогенеза семенных растений второго года жизни в защищенном грунте с использованием малообъемной технологии на примере сорта Маруся (2020-2024)
Table 1. Duration of the main stages of ontogenesis of seed plants in the second year of life in protected ground using low-volume technology using the example of the Marusya variety (2020-2024)

Этапы онтогенеза	Теплица 1			Теплица 2	
	контроль* (зимняя теплица), 2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год
Дата посадки	03.02	05.02	01.02	23.01	06.02
Посадка - отрастание, сут.	43-57	35	30	27	25
Образование цветоноса, сут.	51-100	44	46	36	34
Бутионизация, сут.	90	65	63	51	50
Цветение, сут.	110	87	87	75	65
Созревание семян, сут.	170	138	132	122	108
Дата уборки	22.07	25.06	18.06	25.05	23.05

*Прямая посадка в грунт без использования горшков



Посадка в грунт, 2020 год

Посадка в горшки 2021-20022 годы

2023-2024 годы

Теплица 1

Теплица 2

Рис. 3. Внешний вид семенных растений столовой свёклы сорта Маруся в различных условиях защищенного грунта в период 2020-2024 годов (III декада мая).
Fig. 3. Appearance of table beet seed plants of the Marusya variety in various protected ground conditions in the period 2020-2024 (third ten days of May)

нос (рис. 3). Период созревания семян был также растянут более чем на два месяца. На семенных растениях одновременно происходило побурение семян и продолжалось цветение, поэтому семенные растения на 170 сутки выдергивали и досушивали в условиях защищенного грунта, а затем обмолачивали. При такой схеме посев семенами урожая текущего года был проведен в третьей декаде июля с возможностью получить только штеклинги небольшого размера в условиях пленочных селекционных боксов.

При выращивании маточных корнеплодов в теплице 1 между различными способами посадки общее сокращение вегетационного периода семенных растений сорта Маруся составило в 2021 году 32, а в 2022 году – 36 суток, причем период от до посадки до начала цветения в эти годы был одинаков – 87 суток.

В условиях 2023-2024 годов в теплице 2 с более комфортными условиями роста и развития по сравнению с теплицей 1, дружное отрастание и образование розетки листьев поэтапно было сокращено до с 30-35 суток 25-27 суток в

2021-2022 годах соответственно или до 10 суток. Суммарный же период вегетации аналогично по этим же годам был сокращен с 138-132 до 123-108 суток. Таким образом, за счет создания оптимальных условий для вегетации семенных растений на стеллажных установках теплицы 2 и постоянного формирования семенного одностебельного куста свёклы столовой сорта Маруся, позволило сократить вегетационный период до 30 суток между 2021 и 2024 годами исследований. Необходимо отметить, что при создании малообъемных условий выращивания, при котором используют вегетационные сосуды значительно ускорились все этапы развития семенного растения, причем выраженного полиморфизма по продолжительности этапов онтогенеза в их группе не наблюдалось за весь период с 2021 по 2024 годы. Незначительным минусом такой технологии является низкая семенная продуктивность от 3,5 до 15 г/растения, но такого количества достаточно для оценки семенного потомства посевом семян текущего года в полевых условиях.

Таблица 2. Урожайность свёклы столовой сорта Маруся, выращенной по однолетнему циклу по методике «от корнеплода до корнеплода» в 2021-2024 годах
Table 2. Yield of table beetroot of the Marusya variety grown in a one-year cycle using the “from root crop to root crop” method in 2021-2024

Показатели	Годы и условия выращивания	2021	2022	2023	2024
		пленочный бокс	открытая теплица с поливом	традиционная технология без полива	
Дата посева		22.07	01.07	02.06	30.05
От посева до уборки, суток		82	95	108	110
Товарность, %		95	92	85	95
Доля корнеплода в массе растения, %		56±5,8	66,4±8,5	84±6,8	83±4,8
Средняя масса товарного корнеплода, г		187±41	201±35	200±25	220±30
Урожайность, кг/м ²		2,59	3,1	2,51	3,0
	НСР _{0,5}	0,25	0,3	0,2	0,3



Рис. 4. Внешний вид растений первого года жизни свёклы столовой сорта Маруся, выращенных в пленочном селекционном боксе за 82 суток в 2021 году

Fig. 4. Appearance of first-year beetroot plants of the Marusya variety grown in a film-covered breeding box for 82 days in 2021



Рис. 5. Внешний вид растений первого года жизни свёклы столовой сорта Маруся, выращенных в открытом грунте, полученных по однолетней технологии в 2023-2024 годах

Fig. 5. Appearance of beetroot plants of the Marusya variety grown in open ground, obtained using annual technology in 2023-2024

Следует отметить, что более ранняя посадка на 10 суток в 23 году, привела к задержке периода вегетации от момента отрастания – созревания семян на этот же срок (табл. 2, рис. 3), поэтому оптимальным сроком высадки в культивационные сооружения является первая декада февраля.

В условиях 2021 года при посеве семенами урожая текущего года 22 июля в пленочном селекционном боксе за 82 суток растения первого года жизни успевали сформировать типичные для сорта корнеплоды со средней массой 187 г, урожайностью 2,59 кг/м² и средней долей корнеплода в массе растения 56%. В 2022 году посев был проведен 1 июля, что позволило вегетационный период увеличить до 95 суток, посев провести уже в открытом грунте с возможностью проведения поливов. Средняя масса товарного корнеплода увеличивалась до оптимальных 200 г, при этом уменьшалась масса листовой розетки, увеличивалась доля корнеплода до 66,4% в структуре растения и урожайность до 3,1 кг/м² (табл. 2, рис. 4).

В условиях 2023-2024 годов посевы проводились в открытом грунте в обычных полевых условиях. Наблюдавшийся дефицит атмосферных осадков в 2023 году за период вегетации составил 73 мм, а в 2024 году 37 мм (по данным АМС ВНИИССОК) и приходился на критические периоды роста и развития свёклы, что привело к низкой урожайности. В условиях 2023 года средняя урожайность за 108 суток вегетации составила 2,51 кг/м², средняя масса товарного корнеплода – 200 г, причем выросла его доля до 84%, а в 2024 году за 110 суток масса товарного корнеплода составила 220 г, товарность увеличилась с 85 до 95% за счет меньшего количества недоросших корнеплодов из-за недостатка влаги, который был отмечен в 2023 году, а доля корнеплода сохранилась в тех же пределах (табл. 2, рис. 5).

Заключение

Таким образом, при выращивании семенных растений свёклы столовой сорта Маруся с использованием защищённого грунта, досвечивания, малообъёмной технологии с применением вегетационных сосудов, формирования семенного одностебельного куста первого типа ветвления удалось сократить репродуктивную стадию семенных растений со 170 суток (по традиционной технологии) до 108 суток. Посев полученными семенами в открытый грунт позволял получить за вегетационный период 108-110 суток корнеплоды с апробационными признаками, необходимыми для качественной оценки полученного за один год потомства.

Разработанная методика позволяет сохранить все последовательные этапы развития двухлетней культуры свёклы за один год и получить одно поколение от корнеплода до корнеплода. Данный метод можно использовать неограниченное количество раз, т. к. проявляющиеся нежелательные признаки могут быть устранены отбором. Это подтверждается отсутствием на посевах цветущности на протяжении всех лет исследований с 2021 по 2024 годы.

При таком способе размножения дополнительным бонусом является «временная изоляция»: цветение проходит в марте-апреле, когда маточные корнеплоды сортов и линий при традиционной технологии ещё находятся в режиме хранения (в производственной практике используется пространственная изоляция).

Методика является универсальной и может использоваться для всех разновидностей *Beta vulgaris* L.: сахарной, столовой и кормовой. С её помощью при необходимости можно ускоренно размножать имеющиеся и создавать новые сорта, линии и гибриды для промышленных технологий всех корнеплодных культур с двухлетним циклом развития.

• Литература

1. Пивоваров В.Ф., Солдатенко А.В., Пышная О.Н., Гуркина Л.К., Пинчук Е.В. Продовольственная независимость и технологический суверенитет России в отрасли овощеводства. *Овощи России*. 2024;(3):5-17. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-5-17>
<https://www.elibrary.ru/tweppi>
2. Ветрова С.А., Степанов В.А., Заячковский В.А. Экологическое испытание сортов свёклы столовой селекции ФГБНУ ФНЦО. *Овощи России*. 2023;(1):60-68. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-60-68> <https://www.elibrary.ru/sjrh>
3. Заячковский В.А., Молдован А.И., Терешонок В.И., Харченко В.А., Антошкина М.С., Павлов Л.В., Голубкина Н.А., Степанов В.А. Факторы, влияющие на уровень общей антиоксидантной активности и содержание полифенолов в чипсах из корнеплодов свёклы в процессе приготовления и хранения. *Овощи России*. 2022;(2):36-43. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-36-43>
<https://www.elibrary.ru/ironjn>
4. Федоров А.К., Чельцова Л.П., Яровизация и её загадка. Кишинев., «Штиинца» 1989. 112 с.
5. Abo-Elwafa S.F., Abdel-Rahim H.M., Abou-Salama A.M., Teama E.A. Sugar beet floral induction and fertility: Effect of vernalization and day-length extension. *Sugar Tech*. 2006;(8):281-287.
6. Durrant M.J., Mash S.J., Jaggard K.W. Effects of seed advancement and sowing date on establishment, bolting and yield of sugar beet. *J. Agric. Sci.* 1993;(121):333-341.
7. Kockelmann A., Tilcher R., Fischer U. Seed production and processing. *Sugar Tech*. 2010;(12):267-275.
8. Sadeghian S.Y., Johansson E. Genetic study of bolting and stem length in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) using a factorial cross design. *Euphytica*. 1993;(65, 177-185).
9. Kahangi M., Fudgime J., Obongo J. Effects of seed vernalization of flowering and production of lettuce (*Lactuca sativa*). 1988;(2):39.
10. Wieboch W.A. Jarovization with some vegetable and roliateed crops. Drukkeri P.A. Heensehmans. Almaar. 1965. p.39.
11. Кружилин А.С., Шведская З.М. Биология двулетних растений. М. Наука 1966. 327 с.
12. Draycott A.P. Sugar Beet; Draycott, A. Philip (Formerly of Broom's Barn Research Station); Bury St Edmunds, S., Ed.; Blackwell: Suffolk, UK, 2006. ISBN 978-1-4051-1911-5.
13. Abe J., Guan G.P., Shimamoto Y. A marker-assisted analysis of bolting tendency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*. 1997;(94):137-144.
14. Höft N., Dally N., Hasler M., Jung C. Haplotype variation of flowering time genes of sugar beet and its wild relatives and the impact on life cycle regimes. *Front. Plant Sci.* 2018;(8):2211.
15. Durrant M.J., Mash S.J. Sugar-beet seed treatments and early sowing. *Seed Sci. Technol.* 1990;(18):839-850.
16. Salimi Z., Boelt B. From Emergence to Flowering: Four Beet (*Beta vulgaris* ssp.) Cultivars' Phenological Response to Seed Priming. *Agronomy*. 2019;(9):863. <https://doi.org/10.3390/agronomy>
17. Пилипец Г.П., Бобро М.А. «Способ выращивания семян сахарной свёклы» (патент 491339 а1 от 15.11.1975) (Харьковского с/х института им. В.В. Докучаева).
18. Федоров А.К., Чельцова Л.П. Яровизация и её загадка. Кишинев, изд. Штиинца. 1989. 112 с.
19. Красочкин В.Т. Культурная флора СССР. Корнеплодные растения. Т. XIX. Л., 1971. 226 с.
20. Буренин В.И., Пивоваров В.Ф., Свёкла. ВНИИ им. Вавилова, ВНИИССОК. 1998. 212 с.
21. Козий В.Е., Нагорный Г.М., Гизбуллин Н.Г. «Способ выращивания рассады семенников сахарной свёклы» (патент 1727615а1 от 1992.04.23) авторы: (ВНИИ сахарной свёклы НПО сахарная свёкла).
22. Булин В.Н., Юрчак В.П. Методика выращивания семян по однолетнему циклу. - *Сахарная свёкла*. 1986;(1):33-34.
23. Пи Чжи, Ву Цзэд, Син Ван. «Метод быстрого размножения свеклы» (патент CN 110612876A от 2019 12 27).
24. Ветрова С.А., Солдатенко А.В., Новиков И.В., Степанов В.А., Заячковский В.А. Рентабельность товарного семеноводства свёклы столовой при различных способах производства. *Овощи России*. 2025;(4):33-41.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-33-41>
<https://www.elibrary.ru/yuaom>
25. Заячковский В.А. Разработка методов гетерозисной селекции столовой свёклы. Москва, 2000.
26. Конысбеков К.Т., Бастаубаева Ш.О., Елназаркызы Р., Табынбаева Л.К., Мусагоджаев Н.Т. Выращивание штеклингов новых гибридов сахарной свёклы в тепличном комплексе. *Сахар, Технология высоких урожаев, «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства*. 2021;(10):50-54.
27. Федорова А.И. Выращивание маточной свёклы способом штеклингов. Сахарная свёкла. 1962;(1).
28. Фомичев А.М. Метод штеклингов в семеноводстве кормой свёклы. Селекция и семеноводство. 1978.
29. Сазонова Л.В., Власова Э.А. Корнеплодные растения (морковь, сельдерей, петрушка, пастернак, редис, редька). Л.: Агропромиздат. 1990. 296 с.
30. Шевцов И.А., Фомичев А.М. Биология и агротехника кормовой свёклы. Киев, 1980.
31. Смирнов П.С. Яровизация вегетирующих растений и покоящихся почек двухлетних культур. Ленинград, 1966. 19 с.
32. Сущевич А.В. Разработка приемов семеноводства сахарной свёклы по способу штеклингов для западных районов Белоруссии. Минск, 1964. 26 с.
33. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Федорова М.И. Ускорение селекционного процесса для создания линейного материала свёклы столовой. *Овощи России*. 2019;(1):29-36.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-29-36>
<https://www.elibrary.ru/fhksep>
34. Заячковский В.А., Голубкина Н.А., Заячковская Т.В., Степанов В.А., Ветрова С.А., Солдатенко А.В. «Способ ускоренного получения семян и маточников свёклы в один год с использованием малообъемной технологии». (Патент на изобретение RU 2844575 С1, 04.08.2025. Заявка № 2024107306 от 20.03.2024).

● References

- Pivovarov V.F., Soldatenko A.V., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K., Pinchuk E.V. Food independence and technological sovereignty of Russia in the vegetable growing sector. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(3):5-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-5-17> <https://www.elibrari.ru/tweppi>
- Vetrova S.A., Stepanov V.A., Zayachkovsky V.A. Ecological testing of varieties beetroot selection of FSBSI FSVC. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(1):60-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-60-68> <https://www.elibrari.ru/sjrh>
- Zayachkovsky V.A., Moldovan A.I., Tereshonok V.I., Kharchenko V.A., Antoshkina M.S., Pavlov L.V., Golubkina N.A., Stepanov V.A. Factors affecting total antioxidant activity and polyphenol content in beet root chips during production and storage. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(2):36-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-36-43> <https://www.elibrari.ru/ironjn>
- Fedorov A.K., Cheltsova L.P., Vernalization and its mystery. Chisinau, "Shtiintsa", 1989. 112 p. (In Russ.)
- Abo-Elwafa S.F., Abdel-Rahim H.M., Abou-Salama A.M., Teama E.A. Sugar beet floral induction and fertility: Effect of vernalization and day-length extension. *Sugar Tech*. 2006;(8):281–287.
- Durrant M.J., Mash S.J., Jaggard K.W. Effects of seed advancement and sowing date on establishment, bolting and yield of suga beet. *J. Agric. Sci*. 1993;(121):333–341.
- Kockelmann A., Tilcher R., Fischer U. Seed production and processing. *Sugar Tech*. 2010;(12):267–275.
- Sadeghian S.Y., Johansson E. Genetic study of bolting and stem length in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) using a factorial cross design. *Euphytica*. 1993;(65), 177–185.
- Kahangi M., Fudjime J., Obongo J. Effects of seed vernalization of flowering and production of lettuce (*Lactuca sativa*). 1988;(2):39.
- Wieboch W.A. Jarovization with some vegetable and rolialateed crops. Drukkeri P.A. Heensehmans. Almaar. 1965. p.39.
- Kruzhilin A.S., Shvedskaya Z.M. Biology of biennial plants. Moscow: Nauka, 1966. 327 p. (In Russ.)
- Draycott A.P. Sugar Beet; Draycott, A. Philip (Formerly of Broom's Barn Research Station); Bury St Edmunds, S., Ed.; Blackwell: Suffolk, UK, 2006. ISBN 978-1-4051-1911-5.
- Abe J., Guan G.P., Shimamoto Y. A marker-assisted analysis of bolting tendency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Euphytica*. 1997;(94):137–144.
- Höft N., Dally N., Hasler M., Jung C. Haplotype variation of flowering time genes of sugar beet and its wild relatives and the impact on life cycle regimes. *Front. Plant Sci*. 2018;(8):2211.
- Durrant M.J., Mash S.J. Sugar-beet seed treatments and early sowing. *Seed Sci. Technol*. 1990;(18):839–850.
- Salimi Z., Boelt B. From Emergence to Flowering: Four Beet (*Beta vulgaris* ssp.) Cultivars' Phenological Response to Seed Priming. *Agronomy*. 2019;(9):863. <https://doi.org/10.3390/agronomy>
- Pilipets G.P., and Bobro M.A., "Method for Growing Sugar Beet Seeds" (patent 491339 a1 dated 15.11.1975) (V.V. Dokuchaev Kharkiv Agricultural Institute). (In Russ.) 1Shtiints Publishing House. 1989. 112 p. (In Russ.)
- Krasochkin V.T. Cultivated Flora of the USSR. Root Crops. Vol. XIX. Edited by Zhukovsky P.M., L. 1971. 226 p. (In Russ.)
- Burenin V.I., Pivovarov V.F., Beet. Vavilov All-Russian Research Institute, VNISSOK. 1998. 212 p. (In Russ.)
- Koziy V.E., Nagorny G.M., Gizbullin N.G. "Method for Growing Sugar Beet Seedlings" (Patent SU 1 727 615a1, Issued April 23, 1992) Authors: (All-Russian Sugar Beet Research Institute, NPO Sugar Beet). (In Russ.)
- Bulin V. N., Yurchak V. P. "Method for Growing Seeds in an Annual Cycle". Sugar Beet, 1986;(1):33-34. (In Russ.)
- Pi Zhi, Wu Zed, Xing Wang, "Method for Rapid Beet Propagation" (Patent CN 110612876A, Issued December 27, 2019).
- Vetrova S.A., Soldatenko A.V., Novikov I.V., Stepanov V.A., Zayachkovsky V.A. Profitability of commercial beetroot seed production in various production methods. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(4):33-41. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-33-41> <https://www.elibrari.ru/yyuaom>
- Zayachkovsky V.A. Development of methods for heterotic breeding of table beet. Dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences. Moscow, 2000. (In Russ.)
- Konysbekov K.T., Bastaubaeva Sh.O., Elnazarkyzy R., Tabynbaeva L.K., Musagodzhaev N.T. Growing stecklings of new sugar beet hybrids in a greenhouse complex. *Sakhar, High-Yield Technology, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing*. 2021;(10):50-54. (In Russ.)
- Fedorova A.I. Growing mother beets using the steckling method. Sugar beet. 1962;(1). (In Russ.)
- Fomichev A.M. The Steckling Method in Seed Production of Fodder Beets. Breeding and Seed Production. 1978. (In Russ.)
- Sazonova L.V., Vlasova E.A. Root Crops (Carrots, Celery, Parsley, Parsnips, Radish, Horseradish). Leningrad: Agropromizdat, 1990. 296 p. (In Russ.)
- Shevtsov I.A., Fomichev A.M. Biology and Agricultural Technology of Fodder Beets. Kyiv, 1980. (In Russ.)
- Smirnov P.S. Vernalization of vegetative plants and dormant buds of biennial crops. Leningrad, 1966. 19 p. (In Russ.)
- Sushchevich A.V. Development of sugar beet seed production techniques using the steckling method for the western regions of Belarus. Minsk, 1964. 26 p. (In Russ.)
- Vetrova S.A., Kozar E.G., Fedorova M.I. Acceleration of the breeding process to create a linear material of red beet. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(1):29-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-29-36> <https://www.elibrari.ru/fhksep>
- Zayachkovsky V.A., Golubkina N.A., Zayachkovskaya T.V., Stepanov V.A., Vetrova S.A., Soldatenko A.V. "A method for accelerated production of beet seeds and mother plants in one year using low-volume technology." (Patent for invention RU 2844575 C1, 04.08.2025. Application No. 2024107306 dated 20.03.2024).

Об авторе:

Владимир Александрович Заячковский – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства столовых корнеплодов; <https://orcid.org/0000-0001-9821-5381>, SPIN-код: 9397-8691, автор для переписки, vladimir898542178114@mail.ru

About the Author:

Vladimir A. Zayachkovsky – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Breeding and Seed Production of Table Root Crops, <http://orcid.org/0000-0001-9821-5381>, SPIN-код:9397-8691, Corresponding Author, vladimir898542178114@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-66-74>
УДК:635.264:631.526:631.524.86

М.Г. Монахос*,
Я.Т. Эйдлин,
С.Г. Монахос

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
127434, Россия, г. Москва,
Тимирязевская ул., 49

*Автор для переписки:
mihaluch1864@gmail.com

Вклад авторов: Монахос М.Г., Эйдлин Я.Т.: методология, концептуализация, проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование. Монахос С.Г.: руководство исследованием, ресурсы.

Конфликт интересов. Авторы статьи не имеют конфликта интересов.

Для цитирования: Монахос М.Г., Эйдлин Я.Т., Монахос С.Г. Создание исходного материала для гибридной селекции лука батун с устойчивостью к пероноспорозу. *Овощи России*. 2026;(1):66-74. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-66-74>

Поступила в редакцию: 23.01.2026

Принята к печати: 24.02.2026

Опубликована: 16.03.2026

Mikhail G. Monakhos*,
Yakov T. Eidlin,
Sokrat G. Monakhos

Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazevskaya street, Moscow,
127434, Russia

*Corresponding Author:
mihaluch1864@gmail.com

Authors' Contributions. Monakhos M.G., Eidlin Ya.T.: conceptualization, methodology, investigation, formal analysis, writing – review & editing. Monakhos S.G.: supervision, resources.

Conflict of interest. The authors of the article declare no conflict of interest.

For citations: Monakhos M.G., Eidlin Ya.T., Monakhos S.G. Development of Initial Material for Hybrid Breeding of Welsh Onion with Resistance to Downy Mildew. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):66-74. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-66-74>

Received: 23.01.2026

Accepted for publication: 24.02.2026

Published: 16.03.2026

Создание исходного материала для гибридной селекции лука батун с устойчивостью к пероноспорозу



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Целью работы было – создание исходного материала для селекции F₁ гибридов лука батун с устойчивостью к пероноспорозу.

Материал и методика. Проведена межвидовая гибридизация с использованием *A. roylei* (донор доминантного гена устойчивости *Pd1*) и *A. galanthum* (донор Ga-типа цитоплазмы, индуцирующей ЦМС) с последующими насыщающими скрещиваниями с *A. fistulosum* (сорт «Ishikura» и линией из гибрида «Katana F₁»). Оценку фертильности пыльцы проводили методом ацетокарминового окрашивания с подсчетом доли окрашенных зерен в трех полях зрения. Оценку устойчивости/восприимчивости полученных популяций проводили на искусственном инфекционном фоне (инокулюм патогена *Peronospora destructor* в концентрации 3*10⁶ спор/мл), а также с использованием молекулярного SCAR-маркера DMR1.

Результаты. Установлено, что гибриды первого поколения (*A. roylei* × *A. fistulosum*) и (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) характеризуются крайне низкой фертильностью пыльцы (17,9% и 14,9% соответственно), обусловленной нарушениями мейоза при отдаленной гибридизации. Однако однократное беккроссирование гибрида (*A. roylei* × *A. fistulosum*) с *A. fistulosum* привело к полному восстановлению мужской фертильности, и она составила 95,4%. Фенотипический анализ на инфекционном фоне выявил отсутствие симптомов поражения пероноспорозом у всех растений популяций BC₁ и потомства беккроссных растений, что не соответствует ожидаемому моногенному доминантному расщеплению. При этом ПЦР-анализ с маркером DMR1 продемонстрировал амплификацию неспецифичных фрагментов (350, 490 и 580 п.н.) у растений BC₁. В результате исследования показана возможность передачи в геном лука батун ЦМС-индуцирующего фактора от *A. galanthum* и гена устойчивости *Pd1* от *A. roylei*. Отсутствие расщепления по устойчивости к пероноспорозу при беккроссировании восприимчивыми образцами *Allium fistulosum*, а также в самопыленном потомстве беккроссных растений позволяет выдвинуть гипотезу, о наследственном факторе в цитоплазме *Allium roylei* препятствующем образованию зигот, с рецессивным гомозиготным генотипом *pd1pd1*. Эту гипотезу подтверждает факт обнаружения восприимчивых растений в потомствах, где устойчивые растения гибрида *A. roylei* × *A. fistulosum* использовали в качестве опылителей на растения с цитоплазмой *A. galanthum* и *A. fistulosum*. Полученные беккроссные популяции представляют ценный материал для селекции гетерозисных гибридов лука батун.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лук батун, *Allium roylei*, *Allium galanthum*, мужская стерильность, ПЦР, межвидовая гибридизация

Development of Initial Material for Hybrid Breeding of Welsh Onion with Resistance to Downy Mildew

ABSTRACT

Relevance. The aim of our work was to create initial material for the breeding of F₁ hybrids of Welsh onion (*Allium fistulosum*) with resistance to downy mildew.

Materials and Methods. To achieve this goal, interspecific hybridization was carried out using *A. roylei* (donor of the dominant resistance gene *Pd1*) and *A. galanthum* (donor of the Ga-type cytoplasm inducing CMS), followed by backcrossing with *A. fistulosum* (cultivar 'Ishikura' and self-pollinated lines from the 'Katana F₁' hybrid). Pollen fertility was assessed using the acetocarmine staining method, calculating the proportion of stained grains in three fields of view. Evaluation of resistance/susceptibility of the obtained populations was conducted under an artificial infection background (inoculum of the pathogen *Peronospora destructor* at a concentration of 10⁶ spores/ml), as well as using the molecular SCAR marker DMR1.

Results. It was found that first-generation hybrids (*A. roylei* × *A. fistulosum*) and (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) are characterized by extremely low pollen fertility (17.9% and 14.9%, respectively), caused by meiotic disturbances during distant hybridization. However, a single backcross of the hybrid (*A. roylei* × *A. fistulosum*) with *A. fistulosum* led to a complete restoration of male fertility in the BC₁ population, where the average fertility was 95.4%. Phenotypic analysis under the artificial infection background revealed an absence of downy mildew symptoms in all plants of the BC₁ and its populations containing genetic material from *A. roylei*, which does not correspond to the expected monogenic dominant segregation. At the same time, PCR analysis with the DMR1 marker demonstrated the amplification of non-specific fragments (350, 490, and 580 bp) in BC₁ plants, indicating structural rearrangements in the introgression region of the *Pd1* gene. The study demonstrated the possibility of transferring the CMS-inducing factor from *A. galanthum* and the *Pd1* resistance gene from *Allium roylei* into the genome of Welsh onion. The obtained BC populations represent valuable material for the breeding of heterotic Welsh onion hybrids resistant to downy mildew.

KEYWORDS:

Welsh onion, *Allium roylei*, *Allium galanthum*, male sterility, PCR, interspecific hybridization.

Введение

Лук батун (*Allium fistulosum* L., 1753) – многолетнее травянистое растение, возделывается ради сочной зелёной части ложного стебля (пера) для пищевых и пряных целей. Растение родом из восточной части Центральной Азии, а именно Алтайских гор и озера Байкал. В сельском хозяйстве Китая занимает первое место по посевным площадям лука батун (свыше 500 тыс. га). Япония и Южная Корея также имеют первенство по площадям выращивания, с площадями по 25 тыс. га [1]. В Европе и Северной Америке лук-батун встречается реже, однако в последние годы как салатный лук он привлекает внимание селекционеров и фермеров своей высокой урожайностью зелёной массы и холодостойкостью. Культура характеризуется ранним началом вегетации весной, высоким выходом зелёной массы, до 90% урожая приходится на перо, что значительно выше, чем у репчатого лука, а также богатым витаминным составом листьев.

Пероноспороз луковых или ложная мучнистая роса – грибное облигатно-биотрофное заболевание, возбудителем которого является оомицет *Peronospora destructor* (Berk.) Casp. При благоприятных условиях (высокая влажность и низкие температуры) патоген быстро распространяется по листу, образуя характерный серо-пурпурный пушистый налёт. Инфицирование листьев приводит к их пожелтению, некрозам и гибели, что существенно снижает фотосинтез и урожайность растения. По оценкам фитозооэпидемиологов, пероноспороз может наносить чрезвычайно серьёзный ущерб. При полном развитии эпифитотии потери урожая репчатого лука достигают 50-75%. Для контроля болезни обычно требуются множественные обработки фунгицидами (до 10-12 раз за сезон), что обременительно и нежелательно с экологической точки зрения. Таким образом, пероноспороз остаётся одной из наиболее опасных болезней для луковых культур, включая лук батун, и требует поиска длительных решений [2, 3].

Устойчивость к пероноспорозу у *Allium roylei* впервые была обнаружена и описана Van Der Meer и De Vries оценкой на инфекционном фоне. Результаты их опыта показали, что симптомы поражения в условиях инфекционного фона полностью отсутствуют как у самого *Allium roylei*, так и у его гибридного потомства от лука репчатого [4]. Позднее A. Kofoet, в результате скрещивания устойчивого *Allium roylei* и сорта репчатого лука «Jumbo» и дальнейшим беккроссом с репчатым луком в качестве повторного родителя, установил что устойчивость контролируется доминантным геном Pd [5]. Более подробно ген Pd был изучен Хрусталёвой и соавторами. Проведя GISH анализ, ею было определено, что ген локализован на 3 хромосоме в дистальной части её длинного плеча [3]. Подобный подход межвидовой гибридизации, может быть применён и к луку батуну, для получения устойчивых к пероноспорозу гибридов.

Гибридная селекция и семеноводство лука батун подразумевает использование ЦМС систем, для получения 100% гибридных семян, упрощения семеноводства и дополнительной биологической защиты авторских прав. Учитывая то, что внутри вида нет изученных и используемых ЦМС систем, необходима передача этого признака из близкородственных видов.

Наиболее перспективным является поиск и передача ЦМС системы контролируемой исключительно цитоплазматическим фактором, что исключает необходимость в создании генотипов закрепителей стерильности. Это отражается

в отсутствии необходимости анализирующих скрещиваний или маркер-опосредованного отбора генов восстановления/закрепления стерильности. Потомства, полученные от таких скрещиваний, будут полностью стерильными, вне зависимости от выбора отцовского компонента в качестве опылителя.

Наиболее перспективным источником ЦМС системы может служить близкродственный лук молочнокветковый (*Allium galanthum*). Цитоплазма лука молочнокветкового может стать хорошим инструментом для селекции гибридного лука батун. Впервые она была передана в результате межвидовой гибридизации в репчатый лук. Фенотипически цветки растения молочнокветкового лука отличаются скручиванием сегментов околоцветника вверх и тычиночными нитями без пыльников. Это уникальные морфологические признаки, отличающие ЦМС лука молочнокветкового от стерильности S-, R- и T-типа лука репчатого.

Исследования M.J. Havey показали, что аллели, восстанавливающие мужскую фертильность у лука, обладающего S-цитоплазмой, не восстанавливали мужскую фертильность у лука с ЦМС из цитоплазмы лука молочнокветкового. Это подтверждает, что ЦМС, индуцированная цитоплазмой лука молочнокветкового, имеет другой генетический фон, отличный от S-типа ЦМС лука и имеет цитоплазматическое наследование [6]. Вместе с тем, командой Yamashita был найден внутривидовой ген, обозначенный как Rf, который в доминантном аллельном состоянии восстанавливает фертильность у растений лука батун. GISH анализ показал, что ген локализован на 5 хромосоме лука молочнокветкового [7].

Целью настоящего исследования является передача гена устойчивости к ложной мучнистой росе (Pd1) из *Allium roylei* в лук батун. А также испытание лука молочнокветкового (*Allium galanthum*) в качестве донора специфичной ЦМС в лук батун.

В рамках исследования будет проведена межвидовая гибридизация лука батун с *Allium roylei* и *Allium galanthum*; Оценка фертильности полученных популяций межвидовых гибридов; Оценка устойчивости к пероноспорозу популяций, с геномом *Allium roylei*; Изучение факторов наследования целевых признаков ЦМС и устойчивости к ложной мучнистой росе.

Материалы и методы

Растительный материал

Представители видов лука, используемые как доноры признаков были взяты в качестве исходного материала из коллекции ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева». *Allium galanthum* – донор цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) и *Allium roylei* – донор гена устойчивости к пероноспорозу (Pd1).

Сорт *Allium fistulosum* «Ishikura/Long white» был выбран на ранних стадиях селекционного процесса в 2019 году, так как является одним из лучших коммерческих сортов лука батун (*Allium fistulosum*). Скороспелый сорт, урожайность 1,4 кг/м², устойчив к фузариозной гнили, розовой гнили и пожелтению листьев.

Гибрид лука батун «Katana F₁» (Sakata) – один из лучших коммерческих F₁ гибридов лука батун использовали для возвратного скрещивания. Обладает прекрасными хозяйственно ценными признаками среди гибридов лука батун на момент 2023 года. Скороспелый сорт, урожайность до 7 кг/м², устойчив к стрелкованию и полеганию. Для

селекционного процесса использовали фертильное растение из потомства F₂. Также на основе «Katana F₁» создана чистая линия лука батунна путём самоопыления и отбора наилучших форм.

Имеющиеся и полученные семена растений лука высевали в кассеты с ячейками размером 3,2×3,2×4,0 (Д×Ш×В см). Через 10 дней после прорастания растения переваливали в горшки 11×8 (ДМ×В см). Далее растения в возрасте 20-30 дней с момента прорастания пересаживали в открытый грунт на опытный участок со схемой посадки 70×20 см. Растения популяции ((*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*) переваливали из кассет в горшки 26×20 (ДМ×В см) и расставляли в открытом грунте без высадки. В качестве субстрата использовался грунт торфяной универсальный «Агробалт».

Определение фертильности межвидовых гибридов

Жизнеспособность пыльцы оценивали у 4 растений популяции (*A. roylei* × *A. fistulosum*), 10 растений популяции (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) и 20 растений популяции [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] методом ацетокарминового окрашивания. Цветки собирали из зонтиков, у которых распустилось по меньшей мере 2/3 всех цветков. С одного зонтика каждого растения было отобрано по 3 цветка. Жизнеспособность пыльцы проверялась в течение одного часа после сбора цветков, чтобы не допустить обезвоживания пыльцы. С каждого из трёх цветков одного растения было отобрано по одному пыльнику, эти 3 пыльника помещались на предметное стекло в 30 мкл окрашивающего раствора (ацетокармин 0,5%). Пыльники в окрашивающем растворе накрывали покровным стеклом, после чего на покровное стекло оказывали небольшое давление, для разрушения оболочки пыльника и выхода в окрашивающий раствор пылевых зёрен. Полученные препараты были просмотрены на электрическом световом микроскопе. В препаратах жизнеспособная пыльца окрашивалась в красный цвет, тогда как нежизнеспособная пыльца оставалась неокрашенной или окрашивалась слабо. В каждом препарате было посчитано общее число пылевых зёрен и окрашенных, то есть фертильных, подсчёт вёлся в трёх разных полях зрения в каждом препарате.

Анализ устойчивых к пероноспорозу форм

Маркер-опосредованный отбор применяли для выделения устойчивых к пероноспорозу растений, обладающих геном *Pd1*, а также определения его аллельного состояния. Выделение ДНК проводилось СТАВ-методом [8]. Для выделения использовали 150-200 мг свежей ткани молодых листьев. Амплификация проводилась в ПЦР-амплификаторе Thermal Cycler C1000 Touch (Bio-Rad). Молекулярно-генетический анализ и дифференциация генотипов в расщепляющихся популяциях была проведена с использованием маркера DMR1 – SCAR-маркера ядерного гена устойчивости к пероноспорозу *Pd1* [9]. Молекулярный маркер DMR1 гена устойчивости к пероноспорозу *Pd1* был амплифицирован с парой праймеров, прямым DMR1-F 5'-TGAGGCTCAAGTTGACATG-3' и обратным DMR1-R 5'-TTCGTAGCAGCATCAAGGTG-3' при температуре отжига 65 °С. Амплифицируемый ДНК-фрагмент длиной 505 бп. сцеплен с доминантным *Pd1*-аллелем, ДНК-фрагмент длиной 438 бп. с рецессивным аллелем *pd1*. Разделение ДНК-продуктов амплификации проводили электрофорезом под напряжением 100 В в течение 1 часа 15 минут в 1,5% агарозном геле. ДНК-фрагменты окрашивали флуоресцентным

красителем GelRed (Biotium, USA). Визуализация и фотодокументация разделенных электрофорезом фрагментов ДНК, продуктов амплификации, осуществлялась с помощью геледокументирующей системы

В соответствии с методикой V. Buloviene и E. Surviliene, проводились испытания на искусственном инфекционном фоне, для идентификации устойчивых растений полученных от скрещивания популяций, имеющих ген *Pd1* [10]. С листьев, поражённых пероноспорозом, растений лука репчатого, произраставшего на одном из опытных участков, методом смыва был создан инокулюм *Peronospora destructor* с концентрацией 3*10⁶ спор/мл. Популяции растений, среди которых проводился отбор, опрыскивали инокулюмом *Peronospora destructor* в начале и конце дня в течение семи дней. Помимо межвидовых гибридов, среди которых проводили отбор, также на опытном участке были высажены и обработаны восприимчивые к пероноспорозу растения лука батунна сорта «Ishikura» и лука репчатого сорта «Exhibition» в качестве индикаторов заражения патогеном на опытном участке.

Результаты

Устойчивость к пероноспорозу

у межвидовых гибридов с *Allium roylei*

В 2020 году была проведена межвидовая гибридизация растений *Allium roylei* с луком батунном сорта «Ishikura», материнским компонентом скрещивания использовали *Allium roylei*, так как у него цветки с открытым типом и легко проводить кастрацию и гибридизацию. От скрещивания получили 4 гибридных растения. У гибридов наблюдался сильный гетерозисный эффект в сравнении с обоими родителями, они формировали крупные длинные листья, а растения были более ветвистыми со сложными луковицами (рис. 1). Однако они отличались более поздним переходом к стрелкованию в сравнении с

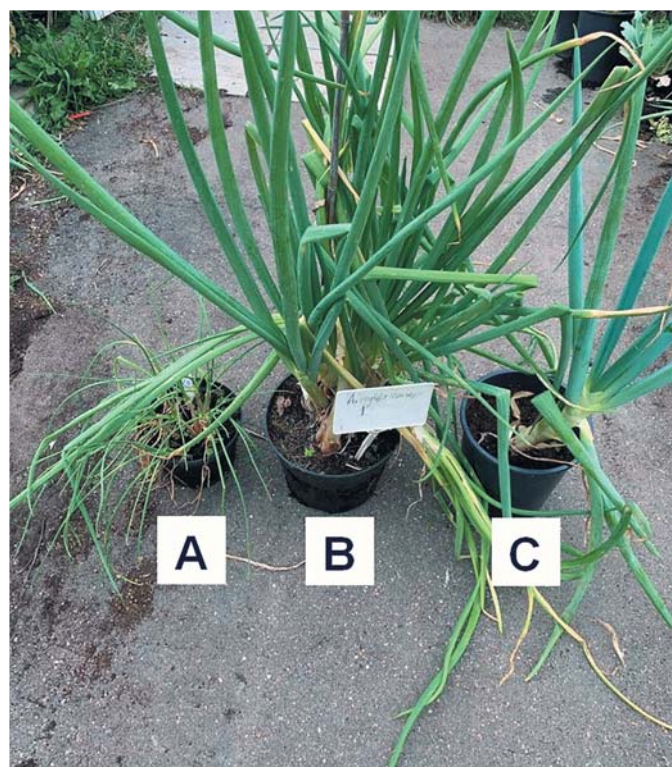


Рис. 1. Растения луков, где А – материнское растение *Allium roylei*; В – межвидовой гибрид (*A. roylei* × *A. fistulosum*); С – отцовское растение *A. fistulosum*
 Fig. 1. *Allium plants*, where А – maternal plant *Allium roylei*; В – interspecific hybrid (*A. roylei* × *A. fistulosum*); С – paternal plant *A. fistulosum*

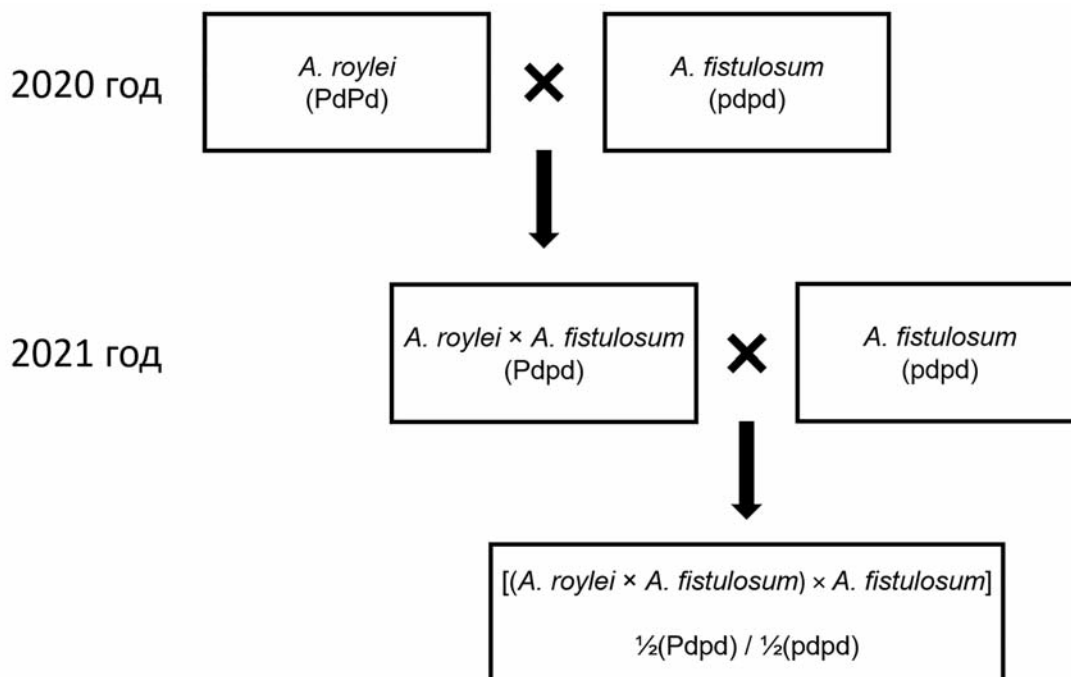


Рис. 2. Схема гибридизации 2020 и 2021 года, где в скобках под генотипом растений обозначено предполагаемое аллельное состояние гена устойчивости к пероноспорозу Pd1, в соответствии с наследованием по законам Менделя

Fig. 2. Hybridization scheme for 2020 and 2021. In parentheses below the plant genotype, the putative allelic state of the downy mildew resistance gene Pd1 is indicated, according to Mendel inheritance patterns

луком батунном и занимали промежуточное положение, так как растения *Allium roylei* стрелковались еще позже. Самоопыление растений F₁ гибридов с помощью шмелей в изодомике оказалось безуспешным, все растения были стерильными и семян F₂ потомства получить не удалось.

В 2021 году провели беккроссное скрещивание гибрида (*A. roylei* × *A. fistulosum*), в качестве отцовского родителя был взят представитель потомства F₂, полученного от самоопыления лука батун гибрида «Katana F₁». В дальнейших скрещиваниях в качестве лука батун как компонента скрещивания будет представлено растение F₂ из гибрида «Katana F₁». От беккросса получили 23 семени. Растения популяции [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] в дальнейшем были изолированы и каждому растению было проведено самоопыление с использованием ватного диска.

Схема гибридизации представлена на рисунке 2.

В 2022 году было проведено свободное опыление 20 растений [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] и было получено 260 семян. Учитывая, что ген Pd1 находится в гетерозиготном состоянии у каждого представителя скрещиваемой популяции, в потомстве по этому гену теоретически должно происходить расщепление 1:2:1 (1Pd1Pd1:2Pd1pd1:1pd1pd1) (рис.3.).

Так же для анализа влияния цитоплазмы на работу гена устойчивости к пероноспорозу (Pd1), был проведён беккросс растения генотипа [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] с *A. fistulosum*, при этом лук батун (*Allium fistulosum*) использовался уже как стерильный материнский компонент скрещивания. В результате скрещивания было получено 27 семян, схема скрещивания представлена на рисунке 4.

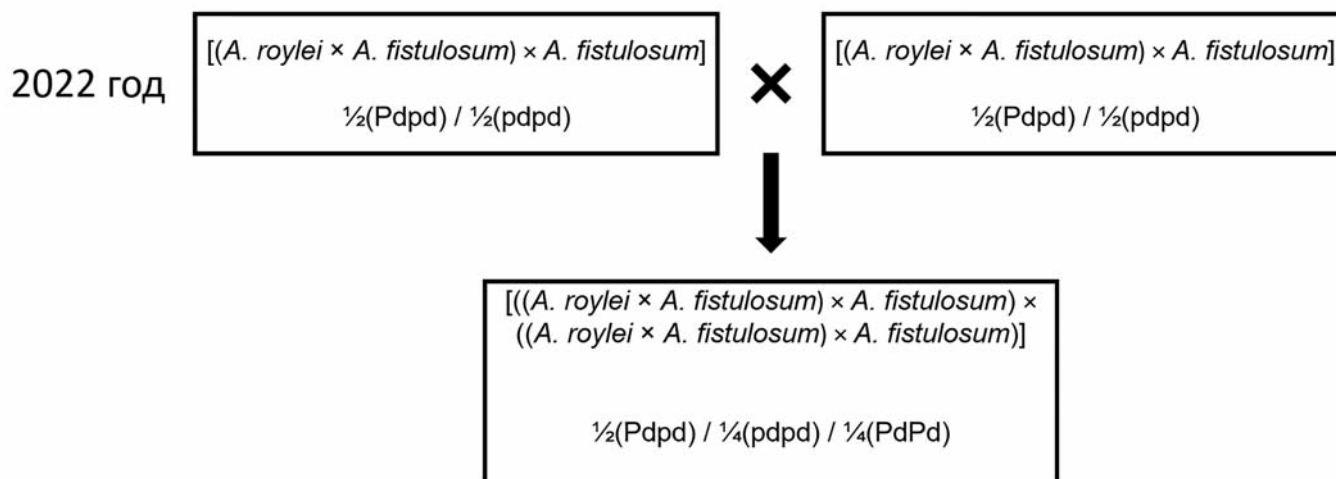


Рис. 3. Схема свободного опыления между 20 растениями межвидового гибрида [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*]

Fig. 3. Scheme of open pollination among 20 plants of the interspecific hybrid [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*]

Наследование мужской стерильности при гибридизации *Allium galanthum* и *Allium fistulosum*

В 2020 году было проведено первое скрещивание *Allium galanthum* и *Allium fistulosum* в качестве пестичного компонента. Далее в 2021 году проводился отбор лучших форм и беккросс с *Allium fistulosum* в качестве повторного родителя, схема скрещиваний представлена на рис.5.

также тип цитоплазмы – N – нормальная, обеспечивающая фертильность; Ga – специфичный для *A. galanthum* тип цитоплазмы, вызывающий мужскую стерильность.

Было проведено скрещивание растения популяции (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) с ядерно-цитоплазматической мужской стерильностью и р растения популяции [*A. roylei* × (*A. galanthum* × *A. fistulosum*)] для оценки работы генов, отвечающих за устойчивость и ядерно-цитоплазмати-

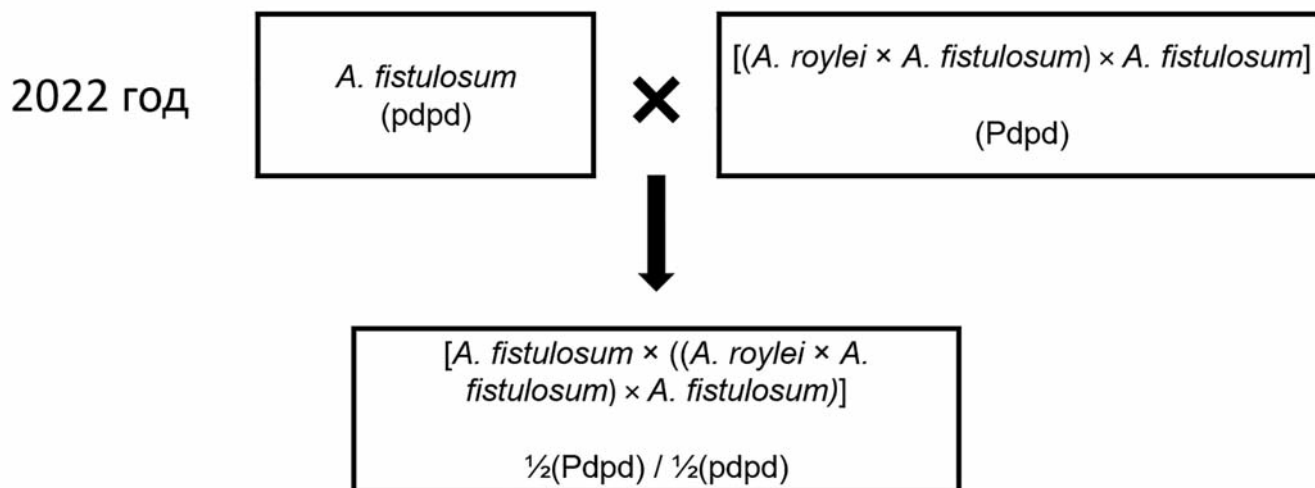


Рис. 4. Схема беккросса межвидового гибрида [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] и *A. fistulosum*, где последний используется в качестве материнского компонента
 Fig. 4. Backcross scheme of the interspecific hybrid [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] with *A. fistulosum*, where the latter is used as the maternal component

Примечание: в скобках под генотипом растений обозначено предполагаемое аллельное состояние гена восстановителя фертильности Rf – доминантный аллель, восстанавливающий фертильность, rf – рецессивный аллель;

чекую мужскую стерильность в одной популяции, а также хозяйственно ценных качеств присущих луку батуну. Схема получения конечного генотипа с целевыми признаками представлена на рис. 6. Было получено 24 семени.

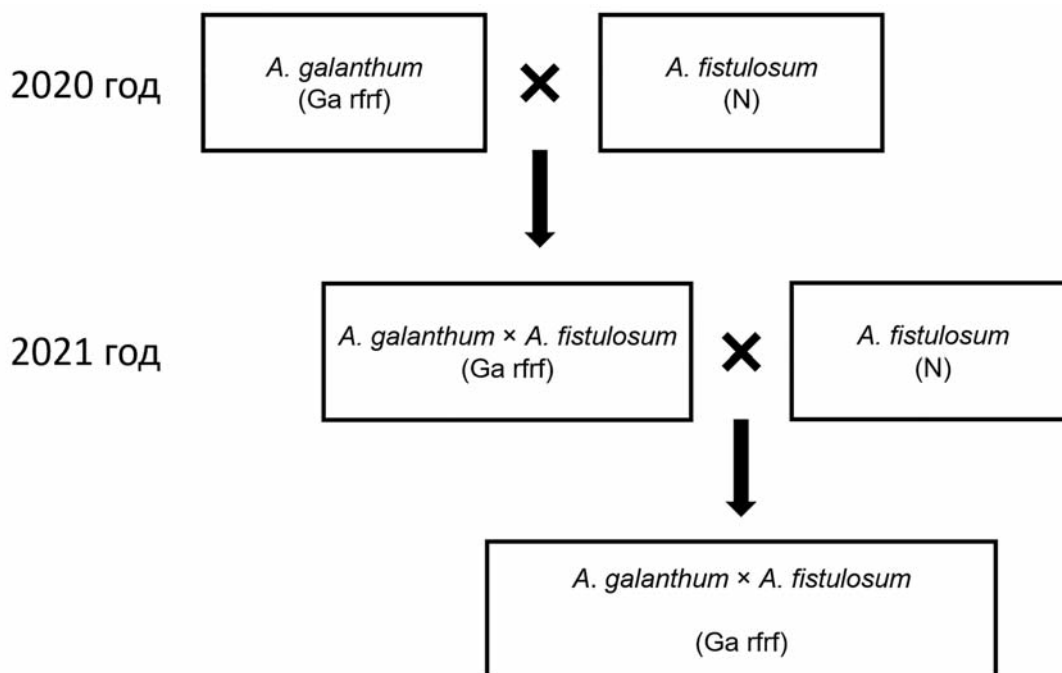


Рис. 5. Схема получения межвидовых гибридов (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) и первого поколения беккросса
 Fig. 5. Scheme for obtaining interspecific hybrids (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) and the first backcross generation Note: In parentheses below the plant genotype, the putative allelic state of the fertility restorer gene is indicated: Rf – dominant allele restoring fertility, rf – recessive allele; also the cytoplasm type: N – normal, ensuring fertility; Ga – *A. galanthum*-specific cytoplasm type inducing male sterility.

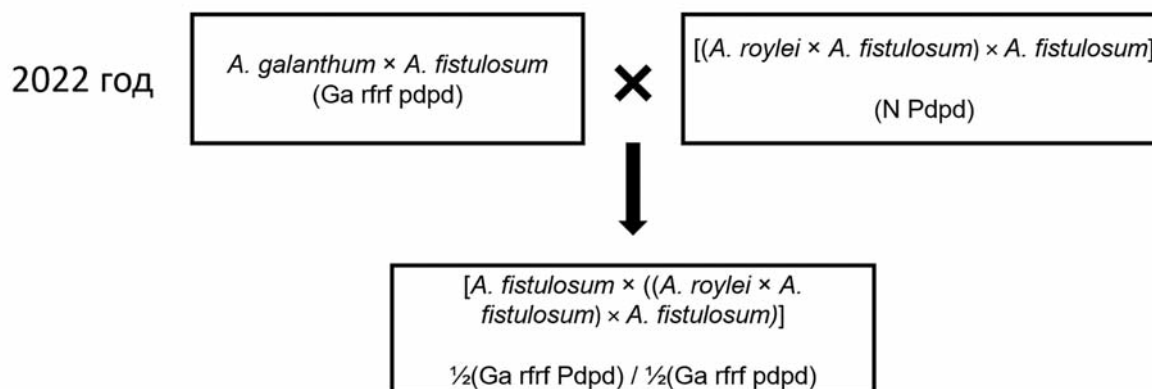


Рис. 6. Схема скрещивания межвидовых гибридов (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) и [(*A. roylei* × (*A. galanthum* × *A. fistulosum*))] *A. fistulosum*; ген восстановителя фертильности Rf; ген устойчивости к пероноспорозу – Pd1; тип цитоплазмы – N и Ga
 Fig. 6. Crossing scheme of interspecific hybrids (*A. galanthum* × *A. fistulosum*) and [(*A. roylei* × (*A. galanthum* × *A. fistulosum*))] *A. fistulosum*
 Note: Fertility restorer gene – Rf; downy mildew resistance gene – Pd1; cytoplasm type – N and Ga.

Оценка устойчивости на инфекционном фоне

Инфекционный фон показал свою эффективность, при котором высаженные в качестве индикатора растения лука репчатого (*Allium cepa*) сорта «Exhibition» полностью поразились пероноспорозом вместе с некоторыми гибридными



Рис. 7. Растения популяции [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] в технических горшках в условиях искусственного инфекционного фона. Поражённые растения лука репчатого произрастают в открытом грунте
 Fig. 7. Plants of the population [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] in technical pots under artificial infection background conditions. Infected bulb onion plants are grown in open ground

популяциями лука батуна (*Allium fistulosum*), из чего следует, что опыт был поставлен успешно. Визуальная отличимость устойчивых растений представлена на рисунке 7, где показаны устойчивые растения F₁ гибридов *A. roylei* × *A. fistulosum*. Выявлено что все растения гибридов были полностью устойчивы.

По результатам фенотипической оценки беккроссных потомств в 2023 году, было определено число устойчивых и поражённых пероноспорозом растений. Число фактически поражённых растений и растений без симптомов было соответственно сопоставлено с теоретическими ожидаемыми данными расщепления по гену Pd1. На основании сравнительных данных была составлена таблица 1.

Молекулярно-генетический анализ наследования устойчивости

Результаты ПЦР анализа, представленные на рис. 7 показали, что у всех растений генотипа [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] 3 неспецифичных для маркера DMR1 фрагментов ДНК, приблизительно 350, 490 и 580 пар нуклеотидов.

Определение фертильности

С гибридных растений популяций (*A. roylei* × *A. fistulosum*), (*A. galanthum* × *A. fistulosum*), [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] среднее по трём полям зрения отношение фертильных пыльцевых зёрен к общему их числу для каждого отобранного растения приведено в таблице (2), наглядно количество фертильных пыльцевых зёрен в каждом подобранном генотипе в одном поле зрения представлено на рисунке 9.

Таблица 1. Результаты фенотипирования межвидовых гибридов на искусственном инфекционном фоне
 Table 1. Results of phenotyping interspecific hybrids under an artificial infection background

Популяция	Всего растений	Число растений без симптомов		Число поражённых растений		χ ²
		ожидаемо	фактически	ожидаемо	фактически	
[(<i>A. roylei</i> × <i>A. fistulosum</i>) × <i>A. fistulosum</i>]	20	10	20	10	0	20
[[(<i>A. roylei</i> × <i>A. fistulosum</i>) × <i>A. fistulosum</i>] × ((<i>A. roylei</i> × <i>A. fistulosum</i>) × <i>A. fistulosum</i>)]	244	183	244	61	0	81,33
[(<i>A. galanthum</i> × <i>A. fistulosum</i>) × ((<i>A. roylei</i> × <i>A. fistulosum</i>) × <i>A. fistulosum</i>)]	10	5	8	5	2	3,60
[<i>A. fistulosum</i> × ((<i>A. roylei</i> × <i>A. fistulosum</i>) × <i>A. fistulosum</i>)]	24	12	21	12	3	13,50

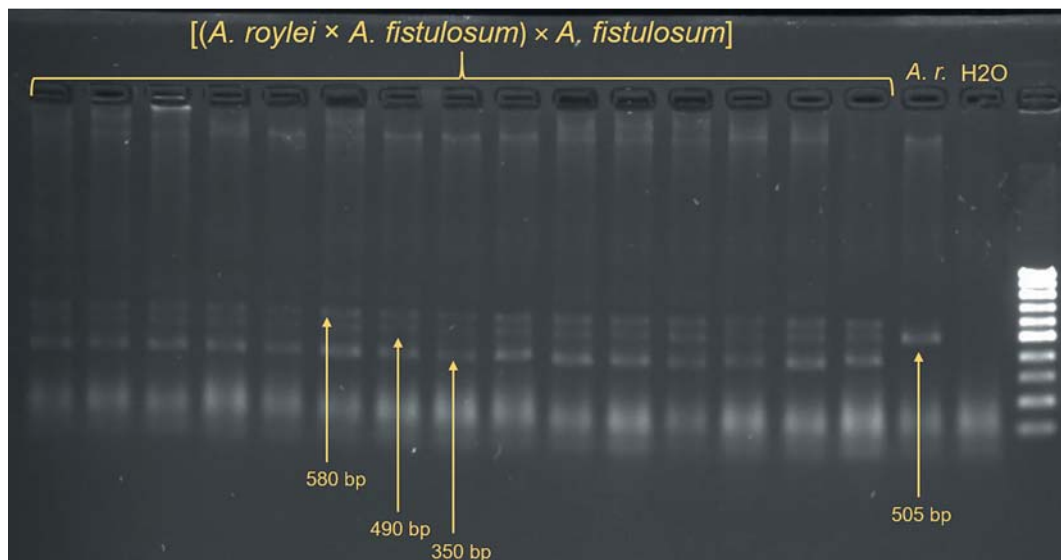


Рис. 8. Результат ПЦР анализа с парой праймеров DMR1. Проанализированы 15 растений генотипа [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*], растение *Allium roylei* – *A. r.* и отрицательным контролем – H_2O , ДНК маркер с шагом 100 п.н.
 Fig. 8. Result of PCR analysis with the DMR1 primer pair. Analyzed samples: 15 plants of the genotype [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*], an *Allium roylei* plant – *A. r.*, and a negative control – H_2O . DNA ladder with 100 bp step.

Обсуждение

Межвидовая гибридная популяция (*A. roylei* × *A. fistulosum*) характеризовалась высокой степенью мужской стерильности: средняя фертильность пыльцы составила всего 17,9% (варьирование от 15,1 до 20,1% (табл. 2, рис. 9А). Следует отметить, что такая низкая фертильность не позволяла завязываться семенам при самоопылении.

Семена второго поколения так и не удалось получить. Однако уже в первом беккроссном поколении BC₁ [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] наблюдалось полное восстановление фертильности – средний показатель достиг 95,4% (от 85,2 до 98,7% (табл. 2, рис. 9С). Это свидетельствует о том, что геном *A. fistulosum* способен компенсировать мейотические нарушения, вызванные

Таблица 2. фертильность пыльцевых зёрен межвидовых гибридов
 Table 2. Pollen grain fertility of interspecific hybrids

Популяция	№ образца в популяции	Фертильность образца, %	Средняя фертильность в популяции, %
<i>A. roylei</i> × <i>A. fistulosum</i>	1	18,8	17,9
	2	17,4	
	3	20,1	
	4	15,1	
<i>A. galanthum</i> × <i>A. fistulosum</i>	1	16,9	14,9
	2	13,2	
	3	15,6	
	4	13,1	
	5	12,9	
	6	17,5	
	7	18,2	
	8	15,4	
	9	11,8	
	10	14,4	
[(<i>A. roylei</i> × <i>A. fistulosum</i>) × <i>A. fistulosum</i>]	1	85,2	95,4
	2	93,7	
	3	97,3	
	4	93,8	
	5	97,0	
	6	92,9	
	7	98,6	
	8	94,3	
	9	90,7	
	10	98,2	
	11	95,6	
	12	98,7	
	13	96,6	
	14	98,1	
	15	92,3	
	16	95,8	
17	93,3		
18	97,4		
19	98,2		
20	93,7		

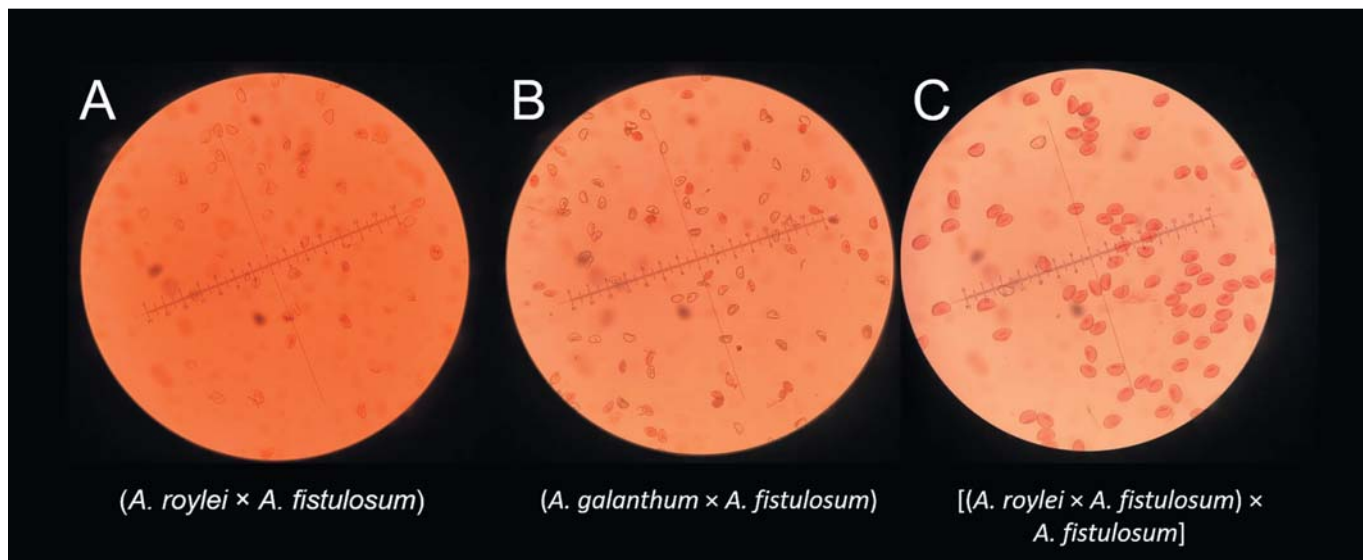


Рис. 9. Снимки препаратов пыльцевых зёрен, окрашенных ацетокармином. А – стерильные пыльцевые зёрна генотипа *A. roylei* × *A. fistulosum*; В – в основном стерильные пыльцевые зёрна генотипа *A. galanthum* × *A. fistulosum*; С – фертильные пыльцевые зёрна генотипа [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*].

Fig. 9. Micrographs of pollen grain preparations stained with acetocarmine. A – sterile pollen grains of genotype *A. roylei* × *A. fistulosum*; B – predominantly sterile pollen grains of genotype *A. galanthum* × *A. fistulosum*; C – fertile pollen grains of genotype [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*].

Allium galanthum был выбран донором за счёт обладания специфической среди видов луковых растений ядерно-цитоплазматической мужской стерильности, которая контролируется генами, присущими только *Allium galanthum* (цитоплазмой Ga и ядерным геном Rf) и хорошо фенотипически отличимой. Но при отсутствии генов восстановителей фертильности может использоваться как истинная ЦМС в других видах. В популяции *A. galanthum* × *A. fistulosum* уровень фертильности составляет 14,9% и семена от самоопыления также не завязывались.

Для дальнейшего анализа наследования низкого уровня фертильности или его возможного снижения из коллекции были отобраны и далее использовались в селекционной программе исключительно стерильные представители *Allium galanthum* с генотипом по мужской стерильности Gal rrf.

По результатам оценки на искусственном инфекционном фоне популяции [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] и [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] × [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] демонстрируют полное отсутствие расщепления – все растения оказались полностью устойчивыми, при этом значения χ^2 многократно превышают критический порог. Несмотря на то, что только половина представителей генотипа [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*], полученного по схеме из рис. 2 должна была генетически иметь устойчивость к пероноспорозу, в условиях искусственного инфекционного фона, поставленного в июле 2022 года, ни одно из растений не имело симптомов поражения в результате фенотипического анализа. Исходя из этого факта был сделан вывод, что все представители генотипа имеют ген устойчивости к пероноспорозу в гетерозиготном состоянии, то есть *Pd1pd1*, что не согласуется с моногенным наследованием Менделя. Популяция [*A. fistulosum* × ((*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*)] на инфекционном фоне демонстрирует 3 пораженных растения, что так же не согласуется с менделевским

расщеплением 1:1 при моногенном доминантном контроле.

В существующих исследованиях нетипичного наследования межвидовых гибридов, авторы сообщили о доминировании генома одного родителя над геномом другого [11,12]. В следствии такого доминирования происходит замещение хромосом субмиссивного родителя хромосомами доминантного, а также сверхэкспрессия генов доминантного родителя. Можно предположить, что геном *Allium roylei* доминирует в межвидовых гибридах над *Allium fistulosum*, и этим фактором можно объяснить отсутствие расщепления в межвидовых популяциях. Появление расщепления по гену устойчивости при реципрокном скрещивании также объясняется частой доминацией материнского генома. David Kopecký при анализе межвидовых популяций (*A. roylei* × *A. cepa*) указывал на доминирование генома *Allium roylei*, в которых тот использовался в качестве материнского компонента, однако при реципрокном скрещивании, где *Allium* сера материнское растение, распределение генома в гибридах происходит стабильно [13]. Наследование гена устойчивости к пероноспорозу в межвидовых гибридах (*A. roylei* × *A. fistulosum*) требует дальнейшего цитогенетического изучения.

Отсутствие расщепления по устойчивости к пероноспорозу при беккроссировании восприимчивыми образцами *Allium fistulosum*, а также в самоопыленном потомстве беккроссных растений позволяет выдвинуть гипотезу, о наследственном факторе в цитоплазме *Allium roylei* препятствующем образованию зигот, с рецессивным гомозиготным генотипом *pd1pd1*. Эту гипотезу подтверждает факт обнаружения восприимчивых растений в потомствах, где устойчивые растения гибрида *A. roylei* × *A. fistulosum* использовали в качестве опылителей на растения с цитоплазмой *A. galanthum* и *A. fistulosum*.

На основании ПЦР анализа был сделан вывод, что в геноме гибридных растений [(*A. roylei* × *A.*

fistulosum) × *A. fistulosum*] могла произойти перестройка нуклеотидной последовательности маркера вследствие кроссинговера или мутации, в результате амплификация с маркером DMR1 показывает неспецифичные бенды предположительных размеров в 350, 490 и 580 пар нуклеотидов. При маркер-опосредованной селекции необходим поиск и создание новых, специфичных молекулярных маркеров, сцепленных с

геном *Pd1* при интрогрессии в другие виды луковых культур.

Растения популяций [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] и [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] × [(*A. roylei* × *A. fistulosum*) × *A. fistulosum*] обладают высокой селекционной ценностью и могут быть использованы в гибридной селекции на устойчивость к ложной мучнистой росе.

• Литература / References

1. Padula G., Xia X., Holubowicz R. Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) seed physiology, breeding, production and trade. *Plants*. 2022;11(3):343. <https://doi.org/10.3390/plants11030343>
2. Van Der Heyden H., Dutilleul P., Charron J.B., Bilodeau G.J., Carisse O. Factors Influencing the Occurrence of Onion Downy Mildew (*Peronospora destructor*) Epidemics: Trends from 31 Years of Observational Data. *Agronomy*. 2020;10(5):738. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050738>
3. Khurstaleva L., Mardini M., Kudryavtseva N., et al. The Power of Genomic in situ Hybridization (GISH) in Interspecific Breeding of Bulb Onion (*Allium cepa* L.) Resistant to Downy Mildew (*Peronospora destructor* [Berk.] Casp.). *Plants*. 2019;8(2):36. <https://doi.org/10.3390/plants8020036>
4. Van der Meer Q., De Vries J. An interspecific cross between *Allium roylei* Stearn and *Allium cepa* L., and its backcross to *A. cepa*. *Euphytica*. 1990;47(1):29-31.
5. Kofoet A., Kik C., Wietsma W., De Vries J. Inheritance of resistance to downy mildew (*Peronospora destructor* [Berk.] Casp.) from *Allium roylei* Stearn in the backcross *Allium cepa* L. × (*A. roylei* × *A. cepa*). *Plant Breeding*. 1990;105(2):144-149.
6. Havey M. Seed yield, floral morphology, and lack of male-fertility restoration of male-sterile onion (*Allium cepa*) populations possessing the cytoplasm of *Allium galanthum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1999;124(6):626-629.
7. Yamashita Kichiro, Takatori Y., Tashiro Y. Chromosomal location of

- a pollen fertility-restoring gene, Rf, for CMS in Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) possessing the cytoplasm of *A. galanthum* Kar. et Kir. revealed by genomic in situ hybridization. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(1):15-22. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-1941-8>
8. Porebski S., Bailey L.G., Baum B.R. Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. *Plant molecular biology reporter*. 1997;15(1):8-15.
9. Kim S., Kim C.W., Choi M.S., Kim S. Development of a simple PCR marker tagging the *Allium roylei* fragment harboring resistance to downy mildew (*Peronospora destructor*) in onion (*Allium cepa* L.). *Euphytica*. 2016;208(3):561-569.
10. Buloviene V., Surviliene E. Effect of environmental conditions and inoculum concentration on sporulation of *Peronospora destructor*. *Agronomy Research*. 2009;4(Special issue).
11. Glombik M., Bačovský V., Hobza R., Kopecký D. Competition of Parental Genomes in Plant Hybrids. *Front Plant Sci*. 2020;11:200. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00200>
12. Majka J., Glombik M., Doležalová A., et al. Both male and female meiosis contribute to non-Mendelian inheritance of parental chromosomes in interspecific plant hybrids (*Lolium* × *Festuca*). *New Phytologist*. 2023;238(2):624-636. <https://doi.org/10.1111/nph.18753>
13. Kopecký D., Scholten O., Majka J., Burger-Meijer K., Duchoslav M., Bartoš J. Genome Dominance in *Allium* Hybrids (*A. cepa* × *A. roylei*). *Front Plant Sci*. 2022;13:854127. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.854127>

Об авторе:

Монахос Михаил Григорьевич – младший научный сотрудник ООО «Селекционная станция имени Н.Н.Тимофеева», SPIN: 6843-4970, ORCID: 0009-0003-6604-0822, ResearcherID Web of Science: PDW-8077-2025, Scopus AuthorID: 60176808900, mihaluch1864@gmail.com.

Эйдлин Яков Тарасович – к.с.-х.н., ассистент кафедры молекулярной селекции, клеточных технологий и семеноводства, SPIN: 7774-7058, ORCID: 0000-0003-0657-8797, ResearcherID Web of Science: AFW-7880-2022.

Монахос Сократ Григорьевич – зав. кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, доктор с.-х. наук, профессор РАН, SPIN: 7130-9663, ORCID: 0000-0001-9404-8862, Researcher ID Web of Science: I-7729-201, Scopus AuthorID 56052882900

About the Author:

Mikhail G. Monakhos – Junior researcher N.N. Timofeev Breeding Station LLC, SPIN: 6843-4970, ORCID: 0009-0003-6604-0822, ResearcherID Web of Science: PDW-8077-2025, Scopus AuthorID: 60176808900, mihaluch1864@gmail.com.

Yakov T. Eidlin – Agricultural science PhD, Assistant Professor, Department of Molecular Breeding, Cell Technologies and Seed Production, SPIN: 7774-7058, ORCID: 0000-0003-0657-8797, ResearcherID Web of Science: AFW-7880-2022.

Sokrat G. Monakhos – Head of the Department Botany, Plant Breeding and Seed Technology, RSAU-MTAA, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, SPIN: 7130-9663, ORCID: 0000-0001-9404-8862, Researcher ID Web of Science: I-7729-201, Scopus AuthorID 56052882900.

Обзор / Review

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-75-80
УДК 635.21:631.524.86(048)

Н.В. Мацшина*, П.В. Фисенко¹,
О.А. Собко¹, М.В. Ермак¹, С.Д. Киру²

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр агроботехнологии Дальнего Востока им. А.К. Чайки» 692539, Россия, Приморский край, г. Уссурийск, ул. Воложенина, д. 30 Б, Россия

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет Россия, Санкт-Петербург

*Автор для переписки: mnathalie134@gmail.com

Вклад авторов: Н.В. Мацшина: концептуализация, методология, проведение исследования, формальный анализ, верификация данных, программное обеспечение, создание рукописи и ее редактирование. П.В. Фисенко, О.А. Собко, М.В. Ермак: концептуализация, методология, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование. С.Д. Киру: концептуализация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мацшина Н.В., Фисенко П.В., Собко О.А., Ермак М.В., Киру С.Д. О теории параллелизма устойчивости картофеля к двадцативосьмипятнистой картофельной коровке *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera:Coccinelladae) и колорадскому жуку *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera:Chrysomelidae) И.М. Гонтюрова: аналитический очерк. *Овощи России*. 2026;(1):75-80. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-75-80>

Поступила в редакцию: 29.09.2025

Принята к печати: 20.11.2025

Опубликована: 16.03.2026

Nataliya V. Matsishina*, Petr V. Fisenko¹,
Olga A. Sobko¹, Marina V. Ermak¹, Stepan D. Kiru²

¹FSBSI "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaik" 30B, Volozhenina st., Ussuriysk, Primorsky kray, 692539, Russia

²Saint Petersburg State Agrarian University Saint Petersburg, Russia

* Corresponding Author: mnathalie134@gmail.com

Authors' contribution: N.V. Matsishina: conceptualization, methodology, investigation, validation, formal analysis, software, writing – review & editing. P.V. Fisenko, M.V. Ermak, O.A. Sobko: conceptualization, methodology, investigation, writing – review & editing. S.D. Kiru: conceptualization.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citations: Matsishina N.V., Fisenko P.V., Sobko O.A., Ermak M.V., Kiru S.D. On the theory of the parallelism of potato resistance to the twenty-eight-spotted potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera:Coccinelladae) and the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera:Chrysomelidae) by I.M. Gontyurov: analytical essay. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):75-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-75-80>

Received: 29.09.2025

Accepted for publication: 20.11.2025

Published: 16.03.2026

О теории параллелизма устойчивости картофеля к двадцативосьмипятнистой картофельной коровке *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera:Coccinelladae) и колорадскому жуку *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera:Chrysomelidae) И.М. Гонтюрова: аналитический очерк



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Установление параллелизма устойчивости картофеля к колорадскому жуку и картофельной коровке было важным этапом для отечественного селекционного процесса в 60-е годы XX века. В своём труде «О параллелизме устойчивости картофеля к эпипляхне *Epilachna vigintioctomaculata* Motsch) и колорадскому жуку (*Leptinotarsa decemlineata* Say)» И.М. Гонтюров утверждал, не взирая на уже существующие публикации Ивановой, Куренцова и других исследователей, прямо указывающих на полифагию картофельной коровки, что полное развитие обоих вредителей возможно только на растениях рода *Solanum*, а личинки коровки не многоядны. Однако, еще А.И. Куренцов отмечал, что *H. vigintioctomaculata* типичный представитель маньчжурской фауны, приуроченный к области распространения смешанных и широколиственных лесов на Дальнем Востоке, и до начала земледельческой культуры в крае картофельная коровка обитала на травянистой растительности лесных полей, что вступает в прямое противоречие с постулатами И.М. Гонтюрова. Анализ экологических особенностей видов И.М. Гонтюровым был проведен неверно, что повлекло досадные ошибки при постановке, проведении и интерпретации результатов эксперимента.

Цель данной работы – провести анализ существующих подходов к определению экологической валентности колорадского жука и картофельной коровки, в т.ч. и по нашим данным.

Результаты. Описываемого в литературе параллелизма экологических валентностей между колорадским жуком и картофельной коровкой нет. Это связано с тем, что картофельная коровка значительно отличается своими биоэкологическими особенностями от колорадского жука: широкий полифаг, смена трофической и зимовочной стадий, саморегуляция плотности популяции, более высокие репродуктивный коэффициент и норма чистого потребления. Кроме того, значительно отличаются сортовые предпочтения картофеля, что говорит о разном влиянии вторичных метаболитов на онтогенез фитофагов. Всё это обеспечивает широкий фронт работ сотрудникам соответствующих селекционных учреждений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сорт, картофель, иммунитет, селекция, устойчивость, картофельная коровка, колорадский жук

On the theory of the parallelism of potato resistance to the twenty-eight-spotted potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera:Coccinelladae) and the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera:Chrysomelidae) by I.M. Gontyurov: analytical essay

ABSTRACT

Relevance. Establishing the parallelism of potato resistance to the Colorado potato beetle and the potato ladybird beetle was an important step for Russian breeding in the 1960s. In his scientific work "On the parallelism of potato resistance to *Epilachna vigintioctomaculata* Motsch and *Leptinotarsa decemlineata* Say", I.M. Gontyurov stated that the complete metamorphosis of the potato ladybird beetle and the Colorado potato beetle was possible only on plants belonging to the genus *Solanum* and that the larvae of the potato ladybird beetle were not polytrophic, which was contrary to the existing publications by Ivanova, Kurentsov, and other researchers reporting the polyphagous nature of the potato ladybird beetle. A.I. Kurentsov noted that *H. vigintioctomaculata* was a typical representative of the Manchuria fauna, populated the areas bordering on mixed coniferous and temperate broad-leaf forests in the Far East, and inhabited grasses in forest clearings before the onset of mass agricultural practices. This directly contradicted the postulate of I.M. Gontyurov. His analysis of the ecological characteristics of the species was erroneous, which led to further unfortunate mistakes in the design and performance of the experiment as well as in the interpretation of the research results.

Materials and Methods. Our research goal was to analyze the existing methods for determining the ecological plasticity of the Colorado potato beetle and the potato ladybird beetle, including the use of our data.

Results. There are no studies reporting the parallelism of the ecological plasticity of the Colorado potato beetle and the ladybird potato beetle. This is due to the fact that the bioecological characteristics of the potato ladybird beetle significantly differ from those of the Colorado potato beetle: polyphagous insect, migrates between trophic and winter hibernation sites, self-regulation of the population density, higher reproductive coefficient, and higher net consumption rate. Additionally, there are differences in the feeding preferences of the insect species for potato varieties. This suggests different influence of the secondary metabolites on the ontogeny of the phytophagous insects. All this provides a wide range of work for researchers and breeding institutions.

KEYWORDS:

variety, potato, immunity, breeding, resistance, the potato ladybird beetle, the Colorado potato beetle

Введение

Начало земледельческой культуры стало переломным моментом в переходе насекомых-фитофагов в массовые вредители. Этому способствовало то, что окультуривание и селекция используемых в пищу растений шли по пути их обогащения питательными веществами в легко усвояемой человеком и животными форме, а также в направлении снижения содержания в растениях продуктов вторичного обмена, ухудшавших их пищевые качества и служивших иммунологическими барьерами в отношении вредных организмов. Следствием такого направления отбора растений явилось понижение физиологического иммунитета культурных растений к вредителям и одновременно улучшение физиологического состояния насекомых-фитофагов. Таким образом, селекция сельскохозяйственных растений, направленная на повышение продуктивности и пригодности в пищу для человека и домашних животных, явилась мощным фактором микроэволюции многих видов фитофагов. Между тем, устойчивые сорта стали мощным фактором, с помощью которого человек может регулировать численность и вредоносность многих фитофагов из числа насекомых. Принципиальные трудности в создании устойчивых к вредителям сортов сельскохозяйственных растений, характеризующихся высокой пищевой ценностью, в значительной степени преодолимы благодаря иммунологическому подходу селекции. В связи с тем, что такие методы должны занимать всё большую роль в сельскохозяйственной науке, очень важно правильно оценить реальные перспективы создания устойчивых сортов.

Установление параллелизма устойчивости картофеля к колорадскому жуку и картофельной коровке было важным этапом для отечественного селекционного процесса в 60-е гг. XX века. Исследования устойчивости картофеля к колорадскому жуку проводили Л.К. Антипова в 1952-1954 годах и Г.П. Слепушкина в 1955-1956 годах на Экспериментальной станции ВИР (Санкт-Петербург). Изучение устойчивости сортов картофеля к картофельной коровке проводил в 1957-1964 годах на Дальневосточной опытной станции ВИР (г. Владивосток) Гонтюров И.М. [1, 2]. В своём труде «О параллелизме устойчивости картофеля к эпипляхне

Epilachna vigintioctomaculata Motsch) и колорадскому жуку (*Leptinotarsa decemlineata* Say)» И.М. Гонтюров утверждал, не взирая на уже существующие публикации Ивановой [3-5], Куренцова [6] и других исследователей, прямо указывающих на полифагию картофельной коровки, что полное развитие обоих вредителей возможно только на растениях рода *Solanum*, а личинки коровки не многоядны. Однако еще А.И. Куренцов [6] отмечал, что *H. vigintioctomaculata* типичный представитель маньчжурской фауны, приуроченный к области распространения смешанных и широколиственных лесов на Дальнем Востоке, и до начала земледельческой культуры в крае картофельная коровка обитала на травянистой растительности лесных полей, что вступает в прямое противоречие с постулатами И.М. Гонтюрова.

Как известно, кроме картофеля картофельная коровка сильно повреждает томат, огурец, тыкву, арбуз, кабачок, баклажан. Питание жуков на бахчевых культурах проходит весной и осенью, а летом жуки и личинки питаются главным образом листьями картофеля. Жуки и личинки выгрызают паренхимную ткань, скелетируют листья. Повреждения имеют вид "дорожек", идущих в разных направлениях от жилок, места повреждения приобретают сетчатый вид [7]. Кроме того, наблюдения А. Ивановой [5] показали, что жуки картофельной коровки могут развиваться без резкого угнетения на лопухе крупном *Arctium lappa* и тладианте сомнительной *Thladiantha dubia*.

Данные факты подтверждаются и на современном этапе исследований. Так, наши эксперименты убедительно доказывают, что картофельная коровка способна развиваться и давать плодовитое потомство на широком спектре кормовых растений [8, 9]. С точки зрения экологии, картофельная коровка классифицируется как эвритопный широкий полифаг, что само по себе означает способность получать жизнеспособное потомство на различных пищевых ресурсах.

Колорадский жук, в отличие от коровки, является узким стенотопным олигофагом [10]. Он трофически связан только с растениями семейства пасленовых (*Solanaceae*), относящимся к ряду видов и форм родов *Solanum* и *Lycopersion*. Таким образом, анализ экологических особенностей видов И. М. Гонтюровым был про-

Таблица. Степень расщепления семян картофеля по устойчивости к колорадскому жуку и эпипляхне (при избирательном питании жуков) (цит. по Гонтюров, 1964)
Table. Degree of the divergence of resistance to the Colorado potato beetle and the potato ladybird beetle in potato seedlings (selective feeding of beetles) (cited from Gontyurov, 1964)

Род <i>Solanum</i>	Выделено устойчивых семян		Процент устойчивых семян	
	к колорадскому жуку	к эпипляхне	к колорадскому жуку	к эпипляхне
<i>S. lapaticum</i>	2	0	0,6	0
<i>S. chacoense</i>	0	0	0	0
<i>S. gibberulosum</i>	36	8	2,9	1,8
<i>S. parodii</i>	10	1	3,1	1,9
<i>S. schickii</i>	35	1	3,5	1,2
<i>S. dolichostigma</i>	18	3	5,7	1,3
<i>S. boegeri</i>	19	0	5,3	0
<i>S. horovizii</i>	5	0	1,6	0
<i>S. demissum</i>	0	23	0	1

Таблица 1

Устойчивость различных видов картофеля к колорадскому жуку и эпияхне

Род Solanum	Испытано образцов		Процент образцов со средней гибелью личинок								
	к коло-родско-му жуку	к эпи-яхне	0—20		21—50		51—80		81—100		
			коло-родско-го жука	эпиях-ны	коло-родско-го жука	эпиях-ны	коло-родско-го жука	эпиях-ны	коло-родско-го жука	эпиях-ны	
<i>S. commersonii</i>	1	1	—	—	—	—	—	100	100	—	—
<i>S. laplaticum</i>	19	9	21,1	33	36,8	67	10,6	—	31,5	—	—
<i>S. chacoense</i>	6	7	16,6	42,8	50	42,8	16,7	—	16,7	14,4	—
<i>S. gibberulosum</i>	79	60	7,7	33	18	27	45	21,7	29,3	18,3	—
<i>S. parodii</i>	25	26	3,0	34,6	27	42,2	63	15,5	7	7,7	—
<i>S. schickii</i>	36	25	25	40	25	44	36	12	14	4	—
<i>S. dolichostigma</i>	10	24	10	33	10	33	80	31	—	—	—
<i>S. boergeri</i>	12	9	8,3	22	25	67	25	11	41,7	—	—
<i>S. horovitzii</i>	21	13	4,9	38,4	—	30,8	23,9	30,8	71,2	—	—
<i>S. garciae</i>	3	7	—	—	—	71,4	100	28,6	—	—	—
<i>S. demissum</i>	59	125	8,5	16	27,1	48	28,9	28	35,5	8	—
<i>S. antipoviczii</i>	7	44	—	50	28,6	27,2	28,6	20,5	42,8	2,3	—
<i>S. jamesii</i>	1	1	—	—	—	—	—	—	100	100	—

Рис. 1. Страница 103, таблица 1 публикации «О параллелизме устойчивости картофеля к эпияхне *Epilachna vigintioctomaculata* Motsch и колорадскому жуку (*Leptinotarsa decemlineata* Say)»
 Fig. 1. Page 103, Table 1 of the publication «On the parallelism of potato resistance to *Epilachna vigintioctomaculata* Motsch and *Leptinotarsa decemlineata* Say»

веден неверно, что повлекло досадные ошибки при постановке, проведении и интерпретации результатов эксперимента.

Так, результаты опытов, приведенные в публикации, не соответствуют выводам (табл.). К сожалению, в тексте публикации для фактических данных не приведена статистическая обработка, и не указано, в абсолютном ли количестве или среднем арифметическом данные сведены в таблицы. Нами был проведен корреляционный анализ по Спирмену выделенных И.М. Гонтюровым устойчивых сеянцев дикорастущих представителей рода *Solanum*, приведенных автором (таблица). Расчёты показали отрицательную техническую корреляцию, значение R составило 0,1318, что указы-

вает на очень слабую связь между переменными.

В своей работе сам автор отмечает, что около половины гибридов повреждались коровкой сильнее, чем колорадским жуком, при этом наиболее сходное поведение коровки и колорадского жука проявлялось только на 2 видах (*S. commersonii* и *S. jamesii*) из 13, что составляет 15% схожести [1]. При этом, в тексте статьи, на с. 102, автор указывает, что исследованные виды обладали большей устойчивостью к колорадскому жуку, чем к картофельной коровке. Однако, в выводах (с. 105 публикации) приводится дословно следующее: «Сопоставление устойчивости к колорадскому жуку и эпияхне различных видов и отдельных образцов в пределах видов свидетельствует о наличии, за

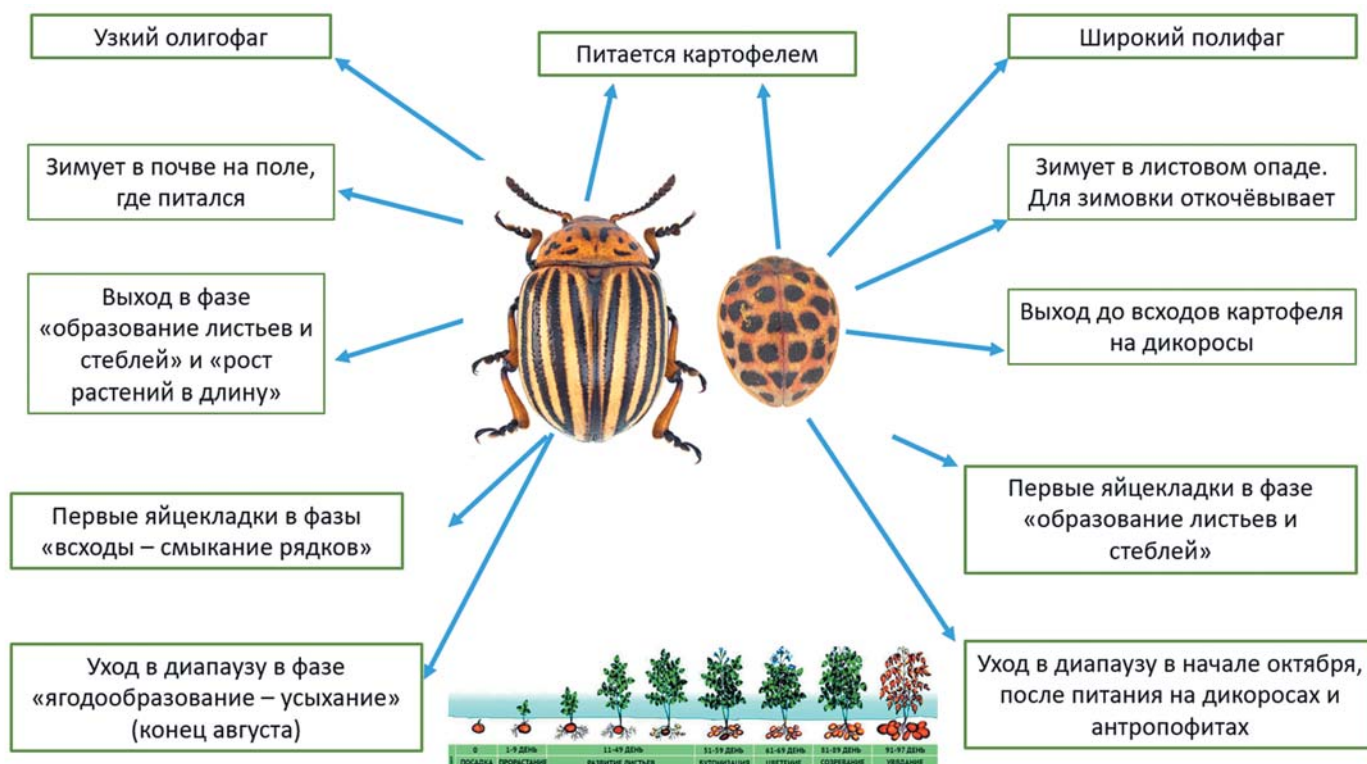


Рис. 2. Сравнительный анализ картофельной коровки и колорадского жука
 Fig. 2. Comparative analysis of the potato ladybird beetle and the Colorado potato beetle

небольшим исключением, параллелизма устойчивости картофеля к этим вредителям». Такое безапелляционное постулирование вызывает вопрос, является ли коэффициент схожести норм реакции картофеля на разных вредителей, выражаемый 15%, достаточным для безоговорочного принятия данной теории в качестве рабочей для селекционного процесса на устойчивость к листогрызущим вредителям.

Недоумение вызывает также содержание таблицы 1 «Устойчивость различных видов картофеля к колорадскому жуку и эпипляхне» (с. 103), публикации, где в графе «Испытано образцов» приводится различных объем экспериментальной выборки для каждого из фитофагов. Более того, для отдельных видов рода *Solanum* выборка представлена всего 1 образцом, что не допустимо для биологического исследования (рисунок 1).

В тексте публикации автор приводит факты о большей устойчивости образцов картофеля к колорадскому жуку, нежели к картофельной коровке, однако в 3 пункте выводов вновь утверждает об установлении параллелизма устойчивости картофеля к обоим вредителям.

По нашему мнению, данный постулат следует признать не только неверным, но и опасным. В результате сложилось ложное мнение, определившее на многие годы стратегию селекции картофеля на устойчивость к листогрызущим вредителям. Между тем, картофельная коровка обладает более широкой нормой реакции. Её пищеварительная система готова к встрече с довольно обширным числом веществ иммунного ответа растений именно в силу полифагии.

Кроме того, эти два вредителя достоверно различаются также особенностями экологии (рисунок 2). Проведенный анализ показал, что различия между про-

должительностью стадии онтогенеза находятся на высоком уровне статистической значимости ($p \leq 0,01$). В целом, картофельная коровка проходит стадии онтогенеза быстрее колорадского жука, сходство отмечено лишь в сроках развития яйца [11].

Исследования фенологии колорадского жука показали, что в южных районах Приморского края выход жуков из почвы весной наблюдается в период начала вегетации картофеля, а в северных – в начале бутонизации. На юге Приморья выход первых перезимовавших жуков отмечается в третьей декаде мая, а интенсивное отрождение начинается при прогревании воздуха до $+20^{\circ}\text{C}$ и выше, и продолжается, как правило, в течение 6-9 дней. В Приморье период яйцекладки у колорадского жука очень продолжителен и длится до середины августа. Интенсивность яйцекладки зависит главным образом от температуры. Холодная погода со средней температурой $+18^{\circ}\text{C}$ заметно тормозит откладку яиц [12]. Наивысшая интенсивность яйцекладки совпадает с периодом самых длинных дней. В условиях Приморья это отмечается сразу после выхода жуков из зимовки, в конце мая – начале июня. Молодые самки первой генерации откладывают яйца, из которых развивается второе поколение фитофага, которое в Приморском крае закончить свое развитие не успевает. По нашим многолетним наблюдениям, фенология вредителя связана со сроками вегетации картофеля, что также является существенным отличием от картофельной коровки. Массовый уход имаго в диапаузу может наблюдаться уже в начале августа, когда листья картофеля поражаются грибными и псевдогрибными болезнями, что приводит к усыханию кустов, в то время как картофельная коровка продолжает своё питание на бахчевых культурах, других растениях семейства пас-

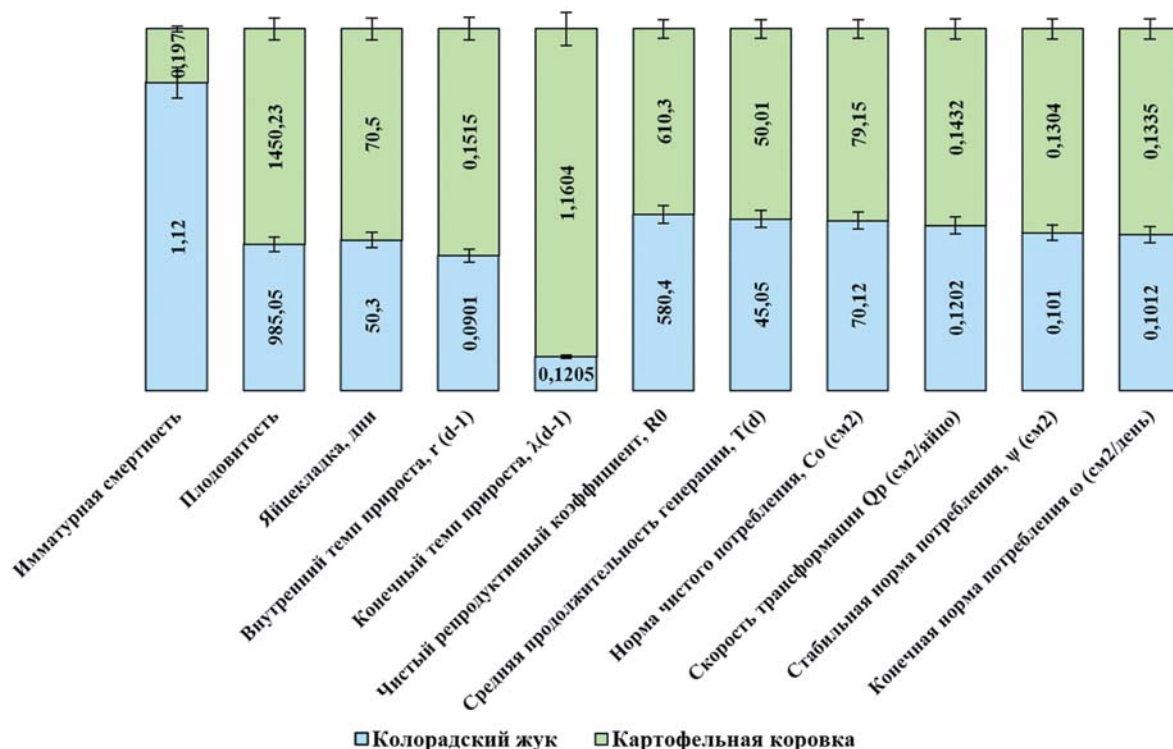


Рис. 3. Популяционные параметры исходных выборок картофельной коровки и колорадского жука (2008-2012 годы) (цит. по Matsishina et al., 2023)
 Fig. 3. Population parameters of the original samples of the potato ladybird beetle and the Colorado potato beetle (2008-2012) (cited from Matsishina et al., 2023)

лёновые, сорняках, плодовых деревьях [13]. Расчётные показатели популяционных параметров двух фитофагов для периода 2008-2012 годов, представленные на рисунке 3, показывают, что внутренний темп прироста, чистый репродуктивный коэффициент, норма чистого потребления и коэффициент трансформации у картофельной коровки выше, чем у колорадского жука, даже в благоприятные для развития последнего годы [11].

Таким образом, описываемого в литературе параллелизма экологических валентностей между колорадским жуком и картофельной коровкой нет. Это связано с тем, что картофельная коровка значительно отличается своими биоэкологическими особенностями от колорадского жука: широкий полифаг, смена трофической и зимовочной стадий, саморегуляция плотности популяции, более высокие репродуктивный коэффициент и норма чистого потребления. Кроме того, значительно отличаются сортовые предпочтения картофеля, что говорит о разном влиянии вторичных метаболитов на онтогенез фитофагов. Всё это обеспечивает широкий фронт работ сотрудникам соответствующих селекционных учреждений.

С 1964 года селекционная работа на устойчивость картофеля к листогрызущим вредителям велась с опорой на теорию Гонтюрова. Это привело к созданию генотипов, не способных противостоять картофельной коровке, но позиционируемых как устойчивые. Игнорирование фактов, свидетельствующих об обрат-

ном, спровоцировало увеличение пестицидной нагрузки на агроценозы вследствие потерей урожая от коровки. В данный момент остро стоит вопрос целенаправленной селекции на устойчивость сортов картофеля по отношению к *H. vigintioctomaculata*, поскольку численность колорадского жука на Дальнем Востоке ничтожна [12].

Мировой опыт растениеводства свидетельствует, что использование иммунных сортов сельскохозяйственных культур должно быть положено в основу интегрированной защиты растений [14]. Потребность в сортах, иммунных к вредителям, будет увеличиваться, причем в особенности возрастет значение таких сортов при переходе от интегрированной защиты растений к управлению агроэкосистемами, как это обусловлено приоритетными направлениями Доктрины продовольственной безопасности. Одна из причин нарушения механизмов саморегуляции в агроэкосистемах Дальнего Востока – это существенное влияние пестицидной нагрузки, обусловленное применением неустойчивых сортов, либо сортов, демонстрирующих устойчивость к патогенам и вредителям иного региона. Иммунитет растений к вредным организмам – это важнейшее биологическое свойство, эволюционно возникшее в результате длительного сосуществования с консументами и поддерживающее стабильность взаимоотношений фитофагов и их растений-хозяев в естественных экосистемах [15, 16].

• Литература

1. Гонтюров И.М. О параллелизме устойчивости картофеля к эпипляхне (*Epilachna vigintioctomaculata* Motsch.) и колорадскому жуку (*Leptinotarsa decemlineata* Say.). *Сообщения Дальневосточного филиала Сибирского отделения Академии наук Союза ССР*. 1964;(23):101-107.
2. Шапиро И.Д. Иммунитет полевых культур к насекомым и клещам. Ленинград; 1985.
3. Иванова А.Н. Вредоносность картофельной коровки и эффективность мероприятий по борьбе с ней. *Первая научно-теоретическая конференция Приморского сельскохозяйственного института*. Уссурийск; 1961:39-41.
4. Иванова А.Н. Картофельная коровка и меры борьбы с ней. Владивосток; 1954.
5. Иванова А.Н. Картофельная коровка на Дальнем Востоке. Владивосток; 1962.
6. Куренцов А.И. Новые данные по биологии картофельной коровки. *Труды Горнотажной станции Дальневосточного филиала Академии наук СССР*. Владивосток; 1946;(5):257-266.
7. Коваленко Т.К. Биология картофельной коровки *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera) и ее паразита *Nothoserphus affissae* (Hymenoptera) в Приморском крае. Владивосток; 2006.
8. Matsishina N.V. On the feeding of the potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858 (Coleoptera: Coccinellidae) on wild plants in Primorskii krai, Russia. *Euroasian Entomological Journal*. 2023;22(3):154-158. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.22.03.06>
9. Мацешина Н.В., Фисенко П.В., Ермак М.В., Собко О.А., Волков Д.И., Балеевских А.Г. Пища как фактор плодовитости, продолжительности развития и изменения морфометрических показателей

у *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motschulsky). *Овощи России*. 2021;(5):81-88.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-81-88>

<https://www.elibrary.ru/zwrism>

10. Alyokhin A., Baker M., Mota-Sanchez D., Dively G., Grafius E. Colorado potato beetle resistance to insecticides. *American Journal of Potato Research*. 2008;85:395-413.

<https://doi.org/10.1007/s12230-008-9052-0>

11. Matsishina N.V., Ermak M.V., Fisenko P.V., Sobko O.A., Klykov A.G. On the similarity between the ecological responses of the potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motschulsky, 1857) (Coleoptera, Coccinellidae) and the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) (Coleoptera, Chrysomelidae). *AIP Conference Proceedings*. 2023;(2929):04001.

<https://doi.org/10.1063/5.0178554>

12. Matsishina N.V. On the acclimatization of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) in Primorsky Krai. *Far Eastern Entomologist*. 2023;(480):23-28. <https://doi.org/10.25221/fee.480.2>

13. Мацешина Н.В., Фисенко П.В., Ермак М.В., Собко О.А. Сравнительная характеристика экологии нативного (*Henosepilachna vigintioctomaculata*) и инвазивного (*Leptinotarsa decemlineata*) видов в условиях муссонного климата юга Дальнего Востока. *Амурский зоологический журнал*. 2023;15(4):939-954. <https://doi.org/10.33910/2686-9519-2023-15-4-939-954>

<https://www.elibrary.ru/ycggwm>

14. Angon P.B., Mondal S., Jahan I., Datta M., Antu U.B., Ayshi F., Islam, Md. Integrated Pest Management (IPM) in Agriculture and Its Role in Maintaining Ecological Balance and Biodiversity. *Advances in Agriculture*. 2023;2023(1):5546373.

<https://doi.org/10.1155/2023/5546373>

15. Sharma H.C., Ortiz R. Host plant resistance to insects: An eco-friendly approach for pest management and environment conservation. *Journal of environmental biology*. 2002;23(2):111-135.
16. Purnomo D. Plant immune systems as pests and diseases mitigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;(824):012089. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012089>

• **References**

1. Gontyurov I.M. On the parallelism of potato resistance to the potato ladybird beetle (*Epilachna vigintioctomaculata* Motsch.) and the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say.). *News of the Far Eastern Branch of the Siberian Department of the Academy of Sciences of the USSR*. 1964;(23):101-107. (In Russ.)
2. Shapiro I.D. The immunity of field crops to insects and mites. Leningrad; 1985. (In Russ.)
3. Ivanova A.N. Harmfulness of the potato ladybird beetle and the effectiveness of the control measures against it. The 1st Scientific and Theoretical Conference of Primorsky Institute of Agriculture. Ussuriysk; 1961:39-41. (In Russ.)
4. Ivanova A.N. The potato ladybird beetle and the control measures against it. Vladivostok; 1954. (In Russ.)
5. Ivanova A.N. The potato ladybird beetle in the Russian Far East. Vladivostok; 1962. (In Russ.)
6. Kurentsov A.I. New data on the biology of the potato ladybird beetle. *Scientific papers of the Gornotayozhnaya station of the Far Eastern Branch of the Siberian Department of the Academy of Sciences of the USSR*. Vladivostok; 1946;(5):257-266. (In Russ.)
7. Kovalenko T.K. The biology of the potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera) and its parasite *Nothoserphus affissae* (Hymenoptera) in Primorsky kray. Vladivostok; 2006. (In Russ.)
8. Matsishina N.V. On the feeding of the potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858 (Coleoptera: Coccinellidae) on wild plants in Primorskii krai, Russia. *Euroasian Entomological Journal*. 2023;22(3):154-158. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.22.03.06>
9. Matsishina N.V., Fisenko P.V., Ermak M.V., Sobko O.A., Volkov D.I., Baleevskikh A.G. Food as a factor of fertility, development duration, and

- changes in morphometric parameters in *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motschulsky). *Vegetable crops of Russia*. 2021;(5):81-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-81-88> <https://www.elibrary.ru/zwrism>
10. Alyokhin A., Baker M., Mota-Sanchez D., Dively G., Grafius E. Colorado potato beetle resistance to insecticides. *American Journal of Potato Research*. 2008;85:395-413. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9052-0>
11. Matsishina N.V., Ermak M.V., Fisenko P.V., Sobko O.A., Klykov A.G. On the similarity between the ecological responses of the potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motschulsky, 1857) (Coleoptera, Coccinellidae) and the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) (Coleoptera, Chrysomelidae). *AIP Conference Proceedings*. 2023;2929:04001. <https://doi.org/10.1063/5.0178554>
12. Matsishina N.V. On the acclimatization of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) in Primorsky Kray. *Far Eastern Entomologist*. 2023;(480):23-28. <https://doi.org/10.25221/fee.480.2>
13. Matsishina N.V., Fisenko P.V., Ermak M.V., Sobko O.A. Comparative characterization of the ecology of native (*Henosepilachna vigintioctomaculata*) and invasive (*Leptinotarsa decemlineata*) species under the conditions of the monsoon climate in the southern part of the Russian Far East. *Amurian Zoological Journal*. 2023;15(4):939-954. (In Russ.) <https://doi.org/10.33910/2686-9519-2023-15-4-939-954> <https://www.elibrary.ru/ycggwm>
14. Angon P.B., Mondal S., Jahan I., Datta M., Antu U.B., Ayshi F., Islam, Md. Integrated Pest Management (IPM) in Agriculture and Its Role in Maintaining Ecological Balance and Biodiversity. *Advances in Agriculture*. 2023;2023(1):5546373. <https://doi.org/10.1155/2023/5546373>
15. Sharma H.C., Ortiz R. Host plant resistance to insects: An eco-friendly approach for pest management and environment conservation. *Journal of environmental biology*. 2002;23(2):111-135.
16. Purnomo D. Plant immune systems as pests and diseases mitigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;(824):012089. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/824/1/012089>

Об авторах:

Наталья Валериевна Мацшина – доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>, Scopus Author ID: 57218616526, SPIN-код: 7734-6656 автор для переписки, mnathalie134@gmail.com

Петр Викторович Фисенко – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0003-1727-4641>, Scopus Author ID: 26532574300, SPIN-код: 9916-1382

Ольга Абдулалиевна Собко – аспирант, научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>, Scopus Author ID: 57218617568, SPIN-код: 8082-5318, o.eyvazova@gmail.com

Марина Викторовна Ермак – младший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-3727-8634>, SPIN-код: 1508-8155

Степан Димитрович Киру – доктор биол. наук, профессор кафедры растениеводства им. И.А. Стебута, <https://orcid.org/0000-0002-8648-3837>, SPIN-код: 7524-1395, s.kiru@vir.nw.ru

About the Authors:

Nataliya V. Matsishina – Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, <https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>, Scopus Author ID: 57218616526,

SPIN-code: 7734-6656, Corresponding Author, mnathalie134@gmail.com

Petr V. Fisenko – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Acting Head of the Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, <https://orcid.org/0000-0003-1727-4641>,

Scopus Author ID: 265325743001, SPIN-code: 9916-1382

Olga A. Sobko – Post-Graduate Student, Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, <https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>, Scopus Author ID: 57218617568,

SPIN-code: 8082-5318, o.eyvazova@gmail.com

Marina V. Ermak – Junior Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, <https://orcid.org/0000-0002-3727-8634>, SPIN-code: 1508-8155

Stepan D. Kiru – Dr. Sci. (Biology), Professor, Department of Plant Growing named after I.A. Stebuta, <https://orcid.org/0000-0002-8648-3837>, SPIN-code: 7524-1395, s.kiru@vir.nw.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-81-91
 УДК: 635.651-02:581.192.6(571.1)

А.В. Синдирева^{1*}, Н.А. Голубкина²,
 Е.В. Безуглова³, М.А. Федотов⁴, А.А. Алпатов⁴

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский государственный университет" 625003, Россия, г. Тюмень, улица Перекопская, 15 А

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

³ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» 644008, Россия, г. Омск-8, ул. Институтская площадь, 1

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и металловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук 119334, Россия, г. Москва, Ленинский пр., 49

*Автор для переписки: a.v.sindireva@utmn.ru

Вклад авторов. Синдирева А.В.: концептуализация, администрирование данных, проведение исследования, формальный анализ, визуализация, создание рукописи и ее редактирование. Голубкина Н.А.: проведение исследования, руководство исследованиями, администрирование проекта, создание рукописи и ее редактирование. Безуглова Е.В.: ресурсы, концептуализация, проведение исследования, создание черновика рукописи, редактирование рукописи. Федотов М.А., Алпатов А.А.: концептуализация, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Голубкина Н.А. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2008 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Для цитирования: Синдирева А.В., Голубкина Н.А., Безуглова Е.В., Федотов М.А., Алпатов А.А. Влияние селеносодержащих соединений и тяжелых металлов на химический состав и урожайность овощных бобов (*Vicia faba* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Овощи России*. 2026;(1):81-91. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-81-91>

Поступила в редакцию: 29.11.2025
 Принята к печати: 09.02.2026
 Опубликовано: 16.03.2026

Anna V. Sindireva¹, Nadezhda A. Golubkina², Elena V. Bezuglova³, Mikhail A. Fedotov⁴, Andrey A. Alpatov⁴

¹Tyumen State University 15A, Perokopskaya Street, Tyumen, 625003, Russia

²Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Seleccionnaya, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

³Omsk State Agrarian University 1, Institutskaya Square, Omsk, 644008, Russia

⁴Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences 49, Leninskiy Prospect, Moscow, 117334, Russia

*Corresponding Author: a.v.sindireva@utmn.ru

Authors' Contribution: Sindireva A.V.: conceptualization, data curation, investigation, formal analysis, visualization, writing – review & editing. Golubkina N.A.: investigation, supervision, project administration, writing – review & editing. Bezuglova E.V.: conceptualization, resources, investigation, writing – original draft. Fedotov M.A., Alpatov A.A.: conceptualization, investigation, writing – review & editing.

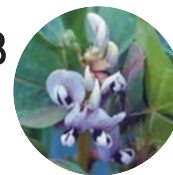
Conflict of interest. N.A. Golubkina has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2008, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citations: Sindireva A.V., Golubkina N.A., Bezuglova E.V., Fedotov M.A., Alpatov A.A. The effect of selenium-containing compounds and heavy metals on the chemical composition and yield of vegetable beans (*Vicia faba* L.) in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):81-91. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-81-91>

Received: 29.11.2025
 Accepted for publication: 09.02.2026
 Published: 16.03.2026

Влияние селеносодержащих соединений и тяжелых металлов на химический состав и урожайность овощных бобов (*Vicia faba* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Бобы являются источником витаминов и других биологически активных веществ. Одним из перспективных направлений является обогащение бобов микроэлементами, в частности, Se. С позиции экологической безопасности представляет также интерес изучение влияния различных форм селена (селенита натрия и наноселена) отдельно и на фоне загрязнения тяжелыми металлами (свинцом и хромом) на рост, развитие, урожайность и химический состав бобов сортов отечественной и зарубежной селекции.

Методы. Проведена оценка влияния соединений селена, хрома и свинца на рост, развитие, урожайность и химический состав бобов сортов различной селекции. Полевые опыты проводились в 2022-2024 годах в условиях южной лесостепи Западной Сибири, объектами исследования явились бобы овощные сортов Русские черные, Белорусские, Hangdown Grunkernig, Dreifach Waibe.

Результаты. В зависимости от применяемой формы селена, влияния тяжелых металлов, сортовой специфики, разница в содержании селена в бобах может быть очень значительной (41-1325 мкг/кг). Применение селенита натрия значительно увеличивает содержание селена в растениях, при этом уровень микроэлемента увеличивается в 6,4-12,2 раза, а при использовании наноселена – в 1,4-3,8 раза. Антропогенное поступление тяжелых металлов снижает содержание селена в бобах у всех изученных сортов, при этом наибольшее снижение (на 96,4%) отмечается при воздействии свинца. Различные способы применения селена и сортовая специфика его накопления, влияют на рост и развитие, и, в итоге, на урожайность овощных бобов. Взаимодействие тяжелых металлов и селена оказывает влияние на продукционный процесс.

Заключение. Эффективность применения селена для обогащения бобов зависит от способа и формы его поступления, взаимодействия с другими элементами, в частности, тяжелыми металлами. Сорта бобов отечественной и зарубежной селекции обладают различной отзывчивостью к применению микроэлемента.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

селен, селенит, наноселен, свинец, хром, сорт, овощные бобы, урожайность, элементный состав

The effect of selenium-containing compounds and heavy metals on the chemical composition and yield of vegetable beans (*Vicia faba* L.) in the southern forest-steppe of Western Siberia

ABSTRACT

Relevance. Beans are a source of vitamins and other biologically active substances. One of the promising areas is the enrichment of beans with trace elements, in particular, Se. From the standpoint of environmental safety, it is also of interest to study the effect of various forms of selenium (sodium selenite and nanoselene) separately and against the background of heavy metal pollution (lead and chromium) on the growth, development, yield and chemical composition of beans of domestic and foreign varieties.

Methods. The influence of selenium, chromium, and lead compounds on the growth, development, yield, and chemical composition of beans of various varieties has been evaluated. Field experiments were conducted in 2022-2024 in the southern forest-steppe of Western Siberia, the objects of research were vegetable beans of the varieties Russian black, Belarusian, Hangdown Grunkernig, Dreifach Waibe.

Results. Depending on the form of selenium used, the influence of heavy metals, and variety specificity, the difference in selenium content in beans can be very significant (41...1325mcg/kg). The use of sodium selenite significantly increases the selenium content in plants, while the level of the trace element increases by 6.4...12.2 times, and when using nanoselene by 1.4...3.8 times. Anthropogenic intake of heavy metals reduces the selenium content in beans in all studied varieties, with the largest decrease by -96.4% observed when exposed to lead. Various ways of using selenium and the varietal specifics of its accumulation affect the growth and development, and, as a result, the yield of vegetable beans. The interaction of heavy metals and selenium affects the production process.

Conclusion. The effectiveness of using selenium for bean enrichment depends on the method and form of its intake, interaction with other elements, in particular, heavy metals. Varieties of beans of domestic and foreign breeding have different responsiveness to the use of trace elements.

KEYWORDS:

selenium, selenite, nano-selenium, lead, chromium, variety, vegetable beans, yield, elemental composition

Введение

Одно из решающих мест в решении белковой проблемы отводится культуре бобов, которые имеют ряд преимуществ перед другими бобовыми [1]. Среди овощных культур они лидируют по содержанию белка и аминокислот. Белок бобов по ценности не уступает белку мяса. В их семенах содержится 28-35% белка, присутствуют все незаменимые аминокислоты. В фазе технической спелости в бобах – 4,2% углеводов (2,6% из них – сахара), большое количество минеральных солей, в основном калия, кальция, фосфора, магния, серы и железа [2].

В нашей стране, несмотря на свои достоинства, бобы не являются традиционной культурой, лишь в последнее время спрос на них увеличивается. Кроме того, в связи с ухудшающимися условиями окружающей среды и постоянными стрессами, для большей части населения земного шара возрастает роль функциональных продуктов в рационе питания.

Бобы привлекают все большее внимание фармацевтов, поскольку являются источником витаминов, в частности А, Е, Д, алкалоидов, пектинов, фитостероидов, минеральных веществ. Доказана их неоценимая роль для профилактики диабета и в питании диабетиков, антихолестериновая, антиканцерогенная и иммуномодулирующая функция некоторых веществ семян бобов. Частое употребление бобов позволяет остановить рост раковых опухолей [2,3]. Одним из перспективных направлений является обогащение бобов микроэлементами, в частности, селеном.

На сегодняшний день проблема микроэлементозов актуальна для регионов России, в том числе и для Западной Сибири. В различных экосистемах в результате техногенного воздействия возникают территории с избытком ряда химических элементов, в частности, тяжелых металлов. В то же время представляет опасность недостаток химических элементов в объектах окружающей среды, и, как следствие, в организме растений, животных и человека. В частности, для многих почв, типичных для южной лесостепи Западной Сибири, по мнению ряда экспертов, отмечен дефицит таких микроэлементов, как селен. Дисбаланс эссенциальных элементов, в частности, селена в объектах окружающей среды является одной из наиболее серьезных проблем современного мира.

Микроэлемент селен (Se) может оказывать значительное влияние на человека и животных, как при избыточном поступлении, так и при недостатке его в живом организме. Se в оптимальных концентрациях является антиоксидантом, предотвращает негативное действие окислительного стресса на живой организм, возникающего в результате влияния негативных факторов окружающей среды. Согласно данным ряда исследований, Se способен снизить риск заболевания раком у человека. Этот микроэлемент предотвращает опасность возникновения мутаций в клетках бронхов, слизистой кишечника, молочной железе [4,5,6].

Основное количество Se живые организмы получают вместе с едой и водой, именно поэтому важно исследовать пути поступления Se в продукты питания, а также обогащения их данным микроэлементом в условиях селенодефицита, который отмечается у населения многих регионов [7,8,9]. Очевидно, с позиции практи-

ки, разработка технологии обогащения сельскохозяйственной продукции Se и промышленное внедрение таких технологий в России может стать важным этапом в снижении уровня смертности от кардиологических и онкологических заболеваний и улучшении здоровья населения [10,11,12].

В настоящее время общепризнано, что агрохимическое обогащение растений Se - наиболее перспективный прием решения проблемы недостаточности этого микроэлемента у человека и животных [13,14,15]. В зависимости от метода внесения микроэлемента (основное внесение в почву, опрыскивание раствором, а также, замачивание семян с использованием раствора солей Se) и формы вносимого Se (селенат, селенит, органический селен и т.д.) компонентный состав Se-содержащих соединений и концентрации последних в растениях будут изменяться. Кроме того, на интенсивность накопления микроэлемента влияют биологические особенности культуры и ее сортовые особенности [10].

Практически во всех сельскохозяйственных растениях обогащение Se приводит к образованию значительных количеств селенметионина (SeMet), в то время как у овощных культур наряду с SeMet также интенсивно синтезируются метилированные формы [10].

В целом, уровень потребления микроэлемента человеком зависит от места проживания, интенсивности импорта продуктов питания из других регионов, и уровня потребления белка, поскольку среди органических форм Se наиболее распространенными являются белковые производные, содержащие в своем составе аминокислоты селенометионин (SeMet) и селеноцистеин (SeCys) [10,16].

В связи с этим, представляет особый практический интерес вопрос обогащения селеном таких функциональных продуктов питания, как бобы. Исследования биологического действия таких продуктов подтверждают перспективность рассматриваемого направления.

Располагаясь в шестой группе периодической системы Менделеева, селен может присутствовать в почве в виде селенатов (Se^{+6}), селенитов (Se^{+4}), селенидов (Se^{+2} , преимущественно органических производных) и элементарного нано размерного селена (Se₀). Содержание подвижных биодоступных для растений форм селена в почве зависит от характера почвы, pH, окислительно-восстановительного потенциала [17].

Одним из перспективных направлений является применение так называемого наноселена – форма Se с размером частиц менее 100 нм [18]. Основное преимущество наноселена, по сравнению с другими формами – гораздо более низкая токсичность, что позволяет применять его в дозах, значительно превышающих суточную потребность.

Помимо положительного влияния селена как антиоксиданта, в литературе имеются данные о способности проявлять антагонизм в живых организмах по отношению к ряду тяжелых металлов. Тяжелые металлы (ТМ) в окружающей среде играют двойную роль. Они являются неотъемлемым компонентом нормальных физиологических процессов, но в то же время они токсичны при повышенных концентрациях, приводящих к нарушению метаболизма и функционирования живых

организмов на любой стадии онтогенеза. Во многих случаях эти нарушения являются необратимыми и смертельными. В токсичных концентрациях ТМ проявляют канцерогенные свойства, отрицательно воздействуют на генетическую мембранную, ферментно-белковую систему клетки, вызывают нарушение концентраций веществ, необходимых для энергетического метаболизма – АТФ, АДФ, фосфоркреатина, изменяют активность ферментов, уровень содержания в клетках кальция и магния, необходимых для нормального функционирования организма. Поэтому представляет интерес изучение взаимного влияния различных соединений селена и тяжелых металлов.

Цель исследования – оценка влияния различных форм селена (селенита натрия и наноселена) отдельно и на фоне загрязнения свинцом и хромом на рост, развитие, урожайность и химический состав сортов бобов овощных различной селекции.

Материалы и методы

Объектами являлись овощные бобы сортов отечественной (Белорусские, Русские черные) и немецкой (Dreifach Waibe и Hangdown Grunkernig) селекции.

Исследования проводили в 2022-2024 годах в условиях южной лесостепи Западной Сибири (опытное поле Омского государственного аграрного университета им П.А. Столыпина). Климат района исследования умеренно континентальный, формирующийся под влиянием азиатского материка с продолжительной суровой зимой, жарким летом и короткой весной, резкими колебаниями суточных температур выше 10°C составляет 1900-2000°C, продолжительность этого периода 125–130 дней. Средняя многолетняя сумма осадков равна 300-350 мм. Благодаря сочетанию удлиненного светового дня, высокой температуры воздуха и хороших почвенных условий за короткий вегетационный период на данной территории успешно растет и развивается растительность. Метеорологические условия вегетационного периода годов исследования отражали основные черты климата и существенно влияли на рост, развитие, продуктивность и интенсивность накопления и действие химических элементов. Метеорологические условия вегетационного периода 2022-2024 годов характеризовались неравномерным температурным режимом и количеством осадков: теплой и дождливой погодой в начале лета и жаркой, сухой погодой – в конце лета. Вегетационный период отличался контрастной погодой: прохладные и дождливые периоды сменялись в течение лета теплыми и сухими.

Почва опытного участка – лугово-черноземная, маломощная тяжелосуглинистая, содержание гумуса в пахотном слое 5,2-6,5%, рН=6,8, в составе почвенно-поглощающего комплекса преобладает кальций (19,8-23,3 мг-экв/100 г). В среднем перед посевом культурных растений содержание в почве нитратного азота было недостаточно, подвижного фосфора – чуть ниже оптимальных значений, содержание обменного калия превышало оптимальное значение. Содержание селена в почве составляло 0,326±0,091 мг/кг.

Для обогащения использовали метод некорневого внесения – опрыскивание растворами селенита, наноселена. С целью оценки защитного действия селена на растения бобов в условиях загрязнения тяжелыми

металлами в опыт введены варианты с применением хрома и свинца Тяжелые металлы Pb и Cr вносили в почву до посева в виде сухих ацетатных солей. Доза внесения составляла 2 ПДК (12 мг/кг) содержания подвижной формы этих элементов в почве. Опрыскивание проводили однократно в фазу стеблевания. Размер опытной делянки составлял 1 м². Опыт заложен в шестикратной повторности с систематической последовательностью размещения вариантов по схеме: 1. Контроль; 2. Раствор селенита натрия с концентрацией селена 0,01% (Se 0,01%); 3. Раствор наноселена с концентрацией селена 0,01% (nSe 0,01%); 4. Основное внесение в почву свинца в дозе 2 ПДК (Pb 2ПДК, 12 мг/кг); 5. Pb 2ПДК + Se 0,01%; 6. Pb 2ПДК + nSe 0,01%; 7. Основное внесение хрома в дозе 2 ПДК (Cr 2ПДК, 12 мг/кг); 8. Cr 2ПДК + Se 0,01%; 9. Cr 2ПДК + nSe 0,01% (табл. 1).

Таблица 1. Схема опыта
Table 1. Scheme of experience

Вариант	Контроль	Селенит натрия Se	Наноселен nSe
Контроль (без внесения)	Вода	0,01%	0,01%
Свинец Pb 2ПДК, 12 мг/кг	Вода	0,01%	0,01%
Хром Cr 2ПДК, 12 мг/кг	Вода	0,01%	0,01%

Наночастицы селена получали методом лазерной абляции, используя лазер (Nd:YAG) с длиной волны 1064 нм при длительности импульса 12 нс и энергии 2,5 Дж. Средний размер наночастиц составил 90 нм, согласно данным динамического светорассеяния (Photocor Compact Z, США).

Уборка была проведена во второй декаде сентября. По окончании уборки бобов овощных проводили оценку биометрических показателей; оценивали урожайность, качество бобов (содержание селена, белка). Содержание селена определяли флюорометрическим методом на флуориметре Флуорат 02-5-М (Россия), тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом на ААС спектрофотометре Shimadzu GFA-7000 (Shimadzu, Япония), а белка методом Кьельдаля UDK-149 (Velp Scientifica, Италия).

Математическую обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием пакета Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

До сих пор не существует однозначного мнения по поводу необходимости Se для растительного организма, и, по мнению многих авторов, эссенциальность его для высших растений не доказана. Однако проведено множество исследований с различными культурами (зерновыми, овощными, кормовыми), показывающими достоверную прибавку урожайности от применения данного микроэлемента [19,20,21,22,24,24]. Очевидно, положительный эффект достигается с учетом многих действующих факторов: типа почвы, содержания доступного Se в ней, вида химического соединения селена в почве, возделываемой культуры, сорта.

Некорневые подкормки являются довольно эффективным способом, позволяющим, уменьшить дозиров-

ку Se, и этим значительно повысить коэффициент его использования [25]. Микроэлементы, поглощенные листьями, могут переноситься в другие растительные ткани, включая и корни, где избыточное количество элемента может быть запасено [26].

По мнению ряда авторов, Se очень легко сорбируется через листья растений, это определяет большую эффективность некорневой подкормки, которая зависит от времени проведения, что очень важно при использовании селенита, поскольку последний легче фиксируется, чем селенат [20]. Наши исследования показали, что некорневые подкормки на ранних стадиях онтогенеза способствуют накоплению селена в бобах (табл. 2). Кроме того, представляет теоретический и практический интерес изменение содержания селена в условиях повышенного поступления в почву тяжелых металлов.

увеличивается в 6,4-12,2 раза. Максимальное значение ($1325 \pm 22,7$ мкг/кг) отмечено у бобов сорта Dreifach Waibe. Необходимо отметить, что такое содержание микроэлемента может быть уже токсичным для растений и животных. Применение наноселена способствовало увеличению содержания селена в бобах различной селекции в 1,4-3,8 раза. При этом максимальное значение установлено также у бобов немецкой селекции сорта Dreifach Waibe. Таким образом, можно использовать некорневое внесение соединений Se и существенно повысить уровень этого микроэлемента в растениях, однако при этом необходимо постоянно контролировать его содержание в почве и растениях, учитывая интервалы токсичного и необходимого содержания селена для конкретных систем почва – растение – животное.

Таблица 2. Содержание селена в бобах при применении селенсодержащих удобрений и тяжелых металлов мкг/кг
Table 2. Selenium content in beans when using selenium-containing fertilizers and heavy metals

Вариант		Сорт			
		Русские черные	Белорусские	Hangdown Grunkernig	Dreifach Waibe
Контроль (без внесения)	Контроль (вода)	81±2,1	98±2,3	156±5,6	208±7,2
	Селенит натрия Se	990±19,2**	623±21,2**	1264±53,1**	1325±22,7**
	Наноселен nSe	114±3,2**	141±2,8**	489±19,3**	782±12,9**
Хром 2ПДК, 12 мг/кг	Контроль (вода)	69±1,4	42±1,6	114±3,1	41±2
	Селенит натрия Se	865±15,1**	454±11,2**	994±25,4**	349±7,8**
	Наноселен nSe	171±3,9**	84±1,9**	106±12,1	51±0,9
Свинец 2ПДК, 12 мг/кг	Контроль (вода)	56±0,8	-*	54±1,9	41±0,9
	Селенит натрия Se	137±2,2**	-	82±3,1**	505±6,3**
	Наноселен nSe	74±1,9**	-	69±2,5**	416±5,6**

Примечание: -* нет данных, ** – достоверность различий по сравнению с контролем ($p < 0,05$)
Note: -* no data available, ** – the significance of the differences compared with the control ($p < 0,05$)

Растения – единственные организмы на Земле, способные превращать неорганические формы Se в органические. В зависимости от устойчивости организма к высоким концентрациям селена и способности накапливать определенные уровни микроэлемента без видимых признаков фитотоксичности все растения делят на не аккумуляторы, вторичные аккумуляторы и гипераккумуляторы [10].

Согласно проведенным исследованиям, бобы относятся к растениям не аккумуляторам, которые накапливают максимально до 50 мг/кг. В зависимости от применяемой формы селена, сортовой специфики разница в накоплении селена может быть очень значительна (табл. 2). По содержанию селена в бобах без дополнительного его применения, изучаемые сорта можно расположить по убыванию в следующий ряд: Dreifach Waibe – Hangdown Grunkernig – Белорусские – Русские черные. Таким образом, сорта немецкой коллекции более богаты микроэлементом, нежели отечественные сорта.

Анализируя закономерность поступления Se в бобах в зависимости от его формы, можно отметить, что интенсивность накопления снижается в ряду селенит-наноселен. Применение селенита натрия значительно увеличивает содержание селена в растениях, при этом уровень микроэлемента

Поскольку одной из задач исследования являлось изучение действия селена на фоне повышенного поступления тяжелых металлов, нами изучено содержание подвижных форм свинца и хрома в почве опытного участка, что представлено (табл. 3).

Согласно данным таблицы 3, содержание тяжелых металлов в лугово-черноземной почве не превышало установленных ПДК, однако отмечается увеличение свинца в варианте с его внесением на 50%, а хрома – на 138% по сравнению с контролем.

Необходимо отметить, что повышенный фон тяжелых металлов в почве без обработки препаратами Se снижает содержание селена в бобах у всех изученных сортов, при этом наибольшее снижение на 80,3% отмечается при воздействии свинца (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют об антагонизме между селеном и такими тяжелыми металлами, как свинец и хром. Фолиарная обработка селенитом натрия на фоне хрома и свинца способствовала увеличению селена в бобах практически всех сортов (за исключением сорта Hangdown Grunkernig на варианте «Селенит+Pb») по сравнению с контролем. Однако внесение наноселена на фоне тяжелых металлов не всегда способствовало увеличению уровня микроэлемента по сравнению с контролем.

Таблица 3. Содержание подвижных форм микроэлементов в почве опытного участка (слой 0-30 см)
Table 3. Content of mobile microelements in the soil of the experimental plot (layer 0-30 cm)

Вариант	Содержание микроэлементов, мг/кг	
	Pb	Cr
Контроль	0,26	0,21
Pb 2ПДК	0,39	.*
Cr 2ПДК	.*	0,50
ПДК**	6	6

Примечание: .* не определяли, ** – ПДК согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
Note: .* not defined, ** – MPC according to SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans".

Физиология и биохимия Se растений на современном этапе исследований представляются во многом близкими физиологии и биохимии серы, что объясняет, как положительный, так и токсический эффект применения селена [22]. Большинство исследований показывает, что положительное действие селена на рост и развитие растений объясняется его способностью повышать устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Селен повышает соле- и засухоустойчивость [20], устойчивость растений к стрессовым факторам (в том числе при токсическом воздействии тяжелых металлов) посредством следующих механизмов:

- путем снижения выработки супероксид аниона – индуктора свободнорадикальных процессов;
- частичным ингибированием процессов перекисно-

го окисления липидов, образующих клеточные мембраны;

- усилением процессов гидролиза белков, способных привести к освобождению из неактивных форм особых защитных белков, а также накопление в цитозоле полипептидов-осморегуляторов;
- увеличением выработки и накоплением в тканях универсального защитного вещества – аминокислоты пролина.

Аналогично метаболизму серы, селенат переходит в селенит и далее в селенид с участием восстановленного глутатиона. Селенид превращается в SeCys и далее в SeMet. В обычных условиях вегетации SeCys и SeMet включаются в белки. При нагрузке Se образуются метилированные формы, часть из которых (диметилселениды) являются летучими соединениями, а часть – производными Cys и Met (Se-Me-SeCys, γ -Glu-SeMe-SeCys, SeMe-SeMet), не способными включаться в белки и изменять их биологическую активность. Такой механизм служит эффективным способом защиты растений от токсического воздействия соединений Se [13, 27, 28, 29, 30].

При ассимиляции селена не аккумулирующими видами растений происходит синтез селенцистеина и селенметионина. Синтез селенметионина влечет за собой появление селентаурина, селенцистеиновой кислоты и других продуктов окисления. Селенцистеин может стать составной частью белков и воздействовать на метаболизм серы и азота. Некоторые авторы приписывают селенцистеину роль 21-й аминокислоты, участвующей в построении белков, что возможно, определяет ее роль в высших растениях [20].

Таким образом, различные способы применения селена и сортовая специфика его накопления, определяют интенсивность поступления микроэлемента в растения, и, как следствие, влияют на рост и развитие,

Таблица 4. Урожайность бобов сорта Русские черные
Table 4. The yield of the Russian Black beans

Вариант	Урожайность бобов, кг/м ²	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м ²	Изменение массы
		кг/м ²		кг/м ²
Контроль	0,44	—	1,79	—
Селенит натрия	0,47	0,03	1,82	0,03
Наноселен	0,27*	-0,17	1,86	0,07
Cr	0,29*	-0,15	1,42*	-0,37
Селенит+Cr	0,23*	-0,21	1,48*	-0,30
Наноселен+Cr	0,32*	-0,11	1,71	-0,08
Pb	0,42	-0,02	1,57*	-0,22
Селенит+Pb	0,45	0,01	1,43*	-0,36
Наноселен+Pb	0,64*	0,20	1,50*	-0,29
НСР ₀₅	0,03		0,12	

Примечание: * – достоверность различий по сравнению с контролем (p<0,05)
Note: * – the significance of the differences compared with the control (p<0.05)

Таблица 5. Урожайность бобов сорта Белорусские
Table 5. The yield of the Belarusian

Условия	Урожайность бобов, кг/м ²	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м ²	Изменение массы
		кг/м ²		кг/м ²
Контроль	0,39	—	1,96	—
Селенит натрия	0,40	0,01	1,98	0,02
Наноселен	0,41	0,02	2,06	0,10
Cr	0,29*	-0,10	1,57*	-0,39
Селенит+Cr	0,40	0,01	1,69*	-0,30
Наноселен+Cr	0,40	0,01	1,95	-0,01
Pb	0,32*	-0,07	2,00	0,04
Селенит+Pb	0,35*	-0,04	1,83*	-0,13
Наноселен+Pb	0,13*	-0,26	1,61*	-0,35
НСР 05	0,03		0,12	

Примечание: * – достоверность различий по сравнению с контролем ($p < 0,05$)
Note: * – the significance of the differences compared with the control ($p < 0,05$)

и, в итоге, на урожайность бобов овощных. Следовательно, различное содержание селена в сельскохозяйственных культурах, может оказывать значительное влияние на продукционный процесс в растительном организме (табл. 4, 5, 6, 7). Необходимо отметить, что тяжелые металлы также могут оказывать как стимулирующее, так и токсическое воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур, в зависимости от их содержания в системе почва – растение, что и подтверждают наши исследования.

Согласно данным, представленным в таблице 4, применение Se и тяжелых металлов оказало неоднознач-

ное, даже противоречивое действие на урожайность как самих бобов сорта Русские черные, так и их зеленой массы. Необходимо отметить, что селенит натрия оказал положительное действие как на рост бобов, так и зеленой массы растений. В то же время наноселен стимулировал развитие зеленой массы, но снижал урожайность бобов. Хром во всех вариантах негативно влиял на урожайность, в то же время интерес представляет стимулирующее действие свинца на урожайность бобов. При этом в варианте «Наноселен+Pb» отмечается наибольшая урожайность бобов 0,64 кг/м², что выше уровня контроля на 45,4%. Однако в этом же варианте

Таблица 6. Урожайность бобов сорта Hangdown Grunkernig
Table 6. The yield of the Hangdown Grunkernig

Условия	Урожайность бобов, кг/м ²	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м ²	Изменение массы
		кг/м ²		кг/м ²
Контроль	0,36	—	1,79	—
Селенит натрия	0,35	-0,01	2,12*	0,33
Наноселен	0,19*	-0,17	1,83	0,04
Cr	0,40*	0,05	2,09*	0,30
Селенит+Cr	0,41*	0,05	1,84	0,05
Наноселен+Cr	0,26*	-0,09	2,08*	0,49
Pb	0,21*	-0,15	1,53*	-0,26
Селенит+Pb	0,26*	-0,09	1,70	-0,09
Наноселен+Pb	0,22*	-0,14	1,66*	-0,13
НСР ₀₅	0,03		0,12	

Примечание: * – достоверность различий по сравнению с контролем ($p < 0,05$)
Note: * – the significance of the differences compared with the control ($p < 0,05$)

Таблица 7. Урожайность бобов сорта Dreifach Waibe
Table 7. The yield of the Dreifach Waibe

Условия	Урожайность бобов, кг/м ²	Изменение массы	Урожайность зеленой массы, кг/м ²	Изменение массы
		кг/м ²		кг/м ²
Контроль	0,28	—	1,31	—
Селенит натрия	0,39*	0,11	1,78*	0,47
Наноселен	0,26	-0,02	1,69*	0,38
Cr	0,36*	0,08	1,31	0,00
Селенит+Cr	0,24*	-0,04	1,77*	0,46
Наноселен+Cr	0,28	—	1,68*	0,37
Pb	0,35*	0,07	1,61*	0,30
Селенит+Pb	0,30	0,02	1,70*	0,40
Наноселен+Pb	0,29	0,01	2,39*	1,08
НСР ₀₅	0,03		0,12	

Примечание: * – достоверность различий по сравнению с контролем ($p < 0,05$)
Note: * – the significance of the differences compared with the control ($p < 0,05$)

установлено снижение урожайности зеленой массы на 16,2% по сравнению с контролем.

Анализируя данные таблицы 5, можно отметить, что достоверной прибавки урожая бобов сорта Белорусские в опыте в опытных вариантах не отмечено, а тенденция к повышению урожайности наблюдается только у образцов, обработанных селенитом натрия и наноселеном. Угнетающее действие тяжелых металлов проявляется в варианте с внесением хрома, при этом снижение урожайности бобов и зеленой массы составляет 25,4 и 19,9% по сравнению с контролем. Наибольшее угнетающее действие на урожайность бобов отмечается в варианте «Наноселен+Pb», где снижение урожайности составляет 67%. Таким образом, применение наноселена на повышенном фоне свинца может оказывать прямо противоположный эффект на продуктивность в зависимости от сорта бобов.

Согласно данным, представленным в таблице 6, положительное влияние на урожайность бобов сорта Hangdown Grunkernig оказал хром, а также применение селенита на фоне основного внесения хрома, в остальных вариантах отмечали снижение урожайности бобов. На урожайность зеленой массы растений негативное воздействие оказали варианты с применением свинца.

В таблице 7 представлены данные по урожайности бобов сорта Dreifach Waibe в зависимости от применяемого элемента. Согласно проведенным исследованиям на урожайность бобов сорта немецкой селекции Dreifach Waibe в наибольшей степени влияет селенит натрия (при этом прибавка урожайности бобов составляла 39,3%) и тяжелые металлы (свинец и хром).

Таким образом, в изучаемых условиях проанализирована сортовая специфика отзывчивости сортов бобов овощных на применение микроэлементов. Минимальная урожайность бобов отмечали у сорта немецкой коллекции – Dreifach Waibe (табл. 7), а наи-

большая – у сорта Русские черные. В целом бобы отечественной селекции отличаются большей урожайностью по сравнению с растениями немецкой селекции. Отмечается также сортовая отзывчивость на применение соединений селена и тяжелых металлов.

Помимо влияния на урожайность, нами были изучены биометрические показатели растений бобов. На рисунках 1-4 представлены показатели высоты растений, общей их массы и массы семян в зависимости от внесенных в почву тяжелых металлов (свинца или хрома) и обработки различными формами селена (наноселен и селенит натрия).

Согласно данным рисунка 1, обработка селенитом натрия способствовала стимулированию роста растений бобов немецкой селекции, однако снижала рост бобов отечественной селекции. Наноселен способствовал росту лишь растений сорта Dreifach Waibe. Рост растений сортов Русские черные, Белорусские и Hangdown Grunkernig угнетался свинцом. Также совместное действие свинца и селена в обеих его формах оказало дополнительное угнетающее действие на культуру. Сорт Dreifach Waibe, наоборот, под действием свинца показал увеличение высоты растения в ряду Pb – селенит+Pb – наноселен+Pb. В вариантах с применением хрома на высоту растения сорта Hangdown Grunkernig этот элемент оказал положительное влияние, но при совместном действии с селенитом рост угнетается. Рост растений сортов Русские черные, Белорусские и Dreifach Waibe угнетается хромом. Но при совместном действии хрома и селенита наблюдаются небольшие положительные тенденции роста у сорта Dreifach Waibe. Аналогичные зависимости отмечены и при оценке массы растений (рис. 2).

Согласно данным рисунка 3, можно отметить, что препараты селена не оказали значимого положительного влияния на показатель – количество бобов. Среди

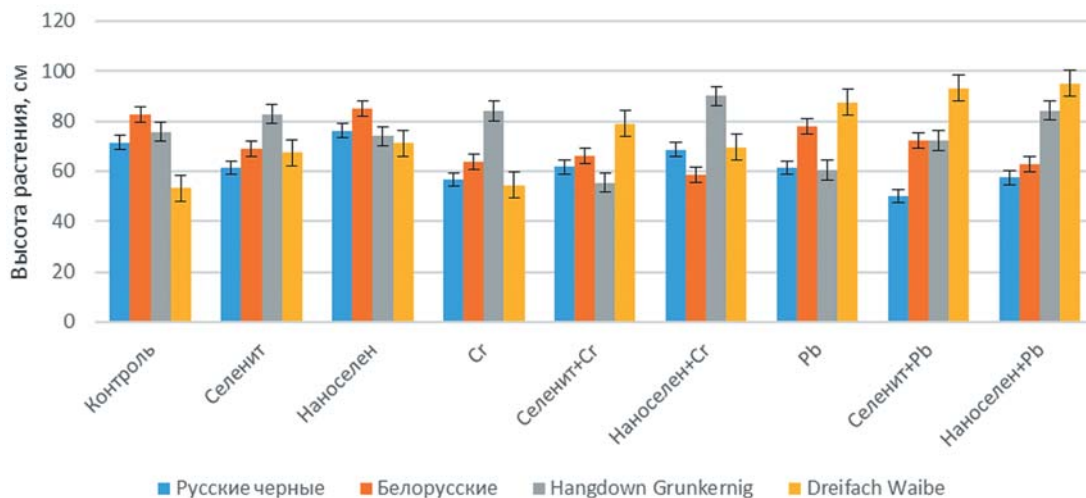


Рис. 1. Влияние соединений селена, хрома и свинца на высоту растений бобов (полевой опыт 2022-2024 годы)
Fig. 1. The effect of selenium, chromium and lead compounds on bean plant height (field experience 2022-2024)

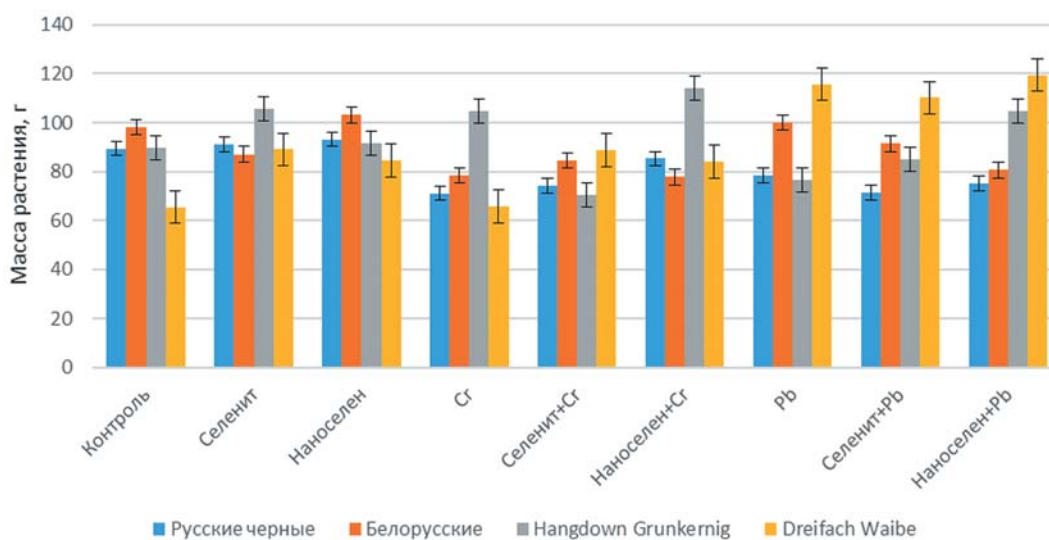


Рис. 2. Влияние соединений селена, хрома и свинца на массу растений бобов (полевой опыт 2022-2024 годы)
Fig. 2. The effect of selenium, chromium and lead compounds on the weight of bean plants (field experience 2022-2024)

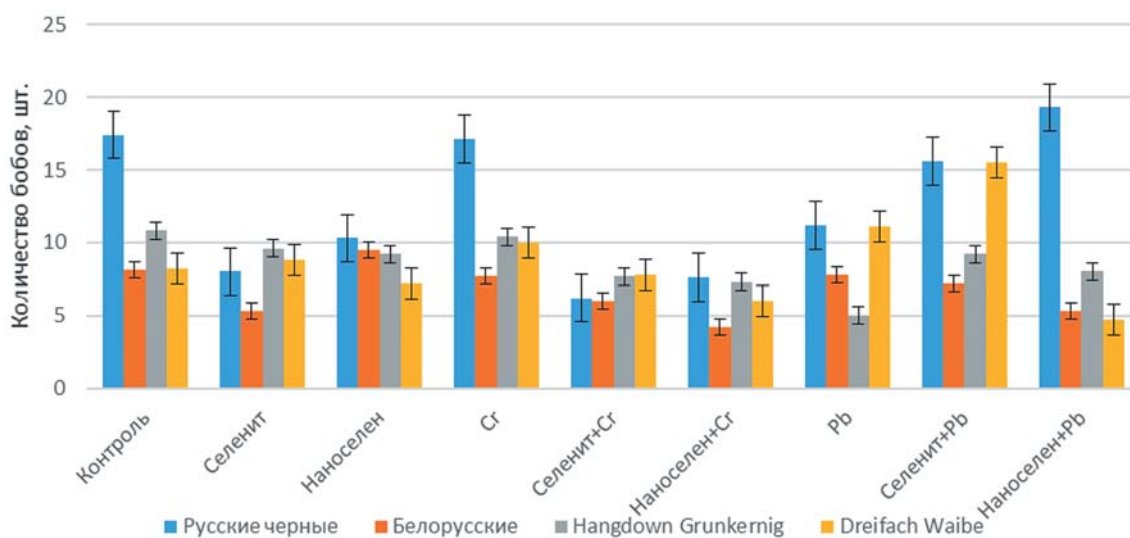


Рис. 3. Влияние соединений селена, хрома и свинца на количество бобов (полевой опыт 2022-2024 годы)
Fig. 3. The effect of selenium, chromium and lead compounds on the number of beans (field experience 2022-2024)

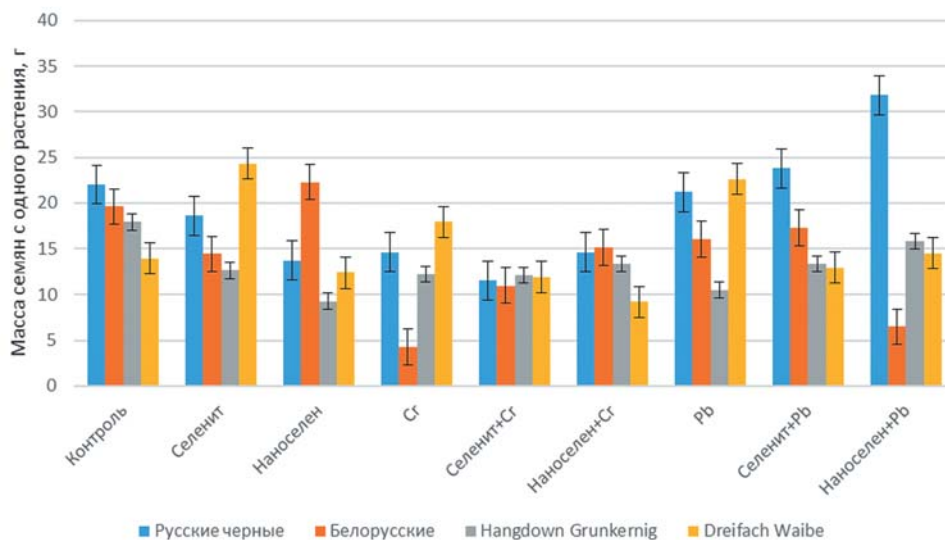


Рис. 4. Влияние соединений селена, хрома и свинца на массу семян бобов с одного растения (полевой опыт 2022-2024 годы)
Fig. 4. The effect of selenium, chromium and lead compounds on the weight of bean seeds per plant (field experience 2022-2024)

сортов по наибольшему количеству бобов выделяется сорт Русские черные. Действие тяжелых металлов можно оценить как неоднозначное: как стимулирующее, так и угнетающее в зависимости от сорта культуры и способа применения.

На рисунке 4 можно наблюдать одну из особенностей бобов сорта Русские черные. Масса семян с одного растения увеличивается в ряду Pb – селенит+Pb – наноселен+Pb. Остальные сорта проявили неоднозначную зависимость массы семян с одного растения от микроэлементов в рамках их сортовой специфики.

Таким образом, высокое содержание Se и тяжелых металлов снижает интенсивность продукционного процесса в растительном организме. Существует много объяснений токсического действия селена в растительном организме. В частности, известно, что растения-не аккумуляторы способны синтезировать селено-содержащие аминокислоты и из них – соответствующие белки, что при высоких концентрациях селена приводит к дезактивации значительной части ферментов и, как следствие, гибели растения [29]. В то же время, ряд авторов считает, что важнейшие продукты селенового метаболизма в растениях – белковые и небелковые аминокислоты, включаются в первичную структуру белка, воздействуют на метаболизм N и S, и это может вести к изменению четвертичной структуры и функции белков и ферментов, не снижая их активности [27].

Роль Se в метаболизме белка объясняется и его влиянием на метаболизм азота в растениях. В работе [28] показана прямая связь между содержанием белка и селена в зерне некоторых зерновых культур. Ряд авторов предполагает, что между азотом и селеном существует такая же зависимость.

В связи с тем, что исследованиями доказано значительное влияние Se на метаболизм белков в растениях, среди показателей качества, особое внимание было уделено содержанию белка в бобах овощных именно при применении различных форм селена (табл. 8).

Согласно полученным данным, в условиях опыта Se не оказал значимого стимулирующего влияния на биосинтез белка в растениях бобов. В то же время некор-

невая обработка растворами селенита и селената натрия способствовала снижению содержания белка в бобах сортов немецкой селекции Hangdown Grunkernig и Dreifach Waibe в среднем на 18-26%.

Кроме влияния Se на метаболизм биологически активных веществ, положительное или токсическое действие селена на растительный организм проявляется во взаимодействии его с другими элементами, в частности, как показали наши исследования – хромом и свинцом. В ряде работ указано, что влияние возрастающих доз селена на элементный состав растений изучено слабо, и в литературе имеется значительное количество противоречивых данных по этому вопросу, т.к. процесс взаимодействия между ионами определяется их химическими свойствами, а также видовой и сортовой спецификой растения, фазой его развития, агроэкологическими условиями [30, 31, 32, 33]. Согласно нашим опытам и исследованиям других авторов, отмечаем, что Se оказывает как положительное, так и фитотоксическое действие на растения, с одной стороны, нанокмозиты селена стимулируют рост и развитие растений, с другой – могут вызывать окислительный стресс и повреждение клеток [34].

Выводы

1. Установлено, что в зависимости от применяемой формы селена, влияния тяжелых металлов, сортовой специфики разница в содержании селена в бобах может быть очень значительной (41-1325 мкг/кг). По содержанию селена в бобах без дополнительного его применения, изучаемые сорта можно расположить по убыванию в следующий ряд: Dreifach Waibe > Hangdown Grunkernig > Белорусские > Русские черные. Интенсивность накопления при дополнительном внесении селена снижается в ряду селенит – наноселен. Применение селенита натрия значительно увеличивает содержание селена в растениях, при этом уровень микроэлемента увеличивается в 6,4-12,2 раза, а при использовании наноселена – в 1,4-3,8 раза. Максимальное значение установлено также у бобов немецкой селекции сорт Dreifach Waibe.

Таблица 8. Содержание белка в бобах при применении различных форм селена
Table 8. Protein content of beans with different forms of selenium

Вариант	Сорт			
	Русские черные	Белорусские	Hangdown Grunkernig	Dreifach Waibe
Контроль (вода)	32,99±1,03	29,65±0,91	31,13±0,95	29,60±0,91
Селенит натрия Se	31,93±0,98	29,98±0,93	28,78±0,88	29,57±0,91
Наноселен нSe	31,27±0,95	30,95±0,96	23,03±0,71*	24,05±0,75*

Примечание: * – достоверность различий по сравнению с контролем ($p < 0,05$)
Note: * – the significance of the differences compared with the control ($p < 0,05$)

2. Применение тяжелых металлов снижает содержание селена в бобах у всех изученных сортов, при этом наибольшее снижение (на 80,3%) отмечается при воздействии свинца.

3. Различные способы применения селена и сортовая специфика его накопления, влияют на рост и развитие, и, в итоге, на урожайность бобов овощных. Тяжелые металлы также могут оказывать как стимулирующее, так и токсическое воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур, в зависимости от их содержания в системе почва – растение. Бобы отечественной селекции отличаются большей урожайностью по сравнению с растениями немецкой селекции. При оценке показателей

роста и развития бобов также отмечается сортовая отзывчивость на применение соединений селена и тяжелых металлов.

4. Взаимодействие тяжелых металлов и селена при их совместном применении оказывает влияние на продукционный процесс. При оценке действия микроэлемента в обязательном порядке необходимо учитывать не только формы и дозы селеносодержащих соединений, но и, с учетом явлений антагонизма и синергизма ионов, влияние одних элементов питания на содержание других.

5. В условиях опыта селен не оказал значимого стимулирующего влияния на биосинтез белка в растениях бобов.

• Литература

- Безуглова Е.В. Исходный материал для селекции бобов (*Vicia Faba*) и влияние биологических препаратов на их хозяйственно-ценные признаки в южной лесостепи Западной Сибири. Тюмень 2015. 17 с.
- Амелин А.В., Вороничев Б.А., Стебакова Е.Н. Продуктивные возможности растений кормовых бобов у разных по окультуренности сортообразцов. *Вестник ОрелГАУ*. 2008;(13):8-11. <https://www.elibrary.ru/kwatsz>
- Пивоваров В.Ф., Пронина Е.П. Основные направления и результаты селекции и семеноводства овощных бобовых культур во ВНИИССОК. *Овощи России*. 2013;(1):4-11. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-4-11> <https://www.elibrary.ru/qcjhkz>
- Brooks J.D. et al. Plasma selenium level before diagnosis and the risk of prostate cancer development. *Urol*. 2001;(166):2034–2038.
- Salman M., Idiz G.Yi Effects of different levels of organic selenium supplementation on fattening performance, carcass characteristics and blood GSH-PX activity in lambs. *Rev. med. Vet (France)*. 2009;160(5):258-264.
- Rizky Abdulah, Raori Miyazaki, Minato Nakazawa, Hiroshi Koyama, Abdulah Rizky. Chemical forms of selenium for cancer prevention. *J.Trace Elem.Med.Biol*. 2005;19(2-3):141-150.
- Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia. *J. Trace Elem. Med. Biol*. 1999;13(1-2):15-20.
- Скальный А.В., Киселев М.Ф. Элементный статус населения России. Санкт-Петербург: Медкнига "ЭЛ-БИ-СПб". 2010. 416 с.
- Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974. 300 с.
- Голубкина Н.А., Полубояринов П.А., Синдирева А.В. Селен в продуктах растительного происхождения. *Вопросы питания*. 2017;86(2):63-69. <https://www.elibrary.ru/ykkezv>
- Rayman M.P. The argument for increasing selenium intake. *Proc. Nutr. Soc*. 2002;(61):203-215.
- McKenzie R.C., Arthur J.R., Miller S.M., Rafferty T.S., Beckett G.J. Selenium and the immune system. in Nutrition and immune function. P.C. Calder, C.J. Field, H.C. Gill (eds). 2002. CABI Publishing, Wallingford. UK. P. 239-250.
- Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R., Collings R. et al. Selenium in human health and disease. *Antioxid. Redox Signal*. 2011;14(7):1337-1383.
- Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе «почва – растение – животное». Омск, 2012. 455 с.

- Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. 2006. М. : Печатный город, 269 с.
- Schrauser H.W. Selenium. Elements and their Compounds in the Environment. Vol.3. Nonmetals. Ed. Merian et al. Wiley-VCH Verlag. 2003. P.100-106.
- Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука, 1974. 300 с.
- Никонов И.Н., Фолманис Ю.Г., Коваленко Л.В. [и др.] Биологическая активность наноразмерного коллоидного селена. *Доклады Академии наук*. 2012;447(6):675-677. <https://www.elibrary.ru/nzinsj>
- Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайцев В.Ф. Внутрорегиональная вариабельность селенового статуса населения. *Юг России: экология, развитие*. 2017;12(1):107-127. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-107-127>
- Серегина И.И. Действие микроэлементов (селена, цинка и молибдена) на рост, развитие и продуктивность яровой пшеницы в разных условиях азотного питания и водообеспечения. М. : ВИУА, 2000. 22 с.
- Степанюк В.В. Влияние селена на элементный состав растений горохоовсяной смеси. *Агрехимия*. 2003;(12):13-20. <https://www.elibrary.ru/okxqxx>
- Торшин С. П., Удельнова Т.М., Ягодин Б.А. Биогеохимия и агрохимия селена и методы устранения селенодефицита в пищевых продуктах и кормах. *Агрехимия*. 1996;(8):127-145.
- Lyons G., Genc Y., Soole K., Stangoulis J., Liu F., Graham R. Selenium increases seed production in Brassica. *Plant Soil*. 2009;(318):73-80.
- Jovic V. Selenium in soils and some plants in Serbia. *The problems of Biochemistry and Geochemical Ecology*. 2006;1(1):65-69.
- Бобко Е.В. Избранные сочинения. М. : Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1963. 358 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 429 с.
- Brown K.M., Arthur J.R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public. Health. Nutr*. 2001;(4):593-599.
- Neuhierl B. [et al.] A family of S-methylmethionine-dependant thiol/selenol methyltransferases. Role in selenium tolerance and evolutionary relation. *Biol. Chem*. 1999;(274):5407-5414.
- B'Hymer C., Caruso J.A. Selenium speciation analysis using inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A*. 2006;(1114):1-20.
- Синдирева А.В., Зайко О.А., Мангутова А.К. Эколого-токсикологическая оценка возможности применения селена для коррек-

ции свинцовой интоксикации у крыс. *Теоретическая и прикладная экология*. 2025;(1):168-176. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-168-176> <https://www.elibrary.ru/jijcli>

31. Синдирева А.В., Эрдэнэцогт Э., Голубкина Н.А., Гурьев Н.Е. Интегральный подход к нормированию действия селена в системе почва-растение-животное для разработки научно-обоснованной профилактики микроэлементозов в регионах России и Монголии. Омск : Изд-во КАН, 2024. 244 с.

32. Tallarita A.V., Golubkina N., De Pascale S., Şekara A., Pokluda R., Murariu O.C., Cozzolino E., Cenvinzo V., Caruso G. Effects of selenium/iodine foliar application and seasonal conditions on yield and quality of perennial wall rocket. *Horticulturae*. 2025;11(2):211. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020211>

33. Skrypnik L., Feduraev P., Golubkina N., Maslennikov P., Antipina M., Katserov D., Murariu O.C., Tallarita A.V., Caruso G. Foliar spraying of selenium in inorganic and organic forms stimulates plant growth and secondary metabolism of sage (*Salvia officinalis* L.) through alterations in photosynthesis and primary metabolism. *Scientia Horticulturae*. 2024;(338):113633. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.113633>

34. Burmistrov D.E., Shumeyko S.A., et al. Selenium Nanoparticles (Se NPs) as Agents for Agriculture Crops with Multiple Activity: A Review. *Agronomy*. 2025;(15):1591. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071591>

• References

1. Bezuglova E.V. Source material for the selection of beans (*Vicia Faba*) and the influence of biological preparations on their economically valuable traits in the southern forest-steppe of Western Siberia. Tyumen, 2015. 17 p. (In Russ.)

2. Amelin A.V., Voronichev B.A., Stebakova E.N. Productive potential of fodder bean plants in varieties with different levels of cultivation. *Vestnik OrelGAU*. 2008;(13):8-11. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/kwatsz>

3. Pivovarov V.F., Pronina E.P. Main directions and results of vegetable breeding and seed production of vegetable crops of legumes in VNIIS-SOK. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(1):4-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-4-11> <https://www.elibrary.ru/qcjhkh>

4. Brooks J.D. et al. Plasma selenium level before diagnosis and the risk of prostate cancer development. *Urol*. 2001;(166):2034-2038.

5. Salman M., Idiz G.Yi Effects of different levels of organic selenium supplementation on fattening performance, carcass characteristics and blood GSH-PX activity in lambs. *Rev. med. Vet (France)*. 2009;160(5):258-264.

6. Rizky Abdulah, Raori Miyazaki, Minato Nakazawa, Hiroshi Koyama, Abdulah Rizky. Chemical forms of selenium for cancer prevention. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2005;19(2-3):141-150.

7. Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 1999;13(1-2):15-20. (In Russ.)

8. Skalny A.V., Kiselev M.F. Elemental status of the Russian population. St. Petersburg: Medical book "EL-BI-SPb". 2010. 416 p. (In Russ.)

9. Ermakov V.V. Biological significance of selenium. M.: Science, 1974. 300 p. (In Russ.)

10. Golubkina N.A., Poluboyarinov P.A., Sindireva A.V. Selenium in plant products. *Nutrition Issues*. 2017;86(2):63-69. <https://www.elibrary.ru/ykkezb>

11. Rayman M.P. The argument for increasing selenium intake. *Proc. Nutr. Soc.* 2002;(61):203-215.

12. McKenzie R.C., Arthur J.R., Miller S.M., Rafferty T.S., Beckett G.J. Selenium and the immune system. in Nutrition and immune function. P.C. Calder, C.J. Field, H.C. Gill (eds). 2002. CABI Publishing. Wallingford. UK. P. 239-250.

13. Fairweather-Tait S.J., Bao Y., Broadley M.R., Collings R. et al. Selenium in human health and disease. *Antioxid. Redox Signal.* 2011;14(7):1337-1383.

14. Sindireva A.V. Criteria and parameters of the action of microele-

ments in the "soil-plant-animal" system. Omsk, 2012. 455 p. (In Russ.)

15. Golubkina N.A., Papazyan T.T. Selenium in nutrition. Plants, animals, humans. 2006. Moscow: Pechatny Gorod, 269 p. (In Russ.)

16. Schrauser H.W. Selenium. Elements and their Compounds in the Environment. Vol.3. Nonmetals. Ed. Merian et al. Wiley-VCH Verlag. 2003. P.100-106.

17. Ermakov V.V., Kovalsky V.V. Biological significance of selenium. M.: Science, 1974. 300 p. (In Russ.)

18. Nikonov I.N., Folmanis Yu.G., Kovalenko L.V. [et al.] Biological activity of nanosized colloidal selenium. *Reports of the Academy of Sciences*. 2012;447(6):675-677. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/nzinsj>

19. Golubkina N.A., Sindireva A.V., Zaitsev V.F. Intraregional variability of selenium status of the population. *South of Russia: ecology, development*. 2017;12(1):107-127. (In Russ.) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-107-127>

20. Seregina I.I. Effect of microelements (selenium, zinc and molybdenum) on the growth, development and productivity of spring wheat under different conditions of nitrogen nutrition and water supply. M.: VIUA, 2000. 22 p. (In Russ.)

21. Stepanyuk V.V. The influence of selenium on the elemental composition of pea-oat mixture plants. *Agrohimia*. 2003;(12):13-20. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/okxqxx>

22. Torshin S.P., Udelnova T.M., Yagodin B.A. Biogeochemistry and agrochemistry of selenium and methods for eliminating selenium deficiency in food products and feeds. *Agrohimia*. 1996;(8):127-145. (In Russ.)

23. Lyons G., Genc Y., Soole K., Stangoulis J., Liu F., Graham R. Selenium increases seed production in Brassica. *Plant Soil*. 2009;(318):73-80.

24. Jovic V. Selenium in soils and some plants in Serbia. *The problems of Biochemistry and Geochemical Ecology*. 2006;1(1):65-69.

25. Bobko E.V. Selected Works M.: Publishing house of agricultural literature, magazines and posters, 1963. 358 p. (In Russ.)

26. Kabata-Pendias A., Pendias H. Microelements in soils and plants M. 1989. 429 p. (In Russ.)

27. Brown K.M., Arthur J.R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health. Nutr.* 2001;(4):593-599.

28. Neuhierl B. [et al.] A family of S-methylmethionine-dependant thiol/selenol methyltransferases. Role in selenium tolerance and evolutionary relation. *Biol. Chem.* 1999;(274):5407-5414.

29. B'Hymer C., Caruso J.A. Selenium speciation analysis using inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A*. 2006;(1114):1-20.

30. Sindireva A.V., Zayko O.A., Mangutova A.K. Ecological-toxicological assessment of the possibility of using selenium for correction of lead intoxication in rats. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2025;(1):168-176. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-4-168-176> <https://www.elibrary.ru/jijcli>

31. Sindireva A.V., Erdenetsogt E., Golubkina N.A., Guryev N.E. An integrated approach to standardizing selenium action in the soil-plant-animal system for developing scientifically based prevention of microelementoses in the regions of Russia and Mongolia. 2024. 244 p. (In Russ.)

32. Tallarita A.V., Golubkina N., De Pascale S., Şekara A., Pokluda R., Murariu O.C., Cozzolino E., Cenvinzo V., Caruso G. Effects of selenium/iodine foliar application and seasonal conditions on yield and quality of perennial wall rocket. *Horticulturae*. 2025;11(2):211. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020211>

33. Skrypnik L., Feduraev P., Golubkina N., Maslennikov P., Antipina M., Katserov D., Murariu O.C., Tallarita A.V., Caruso G. Foliar spraying of selenium in inorganic and organic forms stimulates plant growth and secondary metabolism of sage (*Salvia officinalis* L.) through alterations in photosynthesis and primary metabolism. *Scientia Horticulturae*. 2024;(338):113633. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.113633>

34. Burmistrov D.E., Shumeyko S.A., et al. Selenium Nanoparticles (Se NPs) as Agents for Agriculture Crops with Multiple Activity: A Review. *Agronomy*. 2025;(15):1591. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071591>

Об авторах:

Анна Владимировна Синдирева – доктор биол. наук, заведующая кафедрой геоэкологии и природопользования, <https://orcid.org/0000-0001-8596-7584>, SPIN-код: 2564-7936, автор для переписки, a.v.sindireva@utmn.ru

Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>, SPIN-код: 9284-3454, segolubkina45@gmail.com

Елена Валентиновна Безуглова – кандидат с.-х. наук, старший преподаватель кафедры экологии, природопользования и экологии, SPIN-код: 3257-5996, ev.bezuglova@omgau.org

Михаил Александрович Федотов – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, SPIN-код: 8147-0828, mikle_fed@mail.ru

Андрей Алексеевич Алпатов – доктор экон. наук, профессор, зам. директора, SPIN-код: 8266-8755, aalpatov@imet.ac.ru

About the Authors:

Anna V. Sindireva – Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of Geoeology and Nature Management, <https://orcid.org/0000-0001-8596-7584>, SPIN-code: 2564-7936,

Corresponding Author, a.v.sindireva@utmn.ru

Nadezhda A. Golubkina – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher of the Laboratory and Analytical Department, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>, SPIN-code: 9284-3454, segolubkina45@gmail.com

Elena V. Bezuglova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Lecturer, Department of Ecology, Nature Management, and Ecology, SPIN-code: 3257-5996, ev.bezuglova@omgau.org

Mikhail A. Fedotov – Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, SPIN-code: 8147-0828, mikle_fed@mail.ru

Andrey A. Alpatov – Dr. Sci. (Economics), Professor, Deputy Director, SPIN-code: 8266-8755, aalpatov@imet.ac.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-92-98>
УДК: 635.21:631.84

Л.С. Федотова*, Н.А. Тимошина,
Е.В. Князева, И.А. Арсентьев

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
картофеля имени А.Г. Лорха»
140051, Россия, Московская обл.,
г. Люберцы, дп. Красково

*Автор для переписки: coordinazia@mail.ru

Вклад авторов: Федотова Л.С.: руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование; Тимошина Н.А.: методология, создание черновика рукописи и проведение исследования; Князева Е.В.: проведение исследования; Арсентьев И.А.: проведение исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., Арсентьев И.А. Азотные удобрения в системе минерального питания картофеля. Овощи России. 2026;(1):92-98.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-92-98>

Поступила в редакцию: 30.05.2025

Принята к печати: 18.10.2025

Опубликована: 16.03.2026

Lyudmila S. Fedotova*, Natalia A. Timoshina,
Elena V. Knyazeva, Ilya A. Arsenyev

Russian Potato Research Centre
Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russia, 140051

*Corresponding Author: coordinazia@mail.ru

Authors' Contributions. Fedotova L.S.: supervision, writing – review & editing; Timoshina N.A.: methodology, investigation, writing – original draft; Knyazeva E.V., Arsenyev I.A.: investigation.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citations: Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V., Arsenyev I.A. Nitrogen fertilizers in the system of potato mineral nutrition. Vegetable crops of Russia. 2026;(1):92-98. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-92-98>

Received: 30.05.2025

Accepted for publication: 18.10.2025

Published: 16.03.2026

Азотные удобрения в системе минерального питания картофеля



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Анализ и изучение современных форм азотных удобрений в минеральном питании картофеля – актуальное направление исследований, которое объясняется появлением разнообразных форм минеральных удобрений на рынке.

Материал и методика. Представлены сравнительные данные по действию традиционных форм азотных удобрений (селитра аммиачная, селитра кальциевая, сульфат аммония, карбамид, жидкий аммиак, аммиачная вода) и относительно новых разработок (стабилизированный карбамид ЮТЕК, удобрение азотно-известняковое (УАИ), азотное удобрение с добавлением серы (КАС+S, сульфонитрат и др.). Показаны результаты полевых опытов (2020-2022 годы) по оценке эффективности прикорневых подкормок некоторыми из перечисленных выше форм: селитра аммиачная, ингибированный карбамид ЮТЕК, удобрение азотно-известняковое (УАИ), на отечественных сортах картофеля: Удача, Метеор Жуковский – ранние и Фаворит, Гранд – среднеспелые. При постановке и проведении краткосрочных полевых опытов использованы стандартные методы исследований.

Результаты. Система минерального питания картофеля, сочетающая основное внесение комплексных NPK-удобрений (нитроаммофоска 14:14:23 или диаммофоска 10:26:26 и др.) перед посадкой в умеренных дозах ($N_{40-56}P_{56-104}K_{92-104}$) с проведением прикорневых азотных подкормок в дозах не превышающих N_{100} , в начальный период вегетации (при высоте растений 10-15 см - начало бутонизации) модернизированными формами азотных удобрений (ингибированный карбамид ЮТЕК) или азотно-известняковым удобрением (УАИ), способна полностью раскрыть потенциал сортов картофеля. Установлено, что при выращивании отечественных сортов картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве прибавки урожайности от азотных подкормок в дозе N_{100} составили: для ранних (Удача, Метеор, Жуковский ранний) 3,0-8,8 т/га или 7-25%, среднеспелых сортов (Гранд, Фаворит) – 3,0-7,7 т/га или 11-20% к минеральному фону ($N_{56}P_{56}K_{92}$), где уровень урожайности достигал 27-32 т/га. Прикорневые азотные подкормки способствовали существенному увеличению урожайности и товарности картофеля, при этом «ростового разбавления» питательных компонентов в продукции не отмечено.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

картофель, традиционные и модифицированные азотные удобрения, ингибированный карбамид ЮТЕК, азотно-известняковое удобрение, NH_4^+ форма, NO_3^- форма

Nitrogen fertilizers in the system of potato mineral nutrition

ABSTRACT

Relevance. The relevance of the article lies in the analysis and study of modern forms of nitrogen fertilizers in the mineral nutrition of potatoes. This research direction is driven by the emergence of diverse forms on the mineral fertilizer market.

Methodology. The article presents comparative data on the effects of traditional nitrogen fertilizers (ammonium nitrate, calcium nitrate, ammonium sulfate, urea, liquid ammonia, ammonia water) and relatively new developments (stabilized urea UTEK, nitrogen-limestone fertilizer (UAI), nitrogen fertilizers with sulfur additives such as UAN+S, sulfonitrate, etc.). The article shows the results of field experiments (2020-2022) to assess the effectiveness of root dressings with some of the above forms: ammonium nitrate, inhibited urea UTEK, nitrogen-limestone fertilizer (UAI), on domestic potato varieties – maturing Udacha, Meteor, Zhukovsky and mid-season Favorit, Grand. Standard research methods were used in setting up and conducting the short-term field experiments.

Results. The system of mineral nutrition of potatoes, combining the main application of complex NPK fertilizers (nitroammophoska 14:14:23 or diamphoska 10:26:26, etc.) before planting in moderate doses ($N_{40-56}P_{56-104}K_{92-104}$) with root nitrogen fertilizing in doses not exceeding N_{100} in the initial period of vegetation (plant height 10-15 cm – beginning of budding) with modernized forms of nitrogen fertilizers (inhibited urea UTEK) or nitrogen-limestone fertilizer (UAI), is capable of fully revealing the potential of potato varieties. It was found that when growing domestic potato varieties on sod-podzolic sandy loam soil, the yield increase from nitrogen top dressing at a rate of N_{100} was: for early varieties (Udacha, Meteor, Zhukovsky early) 3.0-8.8 t/ha or 7-25%, and for mid-late varieties (Grand, Favorit) 3.0-7.7 t/ha or 11-20% over the mineral background ($N_{56}P_{56}K_{92}$), where the yield level reached 27-32 t/ha. Root nitrogen top dressings contributed to a significant increase in potato yield and marketability, with no observed "growth dilution" of nutrients in the produce.

KEYWORDS:

potato, traditional and modified nitrogen fertilizers, inhibited urea UTEK, nitrogen-limestone fertilizer, NH_4^+ form, NO_3^- form

Введение

Удобрения – источник биогенных элементов, которые входят в состав организмов и выполняют определенные биологические функции. Для прохождения полного жизненного цикла (от семени до семени) растениям необходимо лишь 17: С, Н, О, N, P, K, Si, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Co, Zn, Cu, Mo, из обнаруженных в растительных тканях более 75 элементов таблицы Д.И. Менделеева [1, 2]. Удобрения – не чужеродные природе вещества, они содержат те же самые элементы, которые находятся в почве и которых не всегда хватает для нормального роста и развития растений, но при нарушении доз и сроков внесения они могут оказывать отрицательное влияние на растения и окружающую среду.

Минеральные азотные удобрения играют ключевую роль при выращивании большинства с.-х. культур в различных регионах страны [3, 4, 5], в том числе и картофеля [6, 7, 8]. Они ускоряют набор вегетативной массы, способствуют правильному развитию корневой системы, увеличивают листовую аппарат, повышают иммунитет растений, количество и качество урожая. Д.Н. Прянишников (1955) неоднократно подчеркивал важность азота в истории человечества: «Вся история земледелия в Западной Европе свидетельствует о том, что главным условием, определяющим среднюю высоту урожая в различные эпохи, была степень обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом». Классиками установлено [1, 9], что растения могут усваивать как нитратную, так и аммиачную форму азота. В условиях слабокислой реакции среды (рН 5,5-6,0) в растения лучше поступает NO_3^- форма. NH_4^+ форма в растениях может сразу пойти на образование аминокислот, путем реакции аминирования, тогда как NO_3^- – сначала должна восстановиться до NH_4^+ , т.е. пройти более сложный биохимический путь встраивания в обмен веществ растений. Условием для усвоения NH_4^+ формы является достаточное количество углеводов, поэтому культуры, богатые углеводами (например, клубни картофеля), хорошо усваивают NH_4^+ форму, тогда как растения, имеющие малый запас углеводов в семенах (свекла сахарная), в первые периоды роста не выносят повышенной концентрации NH_4^+ .

Для выращивания картофеля лучшими традиционными азотными удобрениями считаются: селитра аммиачная (34-35% азота); сульфат аммония (21% азота) на почвах со щелочной и слабощелочной реакцией среды; карбамид (мочевина) (43-46% азота); жидкий (безводный) аммиак NH_3 (82,3% азота); аммиачная вода или водный аммиак (18% и 20,5% азота), особенно на почвах, богатых гумусом и органикой; селитра кальциевая (14-17,5% азота, 27% кальция) на почвах с кислой и слабокислой реакцией.

Современные тенденции в разработке азотных удобрений направлены на создание сбалансированных составов, учитывающих взаимосвязь азота с другими элементами питания, например, с серой [5]. Среди инновационных азотных удобрений можно выделить следующие:

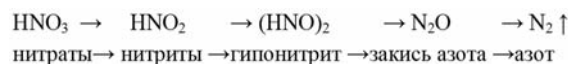
1. Сульфонитрат N:S = 30:7, комбинированное удобрение, сочетающее азот и серу в одной грануле. Это двойная соль аммиачной селитры и сульфата аммония. Имеет преимущество в виде минимального вымывания азота.

2. Карбамид с серой (46,2% азота и не менее 4% серы), амидная форма азота обеспечивает пролонгированное питание растений. При попадании в почву происходит переход амидной формы азота (NH_2^+) в аммонийную (NH_4^+), а затем в нитратную форму (NO_3^-), процесс полного перехода занимает от 4-х до 20 дней.

3. Сбалансированное азотно-фосфорное удобрение с серой, 12N-40P-10S. Удобрение отлично подходит для осеннего и ранневесеннего внесения, благодаря синергизму азота и серы, а также высокому содержанию водорастворимых фосфатов. Удобрение обеспечивает эффект пролонгации серного питания: водорастворимая сульфатная сера доступна немедленно после внесения, а элементарная сера обеспечивает запас на вторую половину вегетации.

4. Жидкое азотное удобрение с добавлением серы (КАС+S), на основе карбамида-аммиачной смеси (КАС), содержит 23% азота и 3,6% серы. Оно сохраняет все свойства КАС-32, а добавление серы способствует полному усвоению азота и снижению непродуктивных потерь.

Применение азотных удобрений всегда связано со значительными непродуктивными потерями. В полевых условиях коэффициент использования азота минеральных удобрений разными культурами составляет не более 40-50% [9, 10, 11]. Основная часть азота удобрений или закрепляется в почве в виде трудногидролизующих слабо доступных растением соединений, или безвозвратно теряется в виде различных продуктов, образующихся в результате процессов денитрификации:



Возможны потери азота и от вымывания, что приводит к загрязнению грунтовых вод и питьевых источников нитратами.

Азот поглощается растениями неравномерно [1, 9, 10]. Первый период поглощения, получивший название критического, совпадает с начальными фазами роста и развития большинства культур¹. В этот период растения особо чувствительны как к недостатку, так и к избытку питательных веществ. Химический состав культур в начальные фазы роста характеризуется высоким содержанием азота и многих зольных элементов.

Второй период – максимального потребления питательных веществ, характерен для более поздних фаз развития и определяется биологическими особенностями растений. Поступление питательных веществ в злаковые растения, за исключением кукурузы, к концу колошения почти заканчивается, хотя к этому времени они образуют не более 50-60% растительной биомассы от полного урожая. Озимая пшеница при хорошем развитии уже в осенний период усваивает азота и калия 43-47%, в то время как сухая масса растений составляет не больше 10% полного урожая [3, 12]. Это также относится и к озимой ржи, которая за осенний период усваивает до 50-60% азота, фосфора и калия. Ячмень и овес уже в фазу цветения поглощают 100% калия, а после происходит даже потеря этого питательного элемента (экзоосмос). Свекла сахарная, картофель, капуста и другие овощные культуры отличаются более продолжительным или растянутым периодом потребления питательных веществ: азот, фосфор и калий они усваивают почти в течение всего вегетационного периода [1, 10, 11].

В связи с этим, удобрения с замедленным высвобождением действующих веществ (д.в.) – это те формы, в которых доступность питательных элементов относительно совпадает

¹Агрохимия: Учебник / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др.; под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.

ет с потребностью растений. В своем обзоре по удобрениям пролонгированного действия Мухина М.Т., Боровик Р.А., Коршунов А.А. (2021) [13] указали на три основные причины и преимущества применения медленно действующих удобрений: повышение коэффициента использования и синхронизация во времени высвобождения питательных элементов с потребностями растений, а также создание экологичных ресурсосберегающих технологий их производства. К таким удобрениям относится ингибированный или стабилизированный карбамид ЮТЕК46. Покрытие гранул карбамида ингибитором уреазы [N-(n-бутил) thiophosphoric triamide], продлевает действие азота, что обеспечивает пролонгированное и стабильное поступление этого элемента в корни растений. Средняя прибавка урожайности всех протестированных культур от применения формы «медленного» азота (карбамида ЮТЕК) была на 4-6% выше, чем от применения традиционного карбамида [14, 15, 16]. При применении капсулированного карбамида с ингибиторами уреазы и нитрификации выделение газообразных форм азота проходило в 2 раза медленнее, а коэффициент его усвоения повышался. Урожайность картофеля при использовании карбамида с ингибиторами нитрификации повышалась на 10-11% [14].

Эффективность стабилизированного карбамида ЮТЕК46 подтвердилась в трехфакторном полевом опыте на 16 отечественных сортах картофеля (2014-2016 годы) на двух предшественниках – рапс яровой и вико-овсяная смесь. Было установлено, что ранние сорта картофеля Удача, Крепыш, Любава, Погарский, и среднеранние: Ильинский, Памяти Рогачева, Брянский деликатес, Русский сувенир – с вегетацией 85-95 дней, практически, не реагировали на формы азотных удобрений. Стабилизированный карбамид ЮТЕК (с ингибитором уреазы: НБТФТ – (n-бутил)тиофосфорный триамид) увеличивал продуктивность и урожайность среднеспелых сортов: Голубизна, Диво, Колобок, Накра, и среднепоздних: Лорх, Малиновка, Никулинский, Брянский надежный, с периодом активной вегетации 105-115 дней – на 2,5-4,4 т/га (5,5-11,1%) в зависимости от предшественника (рапс/ вико-овёс) по сравнению с показателями, полученными от традиционной формы карбамида. Подкормка среднеспелых и среднепоздних сортов картофеля ингибированным карбамидом ЮТЕК, увеличила выход крахмала с единицы площади на 30-60% по сравнению с сортами ранней и среднеранней групп спелости картофеля на фоне традиционных удобрений [7].

Широко известны сведения о том, что картофель может расти на кислых почвах, однако для формирования надземной биомассы ему требуется много кальция и магния, а оптимальная pH для него 5,5-6,0 [2, 10, 11]. Длительное использование физиологически кислых азотных удобрений негативно влияет как на плодородие почв, так и продуктивность картофеля. Альтернативный вариант – физиологически нейтральное азотно-известняковое удобрение (УАИ) – 27% азота, 6% CaO, 4% MgO, наряду с обеспечением растений необходимым азотом, дополнительно снабжает растения Са и Mg, что особенно важно для картофеля, капусты, лука и других овощных. УАИ формирует оптимальные физико-химические условия в корнеобитаемом слое, что препятствует избыточному накоплению нитратов в растениях [6].

Внесением удобрений в один прием и в один слой почвы не всегда можно добиться полного раскрытия потенциала сортов картофеля. Высокая эффективность дробного внесения азотных удобрений получена в полевом опыте с прикорневой подкормкой тремя формами азотных удобрений:

аммиачной селитрой, традиционным карбамидом и ингибированным карбамидом ЮТЕК [8]. Было установлено, что наибольшая прибавка урожайности (16,8 т/га или 40,3%) и высокая товарность (80,7%) картофеля получены при подкормке Карбамидом ЮТЕК в дозе N₉₀ по д.в.

Периодичность потребления питательных веществ растениями является теоретическим обоснованием дробного внесения удобрений – в разные сроки и в разные слои почвы [1, 2, 9]. Дозы легкорастворимых минеральных удобрений, достаточные для критического периода питания, будут малы для периода максимального потребления питательных веществ [17, 19]. И наоборот, большая доза, внесенная за один приём, вредна для первого (критического) периода, когда молодые корешки растений (это особенно актуально для картофеля) чувствительны к высокой концентрации питательных веществ, и для микробиома почвы, что доказали в своих исследованиях Hauck R.D. (1984), Montgomery D.R. and Bikié A. (2021) [18, 19]. Вот почему правильная система питания культур предусматривает сочетание основного (вразброс, с заделкой на глубину 18-25 см), локального удобрения (на глубину 8-10 см) и подкормок в период роста и развития растений (на глубину 10-15 см).

Цель исследования: оценка агрономической эффективности прикорневых подкормок различными формами азотных удобрений, таких как аммиачная селитра, карбамид, карбамид ЮТЕК и удобрение азотно-известняковое, при выращивании сортов продовольственного картофеля на фоне средних доз NPK-удобрений (N₄₀₋₅₆P₅₆₋₁₀₄K₉₂₋₁₀₄) на дерново-подзолистой почве.

Материалы и методы

В 2020-2022 годах проводили краткосрочные полевые опыты с подкормками различными формами азотных удобрений в период смыкания растений в рядах (высота растений 10-15 см – начало бутонизации) сортов картофеля: Удача, Жуковский ранний, Метеор (ранние) и Фаворит, Гранд (среднеспелые), в двух полевых опытах на полях ЭБ «Коренево» Люберецкого района Московской области. Почва – дерново-подзолистая супесчаная, со следующими агрохимическими показателями пахотного слоя: рНKCl – 4,4-4,9; Нг – 3,65-3,97 мг-экв/100 г почвы; S – 1,87-2,20 мг-экв/100 г почвы, V – 32,6-37,0%; P₂O₅ – 355-376 и K₂O – 91-107 мг/кг, гумус – 1,8-1,9%. Метеоусловия в годы исследований значительно различались: вегетационный период 2020 года был влажным (ГТК=2,35), 2021 год – слабозасушливый (ГТК=1,1) и 2022 год – засушливый (ГТК=0,93).

Посадку картофеля проводили клоновой сажалкой КСКН-4. Площадь каждого варианта 900 м² на сортах Удача, Фаворит, 2020 год и 36 м² на сортах Жуковский ранний, Метеор, Гранд, 2020-2022 годы. Тестирование форм азотных удобрений в качестве прикорневой подкормки проводили по схеме: Фон N₄₀₋₅₆P₅₆₋₁₀₄K₉₂₋₁₀₄: 10-26-26 (400 кг/га по физ. массе) или 14-14-23 (400 кг/га по физ. массе) в гребни перед посадкой; Фон + подкормка N100: аммиачная селитра (300 кг/га по физ. массе); Фон + подкормка N₁₀₀: карбамид ЮТЕК (220 кг/га по физ. массе); Фон + подкормка N₁₀₀: УАИ (370 кг/га по физ. массе). При постановке и проведении полевых и лабораторных исследований пользовались общепринятыми методиками и ГОСТами. Статистическая обработка результатов проведена методом дисперсионного анализа на ПЭВМ с использованием приложения AgSTAT.

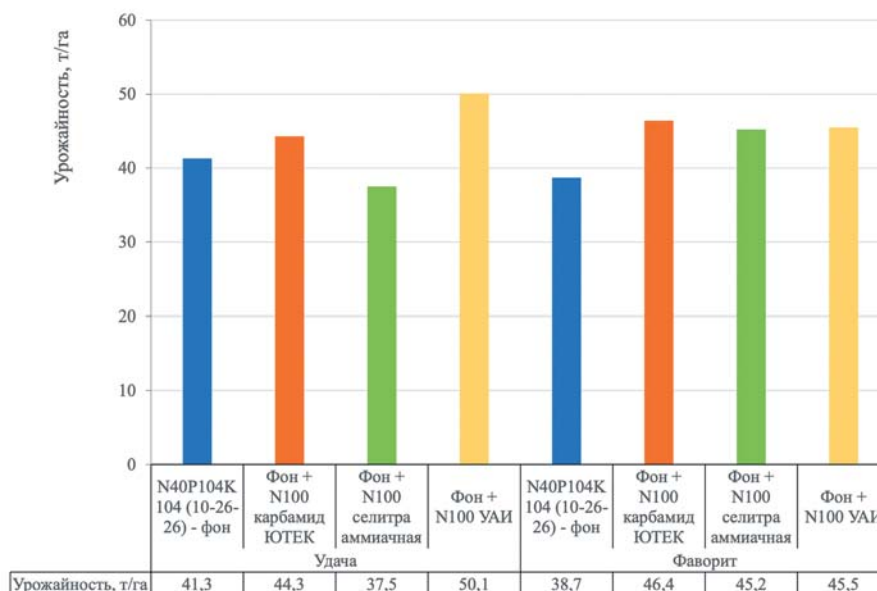


Рис. 1. Урожайность картофеля в зависимости от форм азотных удобрений, 2020 г.
 Fig. 1. Potato yield depending on the forms of nitrogen fertilizers, 2020.

Результаты и обсуждение

Прикорневая подкормка различными формами азотных удобрений в начале вегетации растений оказала существенное влияние на повышение урожайности сортов картофеля (рис. 1).

Основной эффект от «медленного» азота, образующегося при внесении карбамида ЮТЕК, наиболее ярко проявлялся на среднеспелых сортах картофеля с длительным периодом роста и развития растений (110-120 дней). Прибавка урожайности на испытываемых сортах картофеля составила: от карбамида ЮТЕК, обработанного ингибитором уреазы, на сорте Удача 3,0 т/га (7,3%), а на сорте Фаворит значительно больше – 7,7 т/га (19,9%).

Высокая прибавка получена также от подкормки удобрением азотно-известняковым (УАИ) – 8,8 т/га (21,3%) на сорте Удача и 6,8 т/га (17,6%) на сорте Фаворит.

А вот от подкормки аммиачной селитрой на раннем сорте Удача получен отрицательный результат – минус 3,8 т/га (-9,3%), тогда как на среднеспелом сорте Фаворит прибавка урожайности составила 6,5 т/га (16,8%). Это можно объяснить тем, что подкормка селитрой способствовала мощному развитию ботвы на сорте Удача в ущерб урожаю клубней, в почве с «кислой» реакцией среды 4,4-4,9 ед. рН.

На рисунке 2 видно, что замена аммиачной селитры на карбамид ЮТЕК и УАИ оказала положительное влияние на продуктивность сортов картофеля. В вариантах с внесением карбамида ЮТЕК в дозе N₁₀₀ на N₅₆P₅₆K₉₂-фоне (нитроаммофоска с соотношением 14-14-23) получены следующие прибавки урожайности на ранних сортах: на Жуковском 3,0 т/га (8,4%) и Метеоре 2,0 т/га (6,0%) к варианту с подкормкой аммиачной селитрой.

В вариантах с внесением удобрения азотно-известнякового (УАИ) N₁₀₀ на N₅₆P₅₆K₉₂-фоне получены максимальные прибавки урожайности: на Жуковском раннем – 4,6 т/га (или 12,8%), Метеоре – 3,2 т/га (или 9,7%), Гранд – 2,1 т/га (или 6,8%) к варианту с подкормкой аммиачной селитрой. Такая высокая эффективность УАИ объясняется присутствием в гранулах удобрения помимо азота, кальция и магния, по которым наблюдался дефицит в почве с рН 4,4-4,9.

Подкормки карбамидом ЮТЕК и УАИ взамен аммиачной селитры повлияли на формирование массы и количества клубней: на сорте Жуковский ранний повысилась доля крупных клубней (> 60 мм) на 2-8%; на сорте Метеор повысилась доля средней фракции (30-60 мм) на 2-6%; на среднеспелом сорте Гранд – не проявилось.

При проведении азотных подкормок, среднеспелые сорта следует убирать в более поздние сроки, т.к. при одновре-

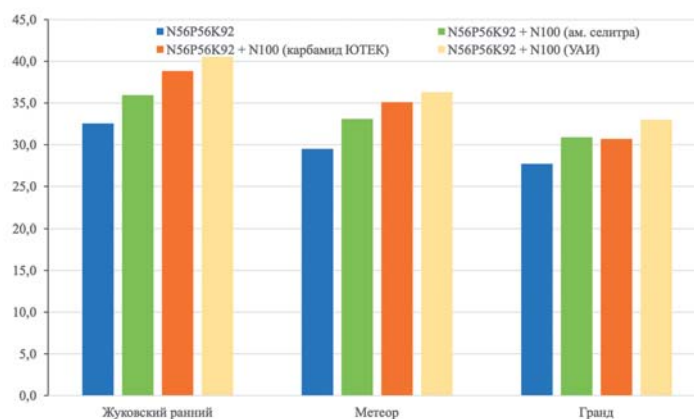


Рис. 2. Урожайность (т/га) сортов картофеля: Жуковский ранний (среднее за 2020-2021 годы), Метеор – суперранний (2022 год) и Гранд – среднеспелый (2022 год), в зависимости от подкормок азотными удобрениями
 Fig. 2. Yield (t/ha) of potato varieties: Zhukovsky ranniy (average for 2020-2021), Meteor - super early (2022) and Grand - mid-season (2022), depending on nitrogen fertilizer application

Таблица 1. Биохимические показатели качества клубней картофеля в зависимости от подкормок азотными удобрениями
Table 1. Biochemical indicators of potato tubers quality depending on nitrogen fertilizer application

№ п/п	Варианты	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Витамин С, мг%	Нитраты, мг на 1 кг клубней
Сорт Жуковский ранний, 2020-2021 годы					
1	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂	16,1	10,9	18,1	210
2	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (ам. селитра)	16,3	11,1	18,5	187
3	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (карбамид ЮТЕК)	15,0	9,9	18,2	190
4	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (УАИ)	15,7	10,5	18,1	194
Сорт Метеор, 2022 год					
1	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂	20,5	14,7	18,0	146
2	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (ам. селитра)	20,9	15,1	18,0	130
3	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (карбамид ЮТЕК)	21,1	15,3	21,8	128
4	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (УАИ)	21,4	15,6	18,0	76
Сорт Гранд, 2022 год					
1	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂	21,7	15,9	15,3	156
2	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (ам. селитра)	22,3	16,5	13,8	150
3	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (карбамид ЮТЕК)	23,0	17,3	18,4	147
4	N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (УАИ)	22,8	17,0	18,2	136
	НСР ₀₅	1,3	0,9	1,5	18

менной уборке с раннеспелыми, они в силу своих биологических особенностей по фракционному составу клубней будут уступать первенство. Поэтому в нашем опыте при уборке всех сортов картофеля в один срок, на среднеспелом сорте Гранд доля продовольственных клубней была минимальной, а доля не стандарта оставалась достаточно высокой (8,6%). В вариантах с внесением удобрения азотно-известкового (УАИ) N₁₀₀ на фоне нитроаммофоски с соотношением 14-14-23 наиболее вызревшим был суперранний сорт Метеор – с максимальной долей клубней крупной фракции 33% (max), средней фракции – 65 %, мелкой 2 %, а менее вызревшим среднеспелый сорт Гранд.

Прикорневые азотные подкормки способствовали существенному увеличению урожайности и товарности картофеля, при этом «ростового разбавления» фитонутриентов в продукции не отмечено, а в варианте с применением УАИ на сорте Метеор наблюдалось повышение содержания сухого вещества и крахмала (табл. 1).

В вариантах с прикорневыми азотными подкормками повышался выход питательно ценных компонентов с одного гектара посадок: на среднеспелом сорте Гранд получен максимальный сбор крахмала (59 ц/га) в варианте с комплексным минеральным питанием [N₅₆P₅₆K₉₂ + N₁₀₀ (УАИ)], что на 49% выше контроля (N₅₆P₅₆K₉₂).

Основное внесение удобрений в почву весной (400 кг/га по физ. массе нитроаммофоска 14:14:23 или N₅₆P₅₆K₉₂ по д.в.) и проведение азотных подкормок при окуливании рядков способствовало повышению содержания нитратного азота (N-NO₃), обменных кальция и магния в пахотном слое почвы, при одновременном снижении «зафосфаченности» (табл. 2). Минимальное содержание доступной формы азота (N-NO₃) наблюдалось в фоновом варианте (N₅₆P₅₆K₉₂), повышаясь до среднего уровня обеспеченности этим элементом (15,3-16,7 мг/кг почвы) во всех вариантах с азотными подкормками в дозе N₁₀₀.

Таблица 2. Агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от применения удобрений, среднее за 2020-2021 годы
Table 2. Agrochemical indicators of sod-podzolic sandy loam soil depending on the use of fertilizers, average 2020-2021

Вариант опыта	рНКСI	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
		мг/кг почвы				
1. N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂	4,41	13,5	459	147	494	125
2. N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (ам. селитра)	4,53	15,3	423	155	499	125
3. N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (карбамид ЮТЕК)	4,55	16,7	432	161	519	121
4. N ₅₆ P ₅₆ K ₉₂ + N ₁₀₀ (УАИ)	4,76	16,0	424	159	590	146
НСР ₀₅	0,14	2,3	26	12	43	19

Заключение

1. Система минерального питания продовольственного картофеля, на основе сочетания комплексных NPK-удобрений в средних дозах ($N_{40-56}P_{56-104}K_{92-104}$) перед посадкой с проведением азотных подкормок (N_{100}) в начальный период вегетации показала высокую эффективность и стабильность в разные по климатическим условиям годы (2020-2022 годы). При выращивании отечественных сортов картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве прибавки урожайности от азотных подкормок в дозе N_{100} составили: для ранних (Удача, Метеор, Жуковский ранний) 3,0-8,8 т/га или 7-25%, среднепоздних сортов (Гранд, Фаворит) – 3,0-7,7 т/га или 11-20% к минеральному фону, что стало достижимо при соблюдении следующих агротехнических правил: строгое соблюдение технологии использования азотных удобрений с учетом доз, форм, сроков и способов их внесения.

2. Оптимизация азотного питания в процессе всей вегетации, при которой необходимо учитывать прямое действие удобрений как источника питания растений этим элементом и косвенное, связанное с мобилизацией дополнительного «экстраазота» вследствие активизации процессов минерализации органического вещества почвы. Это имеет важное

значение, так как к количеству минерального азота почвы и азота минерального удобрения добавляется «экстраазот», поэтому может создаваться избыток этого элемента в почве, приводящий к «жированию» ботвы, ухудшению качества продукции, загрязнению природных вод нитратами.

3. При возделывании картофеля, особенно его средне-спелых и среднепоздних сортов с высоким содержанием крахмала – наиболее востребованных на промышленную переработку, желательна проведение подкормок новыми формами минеральных удобрений с пролонгированным переходом питательных веществ в почвенный раствор. Использование различных видов капсулированных азотных удобрений (в т.ч. ингибированного карбамида ЮТЕК) позволяет повысить коэффициент продуктивного использования азота и снизить его потери в окружающую среду.

4. В севооборотах с картофелем на кислых почвах дерново-подзолистого типа при систематическом применении азотных удобрений необходимо проведение периодического известкования; или ежегодное использование в качестве альтернативы известкованию – кальций-, магнийсодержащих удобрений, например, УАИ (удобрение азотно-известняковое).

Литература

- Альсмик П.И., Амбросов А.Л., Вечер П.С. Физиология картофеля. М.: Колосс, 1979. 272 с.
- Harris P.M. The Potato Crop. Springer-Science + Business Media, B.V. 1978. pp. 196-217. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7210-1>
- Воробьев В. Агротехническая эффективность систем удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых почвах. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2016;(1):37-36. <https://elibrary.ru/vljqzr>
- Свечников А.К., Измestьев В.М., Соколова Е.А. Азотные удобрения и продуктивность кормовых севооборотов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;63(2):69-73. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.69-73> <https://elibrary.ru/xmfyjf>
- Волкова А.В. Рынок минеральных удобрений. Обзор. Национальный исследовательский университет. Высшая школа экономики. 2019. 52 с.
- Гребеникова Т.В., Визирская М.М., Жевора С.В., Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В. Влияние комплексных минеральных удобрений в сочетании с азотными подкормками на урожайность сортов картофеля. *Путь науки*. 2023;2(108):14-23. <https://elibrary.ru/ewpaxc>
- Жевора С.В. Реакция сортов картофеля на введение в систему минерального питания стабилизированного карбамида УТЕС46. *Плодородие*. 2021;(3):76-80. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.14> <https://elibrary.ru/qwfats>
- Сычев В.Г., Аканова Н.И., Визирская М.М. Эффективность применения карбамида с ингибитором уреазы на картофеле. *Овощи России*. 2019;(3):104-108. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-104-108> <https://elibrary.ru/xdkavy>
- Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. М. 1955. Т. 4. С. 66
- Турко С.А. Настольная книга картофелевода. Минск: РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». 2007. 165 с.
- Федотова Л.С., Зеленов Н.А. Удобрение как фактор высокой продуктивности и качества картофеля. М.: Изд-во «С_Принт», 2007. 172 с.
- Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биомодифицированных азотных удобрений под озимую пшеницу. *Агротехнический вестник*. 2021;(1):33-37. <https://doi.org/10.24411/1029-2551-2021-1-006> <https://elibrary.ru/rzvfprj>
- Мухина М.Т., Боровик Р.А., Коршунов А.А. Удобрения пролонгированного действия: основные этапы и направления развития. *Плодородие*. 2021;(4):77-82. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.23> <https://elibrary.ru/vpeerz>
- Маннхайм Т., Бергер Н. Удобрение культур стабилизированными азотными удобрениями. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2015;(3):28-30. <https://elibrary.ru/rxsjdo>
- Khan I., Zaman M., Khan M.J., Iqbal M., Babar M.N. How to improve yield and quality of potatoes: effects of two rates of urea N, urease inhibitor and Cytozyme nutritional program. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2014;14(2):268-276. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000022>
- Завалин А.А., Свиридова Л.А. Пути повышения эффективности использования карбамида. *Агротехника*. 2024;(11):3-11. <https://doi.org/10.31857/S0002188124110017> <https://elibrary.ru/ainvtu>
- Федотова Л.С., Тимошина Н.А. Нитраты в картофеле как показатель минерального питания и зрелости продукции. Достижения науки и техники АПК. 2004;(8):11-13.
- Hauck R.D. Significance of nitrogen fertilizer microsite reactions in soil. Nitrogen in Crop Production. Madison. WI: ASA. 1984. pp. 507-533. <https://doi.org/10.2134/1990.nitrogenincropproduction.c33>
- Montgomery D.R. and Bicklé A. Soil Health and Nutrient Density: Beyond Organic vs. Conventional Farming. *Front. Sustain. Food Syst.*

2021;(5):699147. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.699147>

• References

1. Al'smik P.I., Ambrosov A.L., Vecher P.S. Potato physiology. Moscow: Kolos; 1979. 272 p. (in Russ.)
2. Harris P.M. The Potato Crop. Springer-Science + Business Media, B.V. 1978. pp. 196-217.
3. Vorob'ev V. Agronomic efficiency of fertilizer systems in crop rotations on sod-podzolic soils. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2016;(1):37-36. <https://elibrary.ru/vljqzr> (in Russ.)
4. Svechnikov A.K., Izmet'sev V.M., Sokolova E.A. Nitrogen fertilizers and productivity of fodder crop rotations. *Agricultural science Euro-North-East*. 2018;63(2):69-73. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.69-73> <https://elibrary.ru/xmfyjf> (in Russ.)
5. Volkova A.V. Mineral Fertilizer Market. Review. National Research University. Higher School of Economics. 2019. 52 p. (in Russ.)
6. Grebennikova T.V., Vizirskaya M.M., Zhevora S.V., Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V. The effect of complex mineral fertilizers combined with nitrogen fertilizers on the yield of potato varieties. *The Way of Science*. 2023;2(108):14-23. <https://elibrary.ru/ewpaxc> (in Russ.)
7. Zhevora S.V. The reaction of potato varieties to the introduction of stabilized UTEC46 carbamide into the mineral nutrition system. *Plodorodie*. 2021;(3):76-80. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.14> <https://elibrary.ru/qwfats> (in Russ.)
8. Sychev V.G., Akanova N.I., Vizirskaya M.M. Effectiveness of urea with urease inhibitor – UTEC to the potato. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(3):104-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-104-108> <https://elibrary.ru/xdkavy>
9. Pryanishnikov D.N. Selected works. Moscow. 1955. Vol. 4. pp. 66. (in Russ.)
10. Turko S.A. Potato Grower's Table Book. Minsk, 2007. 165 p. (in Russ.)
11. Fedotova L.S., Zelenov N.A. Fertilizer as a factor of high productivity and quality of potatoes. M., 2007. 172 p. (in Russ.)
12. Zavalin A.A., Nakaryakov A.M. Efficiency of application of biomodified nitrogen fertilizers for winter wheat. *Agrochemical herald*. 2021;(1):33-37. <https://doi.org/10.24411/1029-2551-2021-1-006> <https://elibrary.ru/rzvfpi> (in Russ.)
13. Mukhina M.T., Borovik R.A., Korshunov A.A. Long-acting fertilizers: main stages and directions of development. *Plodorodie*. 2021;(4):77-82. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.23> <https://elibrary.ru/vpeerz> (in Russ.)
14. Mannkhaim T., Berger N. Fertilization of crops with stabilized nitrogen fertilizers. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2015;(3):28-30. <https://elibrary.ru/rxsjdo> (in Russ.)
15. Khan I., Zaman M., Khan M.J., Iqbal M., Babar M.N. How to improve yield and quality of potatoes: effects of two rates of urea N, urease inhibitor and Cytozyme nutritional program. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2014;14(2):268-276. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000022>
16. Zavalin A.A., Sviridova L.A. Ways to increase the efficiency of carbamide use. *Agrokhimiya*. 024;(11):3-11. <https://doi.org/10.31857/S0002188124110017> <https://elibrary.ru/ainvtu> (in Russ.)
17. Fedotova L.S., Timoshina N.A. Nitrates in potatoes as an indicator of mineral nutrition and product maturity. *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2004;(8):11-13. (in Russ.)
18. Hauck R.D. Significance of nitrogen fertilizer microsite reactions in soil. Nitrogen in Crop Production. Madison. WI: ASA. 1984. pp. 507-533. <https://doi.org/10.2134/1990.nitrogenincropproduction.c33>
19. Montgomery D.R. and Biklé A. Soil Health and Nutrient Density: Beyond Organic vs. Conventional Farming. *Front. Sustain. Food Syst*. 2021;(5):699147. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.699147>

Об авторах:

Людмила Сергеевна Федотова – доктор с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела агротехнологий, <https://orcid.org/0000-0001-5358-4992>, SPIN-код: 2345-5964, автор для переписки, ldfedotova@gmail.com

Наталья Александровна Тимошина – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела агротехнологий, <https://orcid.org/0000-0002-5204-7922>, SPIN-код: 7297-4140, n-timoshina-1@yandex.ru

Елена Валерьевна Князева – старший научный сотрудник отдела агротехнологий, <https://orcid.org/0000-0001-7336-222X>, SPIN-код: 9417-2265, elenak-73@rambler.ru

Илья Александрович Арсентьев – младший научный сотрудник отдела агротехнологий, <https://orcid.org/0009-0002-3243-253X>, SPIN-код: 4645-2733, ilya.arsentev29@gmail.com

About the Authors:

Lyudmila S. Fedotova – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher, Agrotechnology Department, <https://orcid.org/0000-0001-5358-4992>, SPIN-code: 2345-5964, Corresponding Author, ldfedotova@gmail.com

Natalia A. Timoshina – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Agrotechnology Department, <https://orcid.org/0000-0002-5204-7922>, SPIN-code: 7297-4140, n-timoshina-1@yandex.ru

Elena V. Knyazeva – Senior Researcher, Department of Agricultural Technologies, <https://orcid.org/0000-0001-7336-222X>, SPIN-code: 9417-2265, elenak-73@rambler.ru

Ilya A. Arsentev – Junior Researcher, Department of Agricultural Technologies, <https://orcid.org/0009-0002-3243-253X>, SPIN-code: 4645-2733, ilya.arsentev29@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-99-109>
УДК: 634.1.037:581.1.045

А.В. Шишкин*, С.В. Жаркова

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»
656049, Россия, г. Барнаул

*Автор для переписки: shishkin8@yandex.ru

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Минсельхоза России в рамках государственного задания на НИР ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ по проекту «Совершенствование технологии капельного орошения при доращивании саженцев плодово-ягодных культур в садах лесостепной зоны юга Западной Сибири» (№ государственной регистрации темы – 125030703245-8).

Вклад авторов: А.В. Шишкин: проведение исследований, верификация данных, формальный анализ, создание рукописи и ее редактирование. С.В. Жаркова: концептуализация, методология, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов: Жаркова С.В. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2017 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Для цитирования: Шишкин А.В., Жаркова С.В. Влагосберегающие приемы при доращивании саженцев садовых культур в питомнике. *Овощи России*. 2026;(1):99-109. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-99-109>

Поступила в редакцию: 15.12.2025

Принята к печати: 06.02.2026

Опубликована: 16.03.2026

A.V. Shishkin*, S.V. Zharkova

«Altai State Agrarian University»
Barnaul, Russia, 656049

*Corresponding Author: shishkin8@yandex.ru

Funding. The study was carried out with the financial support of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation as part of the state assignment for research and development at the Altai State Agrarian University under the project «Improving the technology of drip irrigation during the growth of fruit and berry crop seedlings in the orchards of the forest-steppe zone of southern Western Siberia» (No. of state registration of the topic - 125030703245-8).

Authors' Contribution. A.V. Shishkin: investigation, validation, formal analysis, writing – review & editing. S.V. Zharkova: conceptualization, methodology, writing – review & editing.

Conflict of interests. S.V. Zharkova has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2017, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citations: Shishkin A.V., Zharkova S.V. Moisture-saving techniques for growing garden crops in nurseries. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):99-109. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-99-109>

Received: 15.12.2025

Accepted for publication: 06.02.2026

Published: 16.03.2026

Влагосберегающие приемы при доращивании саженцев садовых культур в питомнике

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. При получении высококачественного посадочного материала в условиях Западной Сибири без орошения нельзя создать благоприятный режим почвенного увлажнения. Капельное орошение в сочетании с мульчированием является прогрессивной технологией, обеспечивающей уменьшение расхода воды, демпфирование резких колебаний влажности и температуры верхних слоев почвы.

Материалы и методы. Исследования проведены в 2025 году на участке экспериментально-производственного отделения ФГБНУ ФАНЦА в отделе НИИСС имени М.А. Лисавенко, в лесостепной зоне Алтайского края. Опыты по доращиванию саженцев жимолости (сорт Берель) и облепихи (сорт Жемчужница) в питомнике включали следующие варианты: контроль; солома слоем 3-4 см; опилки слоем 3-4 см; спанбонд черный; спанбонд белый. Количество учетных растений в одной делянке 30 штук (450 шт. в опыте). Почвы опытного участка – лугово-черноземные, увлажнение поддерживалось на уровне от 70% НВ и выше. Исследования выполнены по общепринятым методам определения и оценки водно-физических свойств почв.

Результаты. Наиболее эффективными с точки зрения влагосбережения оказались органические мульчирующие материалы (солома и опилки), а также черный спанбонд. В метровом слое почвы питомника по выращиванию саженцев облепихи и жимолости на фоне капельного орошения в среднем за сезон прибавка общих влагозапасов составила: 20,8-30,1 мм под черным спанбондом; 18,6-28,5 мм при мульчировании соломой; 17,7-22,3 мм – в варианте с опилками; 8,2-23,9 мм при использовании белого спанбонда.

В верхнем пятидесятисантиметровом корнеобитаемом слое почвы участков капельного орошения, используемых для выращивания саженцев садовых культур в питомнике, мульчирование соломой создает дополнительно продуктивный влагозапас 11,6-13,3 мм, опилками 8,8-13,3 мм, черным спанбондом – 5,3-11,8 мм, белым спанбондом – 3,8-10,0 мм.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

саженцы, капельное орошение, влажность почвы, питомники, жимолость, облепиха

Water-saving techniques for growing horticultural seedlings in a pediculture

ABSTRACT

Relevance. To obtain high-quality planting material in West Siberia, it is impossible to create a favorable soil moisture regime without irrigation. Drip irrigation combined with mulching is an advanced technology that reduces water consumption and dampens acute fluctuations of moisture content and temperature in the upper soil layers. The research goal was to evaluate the effectiveness of moisture conservation when using various mulching and covering materials during completing of growing orchard crop seedlings in a nursery.

Materials and Methods. The research was carried out in 2025 at the site of the Experimental Production Division of the Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnologies, in the Department of the Lisavenko Siberian Research Institute of Gardening, in the forest-steppe zone of the Altai Region. The experiments on completing of growing seedlings of honeysuckle (Berel variety) and sea buckthorn (Zhemchuzhnita variety) in the nursery included the following variants: control; 3-4 cm thick straw layer; 3-4 cm thick sawdust layer; black spunbond; white spunbond. The number of registration plants in one plot was 30 (450 plants in the experiment). The soils of the experimental site were meadow-chnozem soils; the moisture content was maintained at a level of 70% of the minimum field moisture capacity and above. The studies were carried out according generally accepted methods for determination and evaluation of the water-physical soil properties.

Results. Organic mulching materials (straw and sawdust) as well as black spunbond turned out to be the most effective in terms of moisture conservation. In the one-meter soil layer of the nursery for growing sea buckthorn and honeysuckle seedlings against the background of drip irrigation, the average increase in total moisture storage per season was as following: 20.8-30.1 mm under black spunbond; 18.6-28.5 mm when mulching with straw; 17.7-22.3 mm in the sawdust variant; 8.2-23.9 mm when using white spunbond.

In the upper fifty-centimeter root layer of drip irrigation plots used for growing orchard seedlings in a nursery, mulching with straw creates additional productive moisture storage of 11.6-13.3 mm, sawdust - 8.8-13.3 mm, black spunbond - 5.3-11.8 mm, and white spunbond - 3.8-10.0 mm.

KEYWORDS:

seedlings, drip irrigation, soil moisture, nurseries, honeysuckle, sea buckthorn

Введение

Облепиха и жимолость являются наиболее востребованными культурами в сибирском садоводстве, занимая с каждым годом все большие площади. Размножают эти культуры различными способами, но наиболее прогрессивным в настоящее время является зеленое черенкование. Технология зеленого черенкования состоит из нескольких основных производственных этапов, в том числе доращивание укорененных черенков до стандартных саженцев в питомниках. В системе питомниководческих мероприятий, направленных на повышение выхода стандартных саженцев открытого грунта в засушливых районах, первостепенное значение имеет бесперебойное обеспечение растений достаточным количеством доступной влаги [1].

В условиях Западной Сибири распределение осадков на протяжении вегетации весьма неравномерно, поэтому даже в относительно влажные годы отмечаются продолжительные засухи. Для производства конкурентоспособной продукции садоводства без орошения нельзя создать благоприятный режим почвенного увлажнения. В этой связи необходимость оросительных мелиораций на участках питомника при доращивании саженцев в условиях недостатка влаги в корнеобитаемом слое почвы очевидна.

Капельное орошение в настоящее время является одним из интенсивно развивающихся способов орошения [2-5]. Достоинства капельного орошения в садоводстве далеко не исчерпаны, но вместе с тем имеющиеся недостатки оросительных мероприятий пока имеют место быть, а известные разработки их компоновочно-конструктивных решений и расчетов нуждаются в совершенствовании [6]. Проведение экспериментальных исследований с целью изучения эффективности систем капельного орошения имеет большое значение для мелиоративной науки и практики [7].

Изучение основных подходов и практик орошения земель показывает, что лучшей системой орошения признано

капельное орошение в сочетании с технологией мульчирования благодаря уменьшению расхода воды, препятствию образования почвенной корки, демпфированию резких колебаний влажности и температуры верхних слоев почвы, уменьшению вымывания питательных элементов за пределы корнеобитаемого горизонта, повышению продуктивности и качеству выращиваемых культур, а также сохранению экологического баланса [8-12].

Применение мульчирования потенциально может сохранить влагу в почве, снизить поражение заболеваниями, а также подавить популяцию сорняков. Таким образом, правильное и своевременное применение данного приема может компенсировать потребность во влаге в критический период [13-15]. Применение органических и полимерных мульчирующих материалов в садоводстве является востребованным поскольку решается целый ряд вопросов, среди которых основными являются подавление сорняков и экономия ручного труда на прополках, сохранение влаги в почве и улучшение температурного режима [16-19].

В связи с этим, цель исследования – оценить эффективность влагосбережения при использовании различных мульчирующих и укрывных материалов в период доращивания саженцев садовых культур в питомнике.

Методика, условия проведения и объекты исследования

Исследования проведены в 2025 году на участке экспериментально-производственного отделения ФГБНУ ФАНЦА в отделе НИИСС имени М.А. Лисавенко, в лесостепной зоне Алтайского края.

Объекты исследований

Опыты по исследованию эффективности влагосбережения за счет укрывных и мульчирующих материалов в период доращивания саженцев облепихи и жимолости в питомнике



Рис. 1. Питомник облепихи с мульчирующими материалами: а) соломой и опилками б) черным и белым спанбондом
Fig. 1. Sea buckthorn nursery with mulching materials: a) straw and sawdust; b) black and white spunbond

на фоне капельного орошения включали следующие варианты: контроль (без мульчирующих материалов); солома слоем 3-4 см; опилки древесные мелкие (слой 3-4 см); спанбонд черный плотностью 60 г/м² (нетканый материал); белый спанбонд плотностью 30 г/м² (рис. 1).

Мульчирование вариантов опыта выполняли после монтажа системы капельного орошения, которая состояла из стандартных капельных линий с диаметром трубки 16 мм и расстоянием между капельницами 20 см с нормой вылива воды 1,6 л/час. В качестве магистральных трубопроводов использовали гибкие армированные рукава «LayFlat» диаметром 100 мм.

Почвы опытного участка – лугово-черноземные, средне-суглинистые мелкопесчаные. Увлажнение поддерживалось на уровне от 70% НВ и выше. За сезон проведено 9 поливов: 7 мая (посадочный полив), 17 мая, 30 мая, 16 июня, 27 июня, 13 июля, 20 июля, 2 и 14 августа поливной нормой 250 м³/га. Даты поливов приняты с учетом складывающегося дефицита влажности почвы и атмосферного увлажнения.

Укоренённые черенки жимолости сорта Берель и облепихи сорта Жемчужница после выкопки осенью из теплицы весной (начало мая) высаживали на доращивание в поле питомника по схеме посадки 0,7×0,2 м (7,1 шт./м²). Количество учетных растений в одной делянке 30 шт. (90 растений в повторности, 450 шт. в опыте). Опыт проводили в трехкратной повторности. Размещение вариантов в опыте систематическое.

Отбор проб почвы производили по 10-сантиметровым слоям в трёх повторностях до глубины 1 м. Усредненные значения влажности почвы устанавливали в течение вегетационного периода термостатно-весовым методом с высушиванием в сушильном шкафу при температуре + 105°С до постоянной массы. Влажность, плотность сложения почвы и влажность завядания определяли согласно РД 52.33.219-2022 «Руководство по определению агрогидрологических свойств почвы» [20]. Общий запас влаги рассчитывали послойно с последующим суммированием для слоев 1 м и 50 см по стандартной формуле. Продуктивный запас влаги определяли как разность между общим запасом и запасами

недоступной влаги, которые установлены с учетом влажности завядания для данного слоя. Оценку влагозапасов выполняли согласно методики Вадюниной А.Ф., Корчагиной З.А. [21]. Статистическую обработку данных проводили в программе Excel (Microsoft Office Professional Plus 2024) с использованием стандартного пакета анализа данных.

Результаты исследований

В вегетационный период 2025 года для саженцев жимолости и облепихи сложились довольно благоприятные метеорологические условия. Основные их показатели представлены на рис. 2 и 3 (данные метеопункта отдела «НИИСС» ФГБНУ ФАНЦА).

В целом температура воздуха в вегетационный период 2025 года была на уровне среднемноголетних показателей за исключением начала и середины июня. В начале мая стояла жаркая погода, среднедекадная температура оказалась выше нормы на 1,9°С, середина мая была в пределах многолетних значений, а третья декада на 1,1°С прохладней. Июнь выдался жарким: в первой декаде средняя температура на 4,3°С, во второй на 3,3°С, а в третьей декаде на 0,2°С выше среднемноголетних значений. В начале июля температура превышала норму на 1,7°С, середина и конец июля оказались на 0,4 и 2,8°С прохладней нормы. Первая декада август была на 3,6°С прохладней, чем в среднем, середина и конец месяца оказались близкими к норме. Сентябрь также характеризовался температурными значениями приближенными к среднемноголетним, а в третьей декаде температура воздуха превышала норму на 3,5°С.

За вегетационный период 2025 г. наблюдалось резкое отличие среднемесячных сумм осадков от среднемноголетних значений. Так, сумма осадков в мае 2025 года составила 35 мм, что на 7 мм ниже среднемноголетней. Причем осадки распределялись неравномерно: первая декада – без осадков, во второй выпало 10 мм, а в третьей – 24,8 мм. В июне этот показатель – 69 мм, что в 1,5 раза больше многолетней суммы осадков, причем больше всего выпало осадков в первой декаде июня – почти 50 мм. Июль оказался по количеству осадков на 9 мм ниже нормы, однако стоит отме-

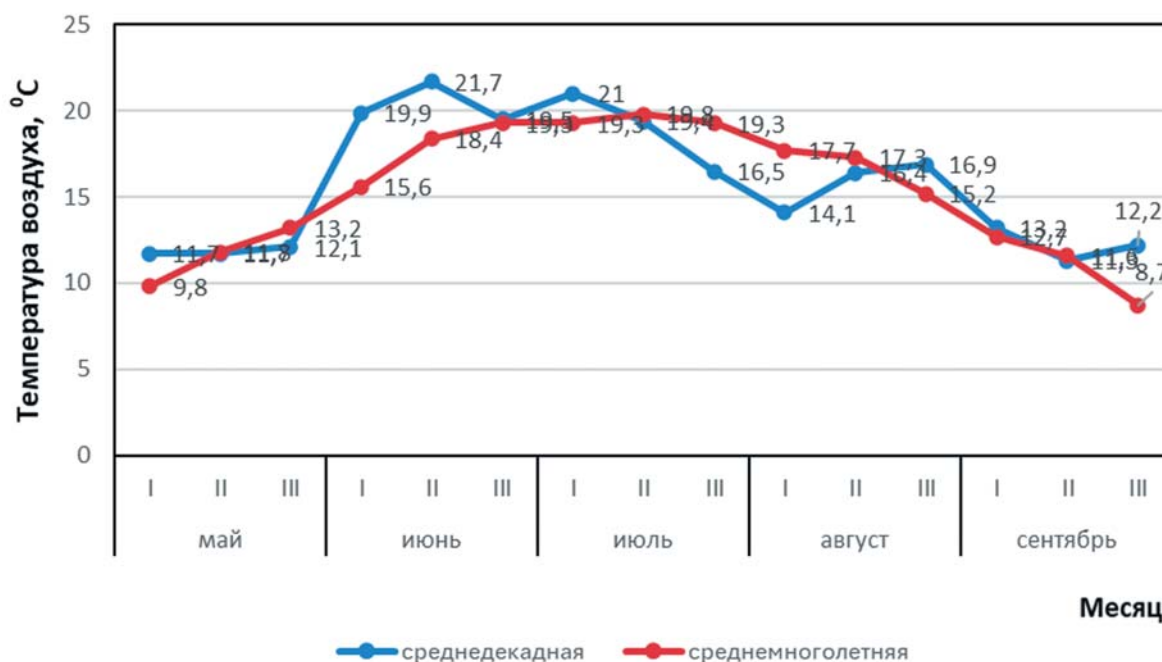


Рис. 2. Температура воздуха в течение вегетационного периода 2025 года
Fig. 2 Air temperature during the growing season of 2025

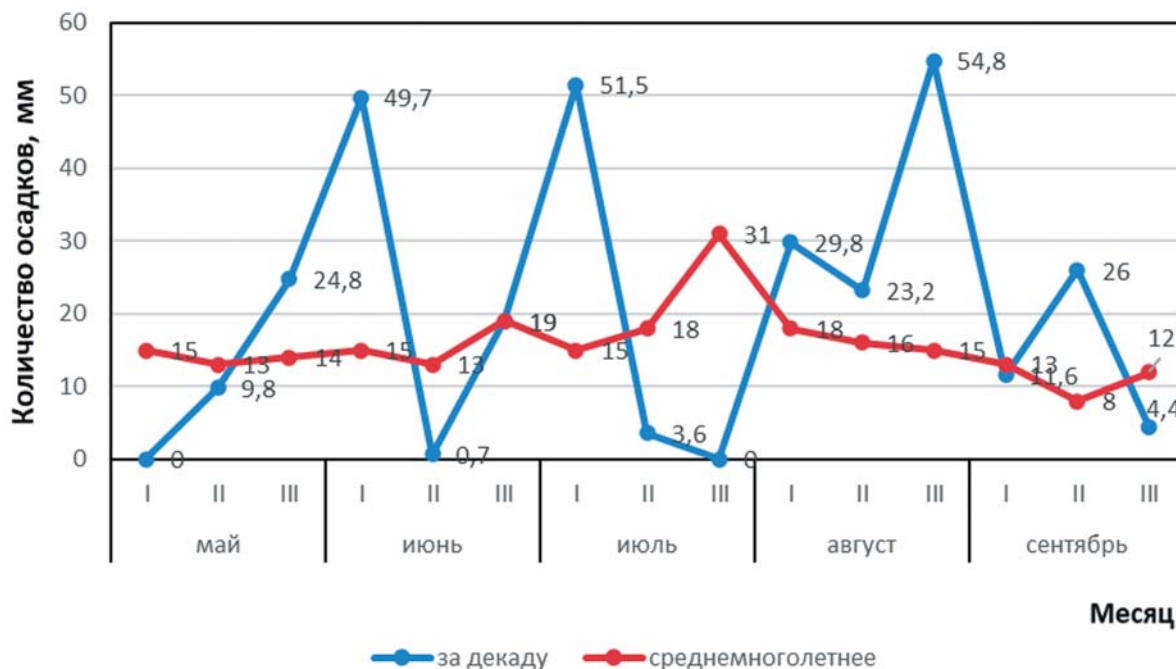


Рис. 3. Количество осадков за вегетационный период 2025 года
 Fig. 3. Precipitation for the growing season of 2025

тить значительное выпадение осадков в первой декаде – 51,5 мм. Август выдался дождливым (108 мм), осадков выпало в 2,2 раза больше нормы, причем в третьей декаде выпало почти 55 мм осадков, что больше нормы в 3,6 раза. В сентябре количество осадков было на 9 мм выше нормы. Количество осадков за период с мая по сентябрь 2025 г. составило 309 мм, при норме за это время 235 мм.

В целом, вегетационный период 2025 года оказался с увлажнением выше среднегодовое значений (ГТК=1,25), однако выпадавшие осадки за исключением августа носили дробный характер и не восполняли влагозапасы в почве.

Черноземные почвы относятся к высокоувлажним с запасом общей влаги при наименьшей влагоемкости - 270-320 мм [22]. Лугово-черноземная почва опытного поля при наименьшей влагоемкости (НВ) имеет влагозапас 296 мм, а

при влажности разрыва капиллярных связей (ВРК), соответствующей верхней границе диапазона недостаточного увлажнения, принятую для суглинистой почвы 70% от НВ и равную 207 мм для метрового слоя почвы.

В таблице 1 представлены общие запасы влаги в метровом слое почвы под облепиховыми насаждениями в период дорацивания на участках капельного орошения в питомнике. По всем вариантам опыта с использованием мульчирующих материалов общие влагозапасы за период вегетации 2025 года не опускались ниже принятой нижней границы увлажнения (0,7 НВ). При этом в зависимости от температурно-влажностных условий, которые складывались при дорацивании саженцев облепихи, проводимых поливов, а также используемых для мульчирования материалов наблюдались некоторые различия по формированию общих влагозапасов почвы.

Таблица 1. Динамика общих запасов влаги в метровом слое почвы (со средним отклонением) под облепиховыми насаждениями в питомнике (в числителе – ряд, в знаменателе – междурядье), мм
 Table 1. Dynamics of total moisture storage in a meter-thick soil layer (with an average deviation) under sea buckthorn plantations in the nursery (numerator – row, denominator – row spacing), mm

Вариант мульчирования	Дата							
	24 мая	7 июня	22 июня	4 июля	19 июля	5 августа	20 августа	14 сентября
контроль	259±3 262±4	256±5 251±4	288±2 287±2	268±2 267±1	264±2 261±2	249±3 247±3	233±2 240±3	283±2 290±6
солома	281±3 280±3	290±4 297±3	311±3 302±4	289±3 291±2	293±5 295±3	281±4 274±2	281±3 279±4	309±5 305±1
опилки	280±6 275±2	284±2 272±2	307±4 306±2	271±3 272±5	279±2 278±2	258±1 260±3	284±1 259±2	304±3 303±3
спанбонд черный	277±4 277±3	298±5 297±5	302±5 306±2	277±1 278±2	280±2 281±0	265±2 263±2	283±5 258±2	298±1 297±2
спанбонд белый	276±3 280±1	281±4 273±1	291±5 291±2	266±4 272±1	269±2 266±4	256±2 243±5	243±3 240±1	296±4 291±3

В конце мая 2025 года максимальной эффективностью по сохранению влаги отмечен вариант мульчирования соломой (на 22 мм в ряду и на 18 мм в междурядье больше, чем на контроле без мульчирования). Варианты с опилками, черным и белым спанбондом также лучше сохраняли почвенную влагу: в ряду на 21, 18 и 17 мм соответственно, и на 13, 15, 18 мм в междурядье. Измерения, проведенные 7 июня, показали, что больше всего запас почвенной влаги сформировался при мульчировании черным спанбондом (в ряду на 42 мм, а в междурядье на 46 мм значения выше контроля). Мульчирование почвы соломой увеличивало общие влагозапасы в метровом слое на 34 мм в ряду и на 46 мм в междурядье, на 21-28 мм увеличивались влагозапасы за счет мульчирования белым спанбондом и опилками.

22 июня накануне измерений выпали осадки, поэтому общие запасы влаги в метровом слое почвы с учетом проведенного 16 июня полива нормой 250 м³/га оказались высокими на всех вариантах опыта, даже превышая влагозапасы при наименьшей влагоемкости. Органическая мульча в этих условиях способствовала лучшему сохранению влаги (на 23 мм в ряду под соломой и на 19 мм под опилками превышая контроль), под черным спанбондом влагозапасы превышали контроль на 14 мм в ряду и на 19 мм в междурядье. Вариант мульчирования белым спанбондом был сопоставим по влагозапасам с контролем.

В июле по запасам влаги в метровом слое отмечен вариант мульчирования соломой. Так, дополнительные запасы воды составили в ряду – 21 мм (4 июля), 29 мм (19 июля); в междурядье растений – 24 мм (4 июля), 34 мм (19 июля). Стоит выделить вариант мульчирования черным спанбондом, 19 июля влагозапасы в почве превышали значения контроля на 16 мм в ряду и на 20 мм в междурядье.

В августе влагозапасы уменьшились до 240 мм на контроле в связи с сокращением частоты поливов на фоне достаточного естественного увлажнения почвы. Вместе с тем, при сокращении почвенных влагозапа-

сов положительное влияние мульчирующих материалов усилилось. Выделяется вариант мульчирования соломой. Так, 5 августа дополнительные влагозапасы составили 32 мм в ряду растений, в междурядье – 27 мм, а 20 августа – 48 мм в ряду, 39 мм в междурядье. Опилки и черный спанбонд также показали высокую степень эффективности по сохранению почвенных влагозапасов. 20 августа превышение влагозапасов в сравнении с контролем составило: опилки – 51 мм в ряду, 19 мм в междурядье; черный спанбонд – 50 мм в ряду растений, 18 мм – в междурядье.

Третья декада августа и начало сентябрь были дождливыми, орошение не проводилось. Мульчирующие материалы оказали влагосберегающее влияние за счет сокращения испарения с поверхности почвы. Мульчирование соломой увеличило влагозапас на 15-26 мм, опилками: на 20-21 мм, черным спанбондом: на 7-15 мм.

Наиболее важное значение для растений имеют запасы воды в верхнем слое почвы, занятом корневой системой. В связи с этим в табл. 2 представлены общие запасы воды в слое 0-50 см, которые являются наиболее доступными для растений, и сформированы под мульчированными посадками облепихи в питомнике.

Влагозапас, соответствующий наименьшей влагоемкости в слое 0-50 см лугово-черноземной почвы, соответствует 156 мм, а при влажности разрыва капилляров – 110 мм. Эти 46 мм влаги в диапазоне ВРК-НВ являются легкоподвижными и легкодоступными для растений, поэтому так важны для произрастания садовых культур.

Как следует из данных, приведенных в таблице, закономерности, отмеченные по влагозапасам в метровом слое, имеют место и в полуметровой толще. Однако дополнительное сохранение влаги несколько ниже. Так, в мае при мульчировании органическими материалами дополнительные влагозапасы составляли в ряду растений 10-12 мм, в междурядье 2-6 мм, под полимерными материалами (спанбондом) 7 мм в

Таблица 2. Динамика общих запасов влаги в слое почвы 0-50 мм (со средним отклонением) под облепиховыми насаждениями в питомнике (в числителе – ряд, в знаменателе – междурядье), мм
Table 2. Dynamics of total moisture storage, in the soil layer of 0-50 mm

(with an average deviation) under sea buckthorn plantations in the nursery (numerator – row, denominator – row spacing), mm

Вариант мульчирования	Дата							
	24 мая	7 июня	22 июня	4 июля	19 июля	5 августа	20 августа	14 сентября
контроль	137±2 140±2	141±4 136±3	159±1 157±2	141±1 140±0	139±1 136±2	130±1 128±2	118±1 124±3	153±2 160±5
солома	147±1 146±2	154±3 162±2	167±2 158±3	147±2 149±1	155±4 156±2	151±3 143±2	154±2 150±3	159±4 155±2
опилки	149±4 142±2	160±1 149±1	165±1 163±2	141±3 141±4	146±2 145±1	135±0 137±2	153±2 140±0	159±2 157±1
спанбонд черный	144±3 144±1	155±3 155±4	158±4 156±2	138±0 140±1	140±2 141±0	132±1 130±2	154±4 135±2	153±0 152±2
спанбонд белый	144±2 147±0	157±2 148±1	158±3 157±1	137±3 143±1	137±1 139±3	137±2 124±3	135±2 132±1	154±3 149±1

ряду и междурядье. В начале июня на всех вариантах мульчирования влажность почвы в верхней части профиля соответствовала или даже превышала значения наименьшей влагоемкости (≥ 156 мм). По сравнению с вариантом без укрытия почвы влагозапас был выше на 13-19 мм в ряду и на 12-26 мм в междурядье.

В период, когда на контроле влагозапас достигал уровня наименьшей влагоемкости почвы (22 июня), только под органической мульчей удавалось увеличить влагозапас на 6-8 мм. При последующем уменьшении общих влагозапасов на 20-30 мм вновь проявлялось водосберегающее действие мульчирующих материалов. Если 4 июля по дополнительным влагозапасам отмечен только вариант мульчирования соломой (прибавка на 6-9 мм), то 19 июля мульчирование опилками обеспечило повышение влагозаписа на 7-9 мм, черным спанбондом - 1-5 мм. В августе влагозапас верхнего пятидесятисантиметрового слоя почвы на контроле уменьшился, и при этом усилилось водосберегающее действие прежде всего органических мульчирующих материалов. Солома обеспечивала сохранение 21-36 мм влаги в ряду, а в междурядье – 15-26 мм; опилки: 5-35 мм в ряду и 9-16 мм в междурядье. Черный спанбонд задерживал в рядах растений до 36 мм влаги, в междурядьях – до 11 мм. В середине сентября при увлажнении почвы на контроле до уровня НВ, повышение общего влагозаписа в рядах растений отмечено только при мульчировании органическими материалами.

Как показывают результаты использования органических и полимерных мульчирующих материалов в питомнике жимолости (табл. 3) за счет них в конце мая удалось дополнительно удержать под опилками 22 мм влаги в ряду растений и 17 мм в междурядье; под соломой 21 мм в ряду, 11 мм в междурядье, черный спанбонд обеспечивал сохранение в ряду 17 мм влаги, в междурядье – 11 мм, белый спанбонд: 10 и 11 мм соответственно. 7 июня в контроле без укрытия почвы влагозапасы в среднем по профилю метровой толщи

почвы составили 0,86 от наименьшей влагоемкости, а в варианте с использованием черного спанбонда – 0,95 от НВ, создавая дополнительный влагозапас 26 мм. В конце июня максимальные значения по влагозапасу почвы в метровом слое отмечены на вариантах мульчирования: черным спанбондом – на 33 мм больше, чем в контроле в ряду, на 32 мм в междурядье. На втором месте по влагосбережению оказалась солома: дополнительные 16 мм в ряду и 26 мм в междурядье, на третьем месте – белый спанбонд: 15 мм в ряду и 24 мм в междурядье.

В последующий период наблюдений (июль-август) в почвенном профиле за счет поливов поддерживались необходимые запасы влаги, при этом в даты измерений влажность почвы составляла 235-245 мм, что соответствует 0,79-0,82 от НВ почвы. В этих условиях эффективность влагосбережения мульчирующих материалов оказалась различной. Следует выделить стабильный влагоаккумулирующий эффект черного спанбонда: повышение влагозаписа в ряду на 30-35 мм, в междурядье на 33-37 мм. Белый спанбонд увеличивал влагозапас в метровом слое почвы за этот период на 14-44 мм в ряду, и на 20-49 мм в междурядье. Опилки повышали запасы влаги на 21-34 мм в ряду насаждений, а в междурядьях на 20-38 мм. Мульчирование соломой повышало влагозапас на 9-28 мм в ряду и на 10-33 мм в междурядье.

В середине сентября, когда повысились влагозапасы на контроле до 0,89 от НВ, влияние мульчирования почвы также имело выраженный характер: больше всего создавало дополнительные влагозапасы мульчирование почвы черным спанбондом (38 мм в ряду и междурядье), а также опилками (38 мм в ряду и 36 мм в междурядье). Белый спанбонд и солома удерживали до 23-25 мм в ряду и до 17-35 мм в междурядье.

Как показали результаты определения общих запасов влаги в полуметровом слое почвы под насаждениями жимолости при различных способах мульчирования (табл. 4), общая тенденция с описанными выше

Таблица 3. Динамика общих запасов влаги в метровом слое почвы (со средним отклонением) под насаждениями жимолости в питомнике (в числителе – ряд, в знаменателе – междурядье), мм
Table 3. Dynamics of total moisture storage in a meter-thick soil layer (with an average deviation) under honeysuckle plantations in the nursery (numerator – row, denominator – row spacing), mm

Вариант мульчирования	Дата							
	24 мая	7 июня	22 июня	4 июля	19 июля	5 августа	20 августа	14 сентября
контроль	245±2 246±1	255±1 254±2	268±5 264±4	245±2 242±3	242±1 242±0	235±4 237±3	238±2 231±1	264±2 262±2
солома	266±3 257±4	273±2 274±2	284±3 290±2	254±3 262±3	257±2 252±2	250±4 253±1	266±2 264±1	287±0 279±1
опилки	267±2 263±4	257±2 257±1	275±3 276±5	273±3 265±2	263±2 268±2	265±2 257±2	272±4 269±1	302±6 298±3
спанбонд черный	262±1 258±6	281±6 281±4	301±6 296±4	280±3 275±1	277±3 279±4	267±4 261±1	268±3 264±1	302±2 300±6
спанбонд белый	255±3 257±4	273±3 277±2	283±2 288±2	272±2 263±6	286±4 291±2	256±2 257±2	252±2 255±2	290±1 297±3

Таблица 4. Динамика общих запасов влаги в слое почвы 0-50 см (со средним отклонением) под насаждениями жимолости в питомнике (в числителе – ряд, в знаменателе – междурядье), мм
 Table 4. Dynamics of total moisture storage, in the soil layer of 0-50 mm (with an average deviation) under honeysuckle plantations in the nursery (numerator – row, denominator – row spacing), mm

Вариант мульчирования	Дата							
	24 мая	7 июня	22 июня	4 июля	19 июля	5 августа	20 августа	14 сентября
контроль	127±2 129±0	141±0 141±2	146±3 142±3	131±2 128±1	129±0 129±0	126±3 128±2	132±2 125±0	152±1 150±1
солома	146±2 136±4	151±3 152±2	155±2 160±1	137±3 144±2	141±2 135±1	141±3 143±0	146±2 145±0	157±0 150±1
опилки	142±2 138±1	140±2 144±4	153±3 153±4	148±2 139±1	146±2 151±0	150±2 141±1	150±3 148±0	165±5 161±3
спанбонд черный	138±0 134±5	151±4 152±3	160±5 154±4	145±2 140±0	145±3 145±3	140±4 134±1	149±3 145±1	157±3 155±4
спанбонд белый	135±2 137±4	146±2 151±1	152±2 157±0	146±2 137±4	138±3 143±1	135±1 136±1	139±2 141±0	155±0 163±2

закономерностям сохранилась. В конце мая наибольший эффект по дополнительному водоудержанию в почве показало мульчирование соломой (повышение влагозапаса на 19 мм в ряду и на 7 мм в междурядье). В начале июня больше всего запасы влаги в слое почвы 0-50 см оказались при мульчировании черным спанбондом и соломой (на 10-11 мм выше, чем на контроле). В конце июня черный спанбонд сохранял дополнительно 12-14 мм влаги. Мульчирование соломой повышало влагозапас на 9 мм в ряду и на 18 мм в междурядье, опилки добавляли 7-11 мм влаги, белый спанбонд 6-15 мм.

В июле и августе по влагозапасам следует отметить варианты мульчирования черным спанбондом, который создавал дополнительный влагозапас в ряду

насаждений 14-17 мм, в междурядьях 12-20 мм. Мульчирование опилками прибавляло в ряду 17-24 мм, в междурядье 11-23 мм влаги. Солома создавала прибавку влагозапаса на 6-15 мм в ряду насаждений, а в междурядьях – 6-20 мм. В середине сентября по влагозапасам следует отметить вариант мульчирования опилками, которые добавляли 11-13 мм запаса влаги.

Продуктивный запас влаги в метровом слое почвы является интегральным показателем, включающим осадки, сток, просачивание и испарение, характеризующим физически и биологически значимые данные о ресурсах влаги, находящихся в распоряжении растений [23].

На рис. 4 представлены продуктивные запасы влаги под облепиховыми насаждениями в метровом слое почвы при различных вариантах мульчирования.

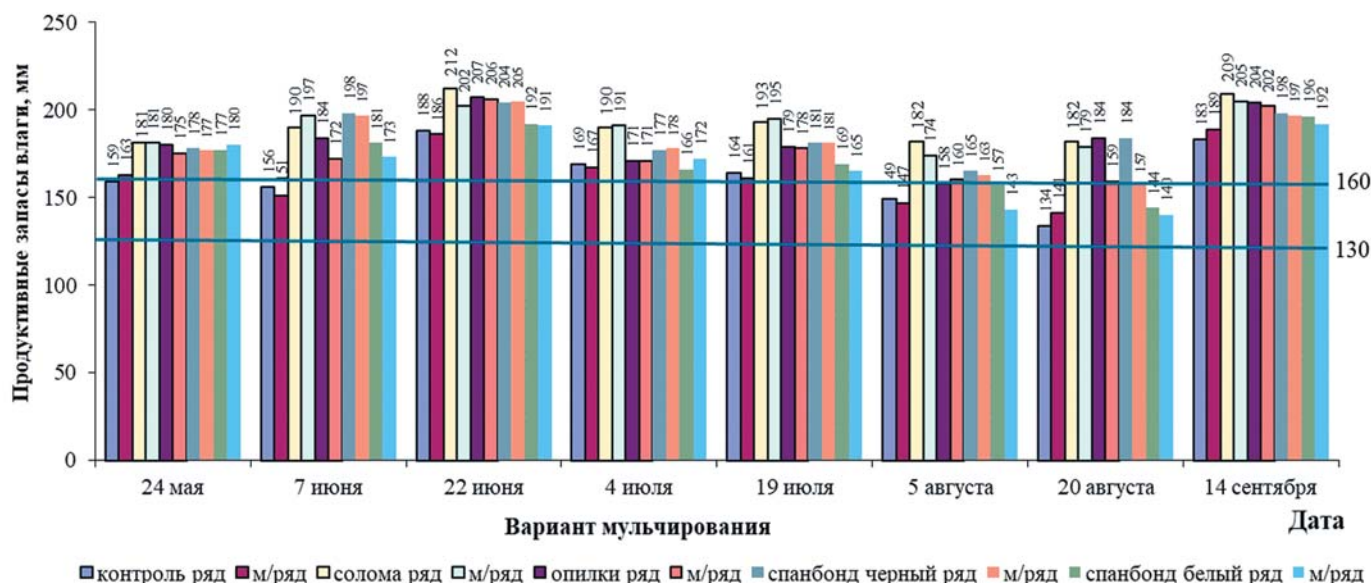


Рис. 4. Продуктивные влагозапасы в метровом слое почвы под облепиховыми насаждениями, мм
 Fig. 4. Available moisture storage in a meter layer of soil under sea buckthorn plantations, mm

Таблица 5. Динамика продуктивных запасов воды в слое почвы 0-50 см под облепиховыми посадками в питомнике (в числителе – ряд, в знаменателе – междурядье), мм
 Table 5. Dynamics of available moisture storage in the 0-50 cm layer under sea buckthorn plantations in the nursery (numerator – row, denominator – row spacing), mm

Вариант мульчирования	Дата							
	24 мая	7 июня	22 июня	4 июля	19 июля	5 августа	20 августа	14 сентября
контроль	85 89	88 83	107 105	90 87	87 84	78 76	67 72	101 107
солома	95 94	102 109	116 105	95 96	103 104	99 91	103 98	106 102
опилки	97 90	108 96	112 111	89 89	95 93	83 85	101 88	106 104
спанбонд черный	92 92	103 102	106 103	86 87	88 88	80 78	103 82	101 99
спанбонд белый	93 95	105 96	106 105	85 91	85 86	86 71	84 80	102 97

Продуктивные влагозапасы согласно их оценке в метровом слое почвы характеризуются по А.Ф. Вадюниной как «очень хорошие», т.е. превышают 160 мм в течение всего периода вегетации за исключением варианта на контроле (без мульчирования) 7 июня, 5 и 20 августа, а также с белым спанбондом 20 августа. При этом прибавка величины продуктивной влаги больше всего оказалась при мульчировании почвы соломой: 24 мая в среднем по варианту – 20 мм; 7 июня – 39 мм; 22 июня – 20 мм; 4 июля – 22 мм; 19 июля – 31 мм; 5 августа – 30 мм; 20 августа – 43 мм; 14 сентября – 21 мм. В среднем за вегетацию дополнительные продуктивные влагозапасы при мульчировании почвы соломой составили 28,5 мм. Также следует выделить вариант мульчирования черным спанбондом. В среднем между влагозапасами в ряду и между-рядье облепихи увеличение продуктивной влаги в

почве составило: 24 мая – 17 мм; 7 июня – 44 мм; 22 июня – 18 мм; 4 июля – 10 мм; 19 июля – 19 мм; 5 августа – 16 мм; 20 августа – 33 мм; 14 сентября – 12 мм. За вегетацию прибавка продуктивных влагозапасов в метровом слое почвы составила в среднем 20,8 мм. На третьем месте по влагозапасам оказался вариант мульчирования опилками. Дополнительные продуктивные запасы влаги составили: 24 мая – 17 мм; 7 июня – 25 мм; 22 июня – 20 мм; 4 июля – 3 мм; 19 июля – 16 мм; 5 августа – 11 мм; 20 августа – 34 мм; 14 сентября – 17 мм, в среднем за вегетацию – 17,7 мм. Мульчирование почвы белым спанбондом оказалось менее эффективным, дополнительные продуктивные влагозапасы в среднем за сезон в метровом слое почвы составили 8,2 мм.

В полуметровом слое почвы продуктивные влагозапасы в течение вегетации изменялись в диапазоне от 67 до

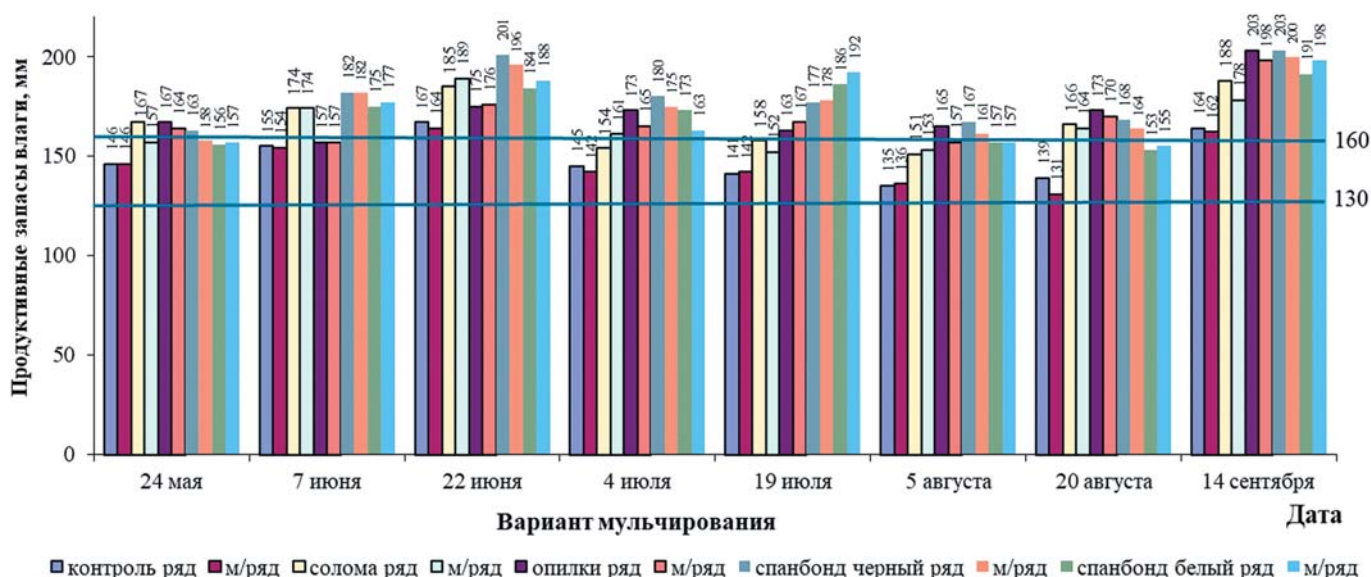


Рис. 5. Продуктивные влагозапасы в метровом слое почвы под насаждениями жимолости, мм
 Fig. 5. Available moisture storage in a meter layer of soil under honeysuckle plantations, mm

Таблица 6. Динамика продуктивных запасов воды в слое почвы 0-50 под насаждениями жимолости (в числителе – ряд, в знаменателе – междурядье), мм
 Table 6. Dynamics of available moisture storage in the 0-50 cm layer under honeysuckle plantations (numerator – row, denominator – row spacing), mm

Вариант мульчирования	Дата							
	24 мая	7 июня	22 июня	4 июля	19 июля	5 августа	20 августа	14 сентября
контроль	76 77	89 89	94 89	79 76	76 77	73 75	80 72	100 98
солома	94 85	99 100	103 108	85 92	89 83	88 91	94 92	106 97
опилки	90 86	88 92	100 101	95 87	93 98	98 89	99 96	113 108
спанбонд черный	86 81	99 99	108 102	93 88	92 92	88 82	97 93	105 103
спанбонд белый	84 84	96 99	101 105	94 85	86 91	83 83	87 89	103 110

107 мм на контроле (табл. 5). При использовании мульчирующих материалов влагозапасы увеличивались до 116 мм. По аккумуляции дополнительных продуктивных запасов влаги в полуметровом слое почвы, как и в метровом, выделялся вариант мульчирования соломой, при котором за период вегетации в среднем прибавка продуктивного влагозапаса достигала 13,3 мм. Опилки в среднем создавали дополнительный влагозапас 8,8 мм, черный спанбонд – 5,3 мм, белый спанбонд – 3,8 мм.

Продуктивные влагозапасы в метровом слое почвы в питомнике жимолости оцениваются как «очень хорошие» по всем вариантам мульчирования за исключением варианта с белым спанбондом 24 мая и 20 августа (рис. 5). На контроле продуктивные влагозапасы находились в интервале 130-160 мм и относились к категории «хорошие».

Самым эффективным вариантом мульчирования почвы в насаждениях жимолости в период их доращивания с точки зрения создания дополнительных влагозапасов в метровом слое оказался черный спанбонд, в среднем за период вегетации прибавка продуктивного влагозапаса составила 30,4 мм (24 мая – 15 мм; 7 июня – 28 мм; 22 июня – 33 мм; 4 июля – 34 мм; 19 июля – 36 мм; 5 августа – 29 мм; 20 августа – 31 мм; 14 сентября – 39 мм). Мульчирование почвы белым спанбондом создавало дополнительно в среднем 24 мм влагозапаса (24 мая – 10 мм; 7 июня – 21 мм; 22 июня – 20 мм; 4 июля – 25 мм; 19 июля – 47 мм; 5 августа – 21 мм; 20 августа – 19 мм; 14 сентября 31 мм). Опилки увеличивали продуктивный влагозапас на 22,6 мм в среднем за сезон, а солома – на 19 мм.

В полуметровом слое почвы по созданию дополнительного влагозапаса (табл. 6) отмечены следующие закономерности: в целом все применяемые для мульчирования материалы повышали продуктивные влагозапасы, однако самыми эффективными оказались опилки (прибавка влагозапаса в среднем 13,3 мм), черный спанбонд (повышение влагозапаса на 11,8 мм), солома (уве-

личение влагозапаса на 11,6 мм). Белый спанбонд дополнительно, в сравнении с контролем, создавал 10 мм продуктивного влагозапаса.

Выводы

1. Положительное действие по влагосбережению за счет органических и полимерных мульчирующих материалов усиливалось при увеличении дефицита влажности почвы в интервале (ВРК-НВ) и достигало в расчете на метровую толщу 30-50 мм дополнительного слоя воды в экспериментах по доращиванию в питомнике саженцев облепихи, и до 39-49 мм при доращивании жимолости.

2. В периоды интенсивного естественного или искусственного увлажнения различия между мульчированной и не мульчированной почвой нивелировались.

3. По влагосохранению наиболее эффективными материалами при мульчировании почвы оказались органические материалы (солома и опилки), а также черный спанбонд.

В метровом слое почвы питомника по выращиванию саженцев облепихи и жимолости на фоне капельного орошения в среднем за сезон прибавка общих влагозапасов составила: 20,8-30,1 мм под черным спанбондом; 18,6-28,5 мм при мульчировании соломой; 17,7-22,3 мм – в варианте с опилками; 8,2-23,9 мм при использовании белого спанбонда. В верхнем пятидесятисантиметровом слое наибольший эффект по сохранению влаги отмечен в среднем за сезон: 11,4-13,4 мм (солома); 8,9-13,3 мм (опилки); 5,5-13,3 мм (черный спанбонд); 3,7-9,7 мм (белый спанбонд).

4. В верхнем 50 см корнеобитаемом слое почвы участков капельного орошения, используемых для выращивания саженцев садовых культур в питомнике, мульчирование соломой создает дополнительно продуктивный влагозапас 11,6-13,3 мм, опилками 8,8-13,3 мм, черным спанбондом – 5,3-11,8 мм, белым спанбондом – 3,8-10,0 мм.

• Литература

1. Курапина Н.В., Никольская О.А. Влияние капельного орошения и удобрений на приживаемость и биометрические показатели саженцев черешни. Плодоводство и ягодоводство России. 2018;(55):226-230. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-55-226-230>
<https://www.elibrary.ru/ywoshr>
2. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны. Мелиорация и водное хозяйство. 2018;(4):9-13. <https://www.elibrary.ru/uuxmlo>
3. Дубенок Н.Н., Майер А.В. Комбинированная гидромелиоративная система для орошения садовых насаждений. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018;1(49):43-51. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-01-43-51>
<https://www.elibrary.ru/ppwreb>
4. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Селиверстов А.М. Особенности водопотребления саженцев жимолости при выращивании в плодовых хозяйствах: обзор. Орошаемое земледелие. 2024;4(47):23-27. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2024-4-3>
<https://www.elibrary.ru/etdsga>
5. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Селиверстов А.М. Применение капельного орошения при выращивании плодовых и ягодных культур в питомнике. Овощи России. 2025;(3):100-105. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-100-105>
<https://www.elibrary.ru/gfkyzс>
6. Шура В.Н., Масный Р.С., Штанько А.С. Системы капельного орошения садов. М.: Росинформагротех, 2023. 300 с.
7. Гиш Р.А., Гикало Г.С. Овощеводство юга России. Краснодар: ЭДВИ, 2012. 632 с. <https://www.elibrary.ru/uievzv>
8. Мещеряков М.П., Бочарников В.С., Якубов В.В. Совершенствование технологии агротехники выращивания сельскохозяйственных культур при водосберегающем орошении. Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: II международная научно-практическая интернет-конференция, с. Солёное Займище, 28 февраля 2017 года. ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия». с. Солёное Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2017. С. 293-299. <https://www.elibrary.ru/zanlrd>
9. Помякшева Л.В. Применение геотекстиля при возделывании земляники садовой с капельным поливом и фертигацией. Генетические основы селекции сельскохозяйственных культур: Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РАН, доктора с.-х. наук, профессора Н.И. Савельева, Мичуринск-Наукоград, 24–26 мая 2017 года. Мичуринск-Наукоград: ООО рекламно-издательская фирма «Кварта», 2017. С. 228-233. <https://www.elibrary.ru/zjhjcul>
10. Овчинников А.С., Бочарников В.С., Мещеряков М.П. и др. Влияние мульчирования как агротехнического приема на динамику контуров увлажнения при внутрипочвенном и капельном орошении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017;1(45):155-161. <https://www.elibrary.ru/yslewz>
11. Мехедов М.А. Мульчирование почвы плёнкой, как операция ресурсосберегающих технологий. Доклады ТСХА, Москва, 06–08 декабря 2018 года. 2019;291(2):438-440. <https://www.elibrary.ru/jbeobd>
12. Домуллоджанов Д.Х. Технологии капельного орошения молодого миндального сада на террасах в предгорных условиях бассейна р. Кызылсу-Южная. Мелиорация и водное хозяйство. 2021;(1):12-15. <https://doi.org/10.32962/0235-2524-2021-1-12-15>
<https://www.elibrary.ru/jthchz>
13. Тарасов П.А., Бакшеева Е.О., Иванов В.А. Исследование влияния мульчирования сплошной вырубкой на температуру почвы. Вестник КрасГАУ. 2015;8(107):75-80. <https://www.elibrary.ru/uhvsgr>
14. Беховых Ю.В. Влияние прикатывания и мульчирования поверхностного слоя почвы на гидротермический режим чернозёма выщелоченного. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018;7(165):35-41. <https://www.elibrary.ru/vkfarl>
15. Бериашвили М.И., Авдеенко С.С. Мульчирование как прием повышения почвенного плодородия. Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: Сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 12–13 февраля 2024 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. С. 16-19. <https://www.elibrary.ru/pbrvww>
16. Дубина А.В., Скорина В.В. Продуктивность земляники садовой в зависимости от сорта и способов полива. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2025;(2):77-80. <https://www.elibrary.ru/vsjcwo>
17. Ожерельев В.Н. Мульчирование междурадий ягодных культур соломой. Современные тенденции развития аграрной науки: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, Брянск, 01–02 декабря 2022 года. Брянский государственный аграрный университет. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2022;(2):190-194. <https://www.elibrary.ru/xqekiу>
18. Мишина М.Н., Алиев Т.Г.Г., Струкова Р.А. Мульчирование в интенсивном саду яблони. Наука и Образование. 2021;4(4):72. <https://www.elibrary.ru/hddhqr>
19. Рыжова М.А., Нелюбова Т.М., Канарский А.А. и др. Качественные показатели саженцев жимолости после доращивания на участке с капельным орошением. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021;6(200):29-33. <https://www.elibrary.ru/bemlqw>
20. РД 52.33.219-2022 Руководство по определению агрогидрологических свойств почвы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2023. 121 с.
21. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
22. Панфилов В.П., Ландина М.М., Чачина Н.Л., Туровинин А.А. Почвенно-физические условия мелиорации в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 88 с.
23. Шишкин А.В., Канарский А.А. Исследование водного режима почв на участках капельного орошения садовых культур. Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 07–08 февраля 2019 года. Книга 1. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2019. С. 423-426. <https://www.elibrary.ru/owmcbq>

• References

1. Kurapina N.V., Nikolskaya O.A. Influence of drip irrigation and fertilizers on the survival rate and biometric indices of cherry seedlings. Fruit

- and Berry Growing in Russia. 2018;(55):226-230.
<https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-55-226-230>
<https://www.elibrary.ru/ywoshr> (In Russ.)
2. Dubenok N.N., Gemonov A.V. Formation of the root system of plum seedlings under drip irrigation and moisture distribution in the soil profile in the Non-Chernozem zone. *Land Reclamation and Water Management*. 2018;(4):9-13. <https://www.elibrary.ru/uyxml0> (In Russ.)
3. Dubenok N.N., Mayer A.V. Combined hydromelioration system for irrigation of garden plantings. *Proceedings of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2018;1(49):43-51.
<https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-01-43-51>
<https://www.elibrary.ru/ppwreb> (In Russ.)
4. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Seliverstov A.M. Features of water consumption of honeysuckle seedlings when grown on fruit farms: an overview. *Irrigated Agriculture*. 2024;4(47):23-27.
<https://doi.org/10.35809/2618-8279-2024-4-3>
<https://www.elibrary.ru/etdsga> (In Russ.)
5. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Seliverstov A.M. The use of drip irrigation in the cultivation of fruit and berry crops in the nursery. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(3):100-105. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-100-105>
<https://www.elibrary.ru/gfkyzc>
6. Shkura V.N., Masnyy R.S., Shtanko A.S. Drip irrigation systems for gardens: scientific and practical publication. Moscow: Rosinformagrotekh, 2023. 300 p. (In Russ.)
7. Gish, R.A., Gikalo G.S. *Vegetable growing in the south of Russia*. Krasnodar: EDVI, 2012. 632 p.
<https://www.elibrary.ru/uiuevz> (In Russ.)
8. Meshcheryakov M.P., Bocharnikov V.S., Yakubov V.V. Improving the agricultural techniques for growing crops under water-saving irrigation. *Current Ecological State of the Natural Environment and Scientific and Practical Aspects of Rational Nature Management: II International Scientific and Practical Online Conference, Solenoe Zaymishche, February 28, 2017. Caspian Research Institute of Arid Agriculture. Solenoe Zaymishche: Caspian Research Institute of Arid Agriculture, 2017. P. 293-299. <https://www.elibrary.ru/zanlrd> (In Russ.)*
9. Pomyaksheva L.V. Application of geotextiles in cultivation of garden strawberries under drip irrigation and fertigation. *Genetic Bases of Crop Breeding: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Memory of Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor N.I. Savelyev, Michurinsk-Naukograd, May 24–26, 2017. Michurinsk-Naukograd: OOO RIF Kvarta, 2017. P. 228–233. <https://www.elibrary.ru/zhjcul> (In Russ.)*
10. Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P. et al. The influence of mulching as an agrotechnical technique on the dynamics of moisture contours under subsurface and drip irrigation. *Proceedings of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2017;1(45):155-161.
<https://www.elibrary.ru/yslewz> (In Russ.)
11. Mekhedov M.A. Mulching the soil with film as an operation of resource-saving technologies. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2019;291(2):438-440.
<https://www.elibrary.ru/jbeobd> (In Russ.)
12. Domullodzhanov D.Kh. Drip irrigation technologies for a young almond orchard on terraces in the foothills of the Kyzylsu-Yuzhnaya River basin. *Land Reclamation and Water Management*. 2021;(1):12-15. <https://doi.org/10.32962/0235-2524-2021-1-12-15>
<https://www.elibrary.ru/jthchz> (In Russ.)
13. Tarasov P.A., Baksheeva E.O., Ivanov V.A. Study of the influence of mulching of clear-cut areas on soil temperature. *Bulletin of KSAU*. 2015;8(107):75-80. <https://www.elibrary.ru/uhvsgr> (In Russ.)
14. Bekhovykh Yu.V. The influence of rolling and mulching of the surface soil layer on the hydrothermal regime of leached chernozem. *Bulletin of the Altai State Agricultural University*. 2018;7(165):35-41.
<https://www.elibrary.ru/vkfarl> (In Russ.)
15. Beriashvili M.I., Avdeenko S.S. Mulching as a technique for increasing soil fertility. *Resource-Saving Technologies and Technical Means for the Production of Crop and Livestock Products: Proceedings the IX International Scientific and Practical Conference, Penza, February 12–13, 2024. Penza: Penza State Agricultural University, 2024. P. 16–19. <https://www.elibrary.ru/pbrvwu> (In Russ.)*
16. Dubina A.V., Skorina V.V. Productivity of garden strawberries depending on the variety and irrigation methods. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2025;(2):77-80.
<https://www.elibrary.ru/vsjcwo> (In Russ.)
17. Ozherelev V.N. Mulching of inter-row spacing of berry crops with straw. *Modern Trends in the Development of Agricultural Science: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Bryansk, December 1–2, 2022. Bryansk State Agricultural University. Part 2. Bryansk: Bryansk State Agricultural University, 2022;(2):190-194. <https://www.elibrary.ru/xqekiu> (In Russ.)*
18. Mishina M.N., Aliev T.G.G., Strukova R.A. Mulching in an intensive apple orchard. *Science and Education*. 2021;4(4):72.
<https://www.elibrary.ru/hddhqr> (In Russ.)
19. Ryzhova M.A., Nelyubova T.M., Kanarsky A.A. et al. Qualitative indices of honeysuckle seedlings after further growing in a plot under drip irrigation. *Bulletin of the Altai State Agricultural University*. 2021;6(200):29-33. <https://www.elibrary.ru/bemlqw> (In Russ.)
20. RD 52.33.219-2022. Guidelines for Determining Soil Agrohydrological Properties. Obninsk: FGBU VNIIGMI-MTsD, 2023. 121 p. (In Russ.)
21. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Methods of studying the physical properties of soils*. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p. (In Russ.)
22. Panfilov, V.P., Landina M.M., Chashchina N.L., Turovkin A.A. *Soil-physical conditions of land reclamation in West Siberia*. Novosibirsk: Nauka, 1977. 88 p. (In Russ.)
23. Shishkin A.V., Kanarsky A.A. Study of the water regime of soils in areas with drip irrigation of orchard crops. *Agrarian science - for Agriculture: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference*. In 2 books, Barnaul, February 7–8, 2019. Book 1. Barnaul: Altai State Agricultural University, 2019. P. 423-426.
<https://www.elibrary.ru/owmcbq> (In Russ.)

Об авторах:

Александр Викторович Шишкин – кандидат с.-х. наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-2058-5627>,

SPIN-код: 2824-1939, автор для переписки, shishkin8@yandex.ru

Сталина Владимировна Жаркова – доктор с.-х. наук, профессор кафедры,

<https://orcid.org/0000-0001-8410-6715>,

SPIN-код: 3579-4063, stalina_zharkova@mail.ru

About the Authors:

Aleksandr V. Shishkin – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0003-2058-5627>,

SPIN-code: 2824-1939, Corresponding Author, shishkin8@yandex.ru

Stalina V. Zharkova – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department,

<https://orcid.org/0000-0001-8410-6715>,

SPIN-code: 3579-4063, stalina_zharkova@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-110-118
УДК: 631.95:502.5:504.5

А.И. Сафонов¹, Ф.В. Голубев²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Донецкий государственный университет» 283001, Россия, Донецк, ул. Университетская, 24

²ФГБУН «Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук» 119991, Россия, г. Москва, ул. Косыгина, 19

*Авторы для переписки:
andrey_safonov@mail.ru, f.v.golubev@mail.ru

Финансирование. Работа подготовлена в рамках научной темы: «Диагностика и оптимизация белигеративных экотопов Донбасса методами биомониторинга и фиторемедиации». № 1025073000026-6-1.6.19. Работа выполнена в рамках государственного задания Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Вклад авторов: А.И. Сафонов: концептуализация, ресурсы, формальный анализ, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование, администрирование проекта, верификация данных. Ф.В. Голубев: ресурсы, проведение исследования, формальный анализ, курирование данных, создание рукописи и ее редактирование, визуализация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сафонов А.И., Голубев Ф.В. Экологический подход к фиторемедиации в новых условиях антропогенной трансформации ландшафтов Донбасса. *Овощи России*. 2026;(1):110-118. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-110-118>

Поступила в редакцию: 15.09.2025

Принята к печати: 12.11.2025

Опубликована: 16.03.2026

Andrei I. Safonov¹, Fedor V. Golubev²

¹Donetsk State University
24, Universitetskaya St., Donetsk, 283001, Russia

²Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry (GEOKHI) RAS
Kosygin str., 19 Moscow, 119991, Russia

*Corresponding Authors:
andrey_safonov@mail.ru, f.v.golubev@mail.ru

Funding. The work was prepared within the framework of the scientific topic «Diagnostics and optimization of belligerent ecotopes of Donbass using biomonitoring and phytoremediation methods» No 1025073000026-6-1.6.19. The work was carried out within the state assignment of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences (GEOKHI RAS).

Authors' Contributions. Safonov A.I.: conceptualization, resources, formal analysis, investigation, writing – review & editing, project administration, validation. Golubev F.V.: resources, investigation, formal analysis, data curation, writing – review & editing, visualization.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citations: Safonov A.I., Golubev F.V. Ecological approach to phytoremediation in the new conditions of Donbass landscapes anthropogenic transformation. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):110-118. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-110-118>

Received: 15.09.2025

Accepted for publication: 12.11.2025

Published: 16.03.2026

Экологический подход к фиторемедиации в новых условиях антропогенной трансформации ландшафтов Донбасса

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В промышленно напряженном регионе (Донбассе) в результате социально-экономических пертурбаций с 2014 года по настоящее время многие земли выведены из сельскохозяйственного использования, являются бросовыми, деградирующими. Места активных боевых действий формируют бelligеративные ландшафты, которые характеризуются глубокими геофизическими и геохимическими преобразованиями. Эти участки являются очагами токсического воздействия на окружающую среду и нуждаются в целенаправленных мероприятиях по их восстановлению. В реальной практике действенных методов оптимизации природно-территориального комплекса ДНР выделяется фиторемедиационный метод как наиболее эффективный, экономически выгодный и эстетически привлекательный.

Материалы и методы. Изучены экотопы сельскохозяйственного и рекреационного использования в Центральном Донбассе. Проведена полевая диагностика состояния локальных фито- и геосистем. Применен метод морфологического анализа и описания растений, калькуляции в определении жизненных стратегий растений (CSR). Использованы методы аналитического контроля: атомно-абсорбционный, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, нейтронно-активационный.

Результаты. Установлена разница в диапазоне варьирования информативных признаков строения индикаторных растений для использования в фиторемедиационных целях на постконфликтных территориях – местах активных военных действий в Донбассе. Выявлены новые геохимические аномалии на исследованных территориях по ряду технофильных элементов (Mn, P, Zn, Cu, Mo, Ni, Pb, Cr, La, Co, Se, As, Cd). Для видов растений цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg), подорожника большого (*Plantago major* L.), двурядки стеной (*Diplotaxis muralis* (L.) DC.) определены особенности реализации жизненных стратегий в экстремальных условиях (визуализация CSR в треугольнике Грайма-Раменского) и экологической пластичности в местах, пострадавших от милитаризации региона. Выявлены анатомо-морфологические патологии исследуемых видов. Установлено, что экологическая валентность изученных видов позволяет им в первые два-три года обеспечить начальные стадии активного сукцессионного процесса при формировании растительного покрова, выполняющего средообразующие и анти-эрозионные функции. На основании морфопатологий и данных элементного состава растений выделены варианты геохимических аномалий, и описан ряд геохимического фонового значения по элементному составу в растительных объектах. Фосфорно-лантановая аномалия (P-La), как следствие проводимых военных действий в ДНР, описана впервые.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

биодиагностика, экологический мониторинг, фитоиндикация, антропогенная трансформация, восстановление экосистем, микроэлементы, фосфор, лантан

Ecological approach to phytoremediation in the new conditions of Donbass landscapes anthropogenic transformation

ABSTRACT

Relevance. In the industrially tense region (Donbass), as a result of socio-economic upheavals since 2014, many lands have been withdrawn from agricultural use and are now abandoned and degraded. Areas of active military action create belligerent landscapes characterized by profound geophysical and geochemical transformations. These areas are hotbeds of toxic environmental impacts and require targeted restoration measures. Phytoremediation stands out among the most effective methods for optimizing natural-territorial complexes of the DPR as the most effective, economically advantageous and aesthetically attractive.

Materials and Methods. Agricultural and recreational ecotopes in the Central Donbass were studied. A field assessment of the state of local geosystems was conducted. Morphological analysis and description of plants, as well as calculations for determining life strategies (CSR), were applied. Analytical methods (atomic absorption, inductively coupled plasma mass spectrometry, and neutron activation) were used.

Results. A difference in the range of informative structural features variation of some indicator plants for use in phytoremediation purposes in post-conflict areas – sites of active military operations in Donbass – has been established. New geochemical anomalies were identified in post-conflict areas for a number of technophile elements (Mn, P, Zn, Cu, Mo, Ni, Pb, Cr, La, Co, Se, As, Cd). For the plant species *Cichorium intybus* L., *Taraxacum officinale* F.H.Wigg, *Plantago major* L., and *Diplotaxis muralis* (L.) DC., the implementation patterns of life-sustaining strategies (visualization of CSR in the Grime-Ramensky triangle) and ecological plasticity in areas affected by the militarization of the region were determined. Anatomical and morphological pathologies of the studied species were identified. The ecological valence of species allows them to support the initial stages of active succession during the first two to three years, forming a vegetation cover that performs anti-erosion and habitat-forming functions. Based on plant morphopathologies and elemental composition data, geochemical anomalies were identified and a range of geochemical background values for elemental composition in plant samples was described. A phosphorus-lanthanum anomaly (P-La), a consequence of military operations in the DPR, is described for the first time.

KEYWORDS:

biodiagnostics, environmental monitoring, phytointication, anthropogenic transformation, ecosystem restoration, trace elements, phosphorus, lanthanum

Введение

Хозяйственное освоение территории Центрального Донбасса исторически обусловлено добычей и переработкой полезных ископаемых. Высокий уровень металлургического и коксохимического производства наряду с густой сетью урбанизированных территорий и сельскохозяйственных производств в совокупности создали условия глубокой трансформации природных степных экосистем. Их устойчивость по критерию естественных биогеохимических циклов в первую очередь зависит от сформированного растительного покрова, обеспечивающего балансовые процессы в ландшафтных комплексах. Нарушенные в результате интенсивной индустриализации природные экотопы [1] нуждаются в разработке научной программы по их восстановлению [2, 3], обеспечению процессов минимизации эрозии [4] и токсической нагрузки [5, 6], восстановлению биопродуктивных функций в геосистемах [7]. Во многом ситуация актуализируется в связи с затяжным обострением социально-политического конфликта на территории Донбасса [8, 9] и регистрируемыми повсеместно фактами изменения климата [10, 11]. Эколого-ботаническая экспертиза [12] для оценки функционирования биотопов является ключевой [13] и включает в себя разработку рациональных предложений для повышения устойчивости антропогенно нарушенных локалитетов [14].

Цель работы – на примере экотопов аграрного и рекреационного комплексов, испытавших трансформирующее воздействие беллигеративного фактора с 2014 по 2025 г. в Донбассе, оценить их состояние, восстановительный и фиторемедиационный потенциал по индикаторным характеристикам рудеральных видов природной флоры региона.

Материалы и методы

В основу методологического подхода реновационных мероприятий в донецких ландшафтах положены апробиро-

ванные ранее методы маршрутного геоботанического наблюдения, фитоиндикации [15, 16], картографирования и пространственной визуализации неоднородных данных [17, 18]. В качестве аналитического контроля использовали результаты элементного состава ряда технофильных элементов (Mn, P, Zn, Cu, Mo, Ni, Pb, Cr, La, Co, Se, As, Cd) в биопробах, определённых методами ААС на приборах Сатурн-2 и Сатурн-3 и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, учитывая накопленные оригинальные сведения по результатам нейтронно-активационного анализа в фитосубстратах индикационного назначения [19, 20]. Контроль качества аналитических измерений осуществляли с помощью стандартных образцов. Статистический анализ результатов проведён с помощью программы Statistica 12.

Отбор проб осуществляли на учётных площадках. Из природных условий отбирали материалы не более 10% от существующей фитомассы с характерными индикационными характеристиками. Поскольку пробные площадки были заложены в местах разного уровня и характера деградативных процессов на территориях пост- и неоконфликтных ситуаций, характерных и изучаемых для многих участков Донбасса [21-24], то были использованы методы исследования в условиях посттехногенных локальных катастроф и милитаризации [25, 26]. Расчет показателей реализации программы индивидуально-специфического выживания проводили по методикам анализа адаптивных стратегий растений в разных экологических условиях [27, 28] и экстремальных факторах среды [29, 30], и моделирования в условиях неспецифического стресса [31].

Апробация метода учёта CSR стратегий растений в антропогенно трансформированных ландшафтах для ряда видов сорно-рудеральной фракции флоры Северного Приазовья актуальна [32] и представлена в настоящей работе. Применены методические подходы в анализе ботанических характеристик при организации целенаправленной

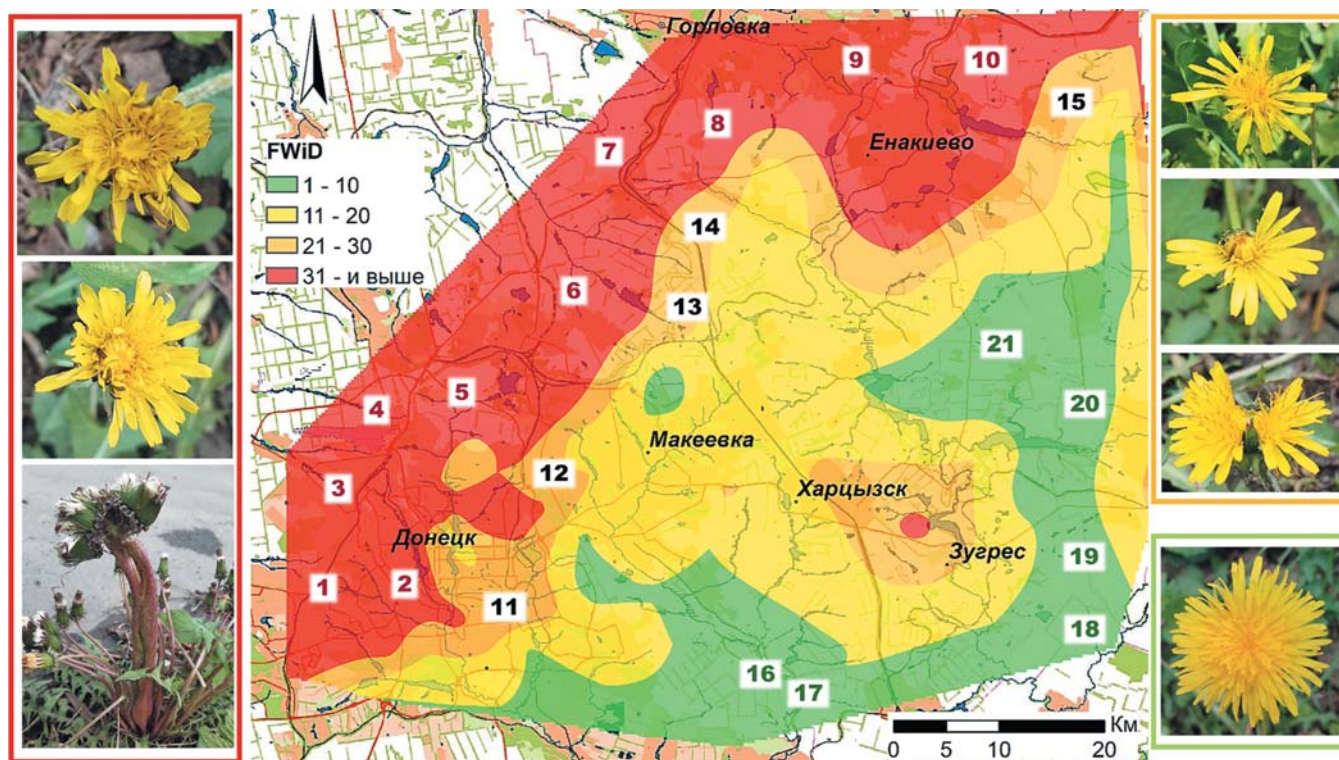


Рис. 1. Картограмма локализации пробных площадок (1-21) в Центральном Донбассе с учётом фактора военных действий, полемостресса (FWID) и состояния индикаторного признака – тератоморфности соцветий *Taraxacum officinale* в норме и патологии

Fig. 1. Map of the survey sites localization (1-21) in the Central Donbass taking into account the factor of military action, polemo-stress (FWID) and the state of the indicator trait - teratomorphism of *Taraxacum officinale* inflorescences in normal and pathological conditions

ремедиации [33-35] в резко изменённых экосистемах. К анализу оценки состояния экотопов Донбасса (для отбора точек сельскохозяйственного назначения) приобщены сведения по 113 учетным стационарам, используемым в качестве постов наблюдений мониторинга за период более 25 лет [17], которые 12 последних лет находятся в состоянии деградации из-за военного конфликта. Из числа всех стационаров для экспериментальной работы выбраны территории, которые по своей принадлежности относятся к местам аграрного и рекреационного использования. Исследования проводили на 21 учётных площадках Центрального Донбасса с разной степенью антропогенной трансформации геосистем (рис.1). В качестве модельных растений использовали рудеральные виды: цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg), подорожник большой (*Plantago major* L.) и двурядку стенную (*Diplotaxis muralis* (L.) DC.).

Результаты и их обсуждение

В результате геоботанических обследований установлено, что техногенные экотопы, а также системы рудеральных и урбанизированных конструкций проходят процесс восстановления по другому сценарию (в отличие от агро- и рекреационных) по спонтанным и контролируемым сукцессиям после резких нарушений со стороны фактора военных событий – полемостресса [18]. Поэтому фиторемедиационные мероприятия и системы буферного возобновления были разделены на отдельные кластеры экспериментальных наблюдений (рис. 1).

Учитывая имеющееся структурно-ботаническое зонирование по фактору патологий от военного стресса [17] на рис. 1 показано 4 диапазона варьирования признака в разной цветовой гамме. Мониторинговые точки 1-10 соответствуют зоне максимальной, 11-15 – умеренной и 16-21 – минимальной трансформации экотопов в результате милитаризационного импакта в ландшафтных системах.

Тератологические проявления в структуре индикаторных видов растений положены в основу demonstra-

ционного примера экспресс-диагностики неблагоприятных факторов нео-антропогенной природы при анализе уровня неспецифического стресса. Наиболее изученным и показательным в этом блоке диагностики является *Taraxacum officinale* (рис. 1). В результате многолетних исследований установлена корреляционная связь между характеристиками тератообразования на разных уровнях организации и локализаций морфологических патологий: архитектоники побегообразования, симметричности габитуса, парных органов (листовой пластинки или цветка с язычковым отгибом венчика и др.), дистопии и элиминации генеративных органов, множественных пролификаций, опущения вегетативных частей растения, строения пыльцы и отдельных конформационных тканей в зародышевом аппарате [16, 32]. На рис. 1 представлены соцветия *Taraxacum officinale*, имеющие разные морфотипические проявления в соответствии с ранжированными диапазонами значений фактора военного возмущения в экосистемах. По разнообразию морфологических особенностей прикорневых розеток индикационного вида *Taraxacum officinale*, обуславливающих качественные сигнальные отличия на макро- и микроуровнях строения растений, выделены 4 фенотипические линии, проявляющиеся в зависимости от особенностей геохимического контраста в местах беллигеративного фактора. На основании макропатологий в растениях и данных их элементного состава описаны 4 варианта геохимических аномалий (табл.) и описан ряд фитогеохимического фонового значения по элементному составу в объектах исследования. Данные о содержании технофильных элементов в фитопробах представлены в таблице. В таблице указаны только существенно меняющиеся численные значения для идентификации отдельных геохимических аномалий с сохранением тенденций, полученных в типичном ряду концентрирования от его большего значения к меньшему. Кроме того, приводится типичный геохимический ряд для сравнительной оценки с установленными нами геохимическими аномалиями (табл.).

Таблица. Варианты геохимических аномалий при анализе фиторемедиационных процессов в Донбассе, разница в элементном составе растительных проб *Taraxacum officinale*
Table. Variants of geochemical anomalies in the analysis of phytoremediation processes in Donbass, the difference in the elemental composition of *Taraxacum officinale* plant samples

Учётные площадки (см. рис. 1)	Геохимическая аномалия, по доминантным загрязнителям	Концентрационный ряд в фитомассе по некоторым технофильным элементам, мг/кг
16, 17, 18, 19, 20, 21	типичный геохимический ряд (81 % исследуемых экотопов Донбасса)	Mn (2100) > P (1600) > Zn (1530) > Cu (194) > Mo (41,4) > Ni (36,1) > Pb (32,7) > Cr (26,9) > La (10,1) > Co (4,5) > Se (4,2) > As (2,8) > Cd (0,87), учётная площадка 21
3, 4, 10, 12	цинково-кобальтово-свинцовая аномалия (Zn-Co-Pb), зона типичного полемостресса	Zn (2800) > Mn > P > Cu > Co (190) > Pb (112) > Mo > Ni > Cr > La > Se > As > Cd, учётная площадка 4
1, 2, 7, 11, 14	медно-никелево-свинцовая аномалия (Cu-Ni-Pb)	Cu (1830) > Mn > P > Zn > Ni (290) > Pb (160) > Mo > Cr > La > Co > As > Se > Cd, учётная площадка 7
5, 6	фосфорно-лантановая аномалия (P-La), уникальный локалитет	P (5950) > Mn > Zn > Cu > La (179) > Mo > Ni > Pb > Cr > Co > Se > As > Cd, учётная площадка 5
8, 9, 13, 15	никелево-кобальтовая аномалия (Ni-Co)	Mn > P > Zn > Ni (628) > Cu > Co (72,3) > Mo > Pb > Cr > La > Se > As > Cd, учётная площадка 9

Учётные площадки 5 и 6 (рис.1), территориально сопряженные с урбанизированными ландшафтами Авдеевки и Ясиноватой, выделены в специфическую геохимическую аномалию с доминированием содержащегося в растениях фосфора (с периода 2022-2025 гг. сборов) и резким повышением содержания редкоземельного элемента лантана. Фосфорно-лантановая геохимическая аномалия, идентифицируемая по высоким концентрациям P ($5950 \pm 32,2$ мг/кг) и La ($179 \pm 5,8$ мг/кг) в растениях-индикаторах, была впервые зарегистрирована с мая 2022 г. В сравнении с региональными фоновыми значениями эти показатели в зоне беллигеративного импакта превышают концентрации P и La в 3,7 и 17,7 раз соответственно. Если сравнивать с нормированными показателями по концентрации фосфора в растениях [36-38], то полученные результаты превышают контрольные значения для экологически благополучных регионов в 22-45 раз, а по лантану [39-42] – в 39-57 раз. Хотя эти элементы не имеют жёсткого нормирования в сельском хозяйстве и в продуктах питания растительного происхождения [36, 38, 41, 42], в целях экологического мониторинга идентифицируемая фито-геохимическая аномалия выполняет сигнальную информационную функцию и свидетельствует о дополнительном факторе воздействия и трансформации исторически сформированных природных ландшафтов. Этот факт рассматривается как опосредованное доказательство использования соединений фосфора и лантана для разных форм осуществления боевых действий. На более ранних этапах обследования этих территорий (до 2022 г.) такие закономерности не были отмечены.

Для контрастного сравнения в полевой диагностике экотопов Донбасса была применена габитуальная оценка фитогеохимических аномалий модельного объекта *Taraxacum officinale* (рис.1). На макроморфологическом

уровне существенную роль играет захват растением территории после резкого нарушения в результате взрывов и образования беллигеративного ландшафта. Эта стратегия захвата пространства (временно освобожденной поверхности почвенного покрова) пионерными особями после нуля-момента (эцезиса) может реализовываться по разным сценариям.

У *Taraxacum officinale* прослеживается максимальная эксплеренция (захват поверхности субстрата, резкое размножение и расселение) как по вегетативной части архитектоники особей (рис. 2), так и анализе генеративного успеха по количеству и качеству семенного материала. По форме листовой пластинки, степени её расчленения, характеру асимметричности и визуальной разнице пигментного состава в полевых условиях сделан вывод о наличии угнетающего фактора (рис.2). В условиях цинково-кобальтово-свинцовой аномалии (Zn-Co-Pb) проявляются признаки ксерофитизации: уменьшается поверхность листового аппарата, редуцируется верхняя доля листа, изменяется пигментный состав в результате проявляющихся антоцианов при разрушении хлорофилла. Подобные физиолого-биохимические реакции реализуются в условиях фосфорно-лантановой геохимической аномалии (P-La), однако локализация наблюдается в периферических участках верхней расширенной доли листовой пластинки при общей гипертрофии розеточной конструкции (рис. 2). При медно-никелево-свинцовой геохимической аномалии (Cu-Ni-Pb), высоких концентрациях меди, никеля и свинца в *Taraxacum officinale* листовая пластинка лишена расчленения, вытянута вдоль основной жилки, уплотнена анастомозная сеть жилкования и опушения. Для никелево-кобальтовой геохимической аномалии (Ni-Co) характерны радикальные преобразования формы листовой пластинки и анатомические изменения, кото-

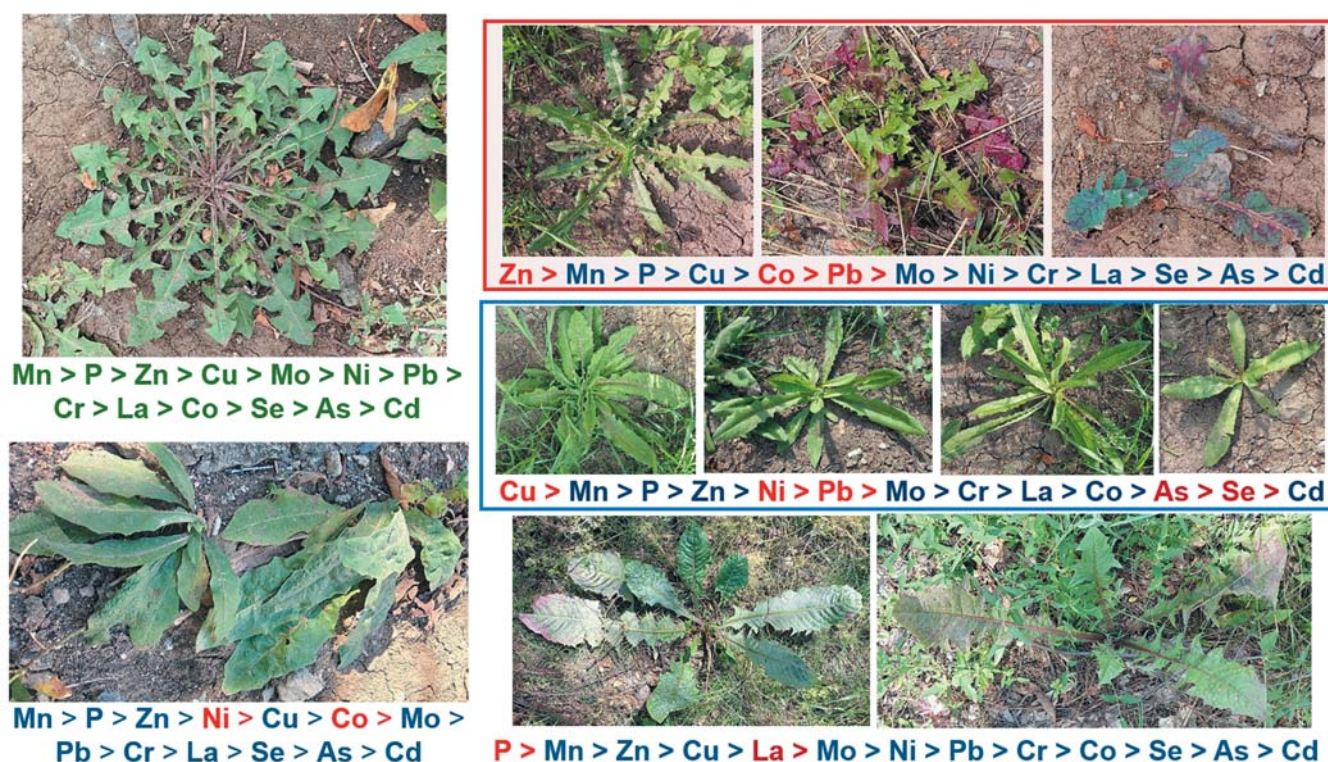


Рис. 2. Архитектоника прикорневой розетки *Taraxacum officinale* в условиях типичного регионального фона и сформированных геохимических аномалий 4-х вариантов
 Fig. 2. Architectonics of the basal rosette of *Taraxacum officinale* under conditions of a typical regional background and formed geochemical anomalies of 4 variants

рые видны при микроскопировании поверхностной ткани листа (эпидермы): околоустьичный аппарат аноцитного типа становится асимметричным, в 40-55% случаев встречаются устьичные аппараты диацитного и парацитного типов, что оценено как патологическое проявление в органогенезе; по морфологии лист перестаёт иметь лопасти, доли и сегменты, край листа становится волнистым (рис. 2), увеличенная ассимиляционная поверхность указывает на обратный ксерофитизации процесс – гипертрофию и мезофитизацию вегетативных органов *Taraxacum officinale*.

Экспресс-диагностика продолжена в условиях камеральной обработки материала, в которой учитывались сведения, необходимые для калькуляции жизненных стратегий в каждом конкретном случае анализа формирования особи, преимущественно по индексу ксерофитизации (по расчету площади, массы листового аппарата до и после высыхания).

При захвате нео-экотопов постконфликтных территорий у вида с широкой экологической амплитудой *Cichorium intybus*, наблюдаются многочисленные проявления структурных патологий, главным образом, скупенность побеговой системы и формирование укороченных междоузлий (рис. 3). При этом, по данным калькулятора CSR, стратегия из области устойчивой рудерализации смещается в категорию стресс-толерантных видов, что в первые годы адаптации отражается на внешнем строении и имеет свои характерные особенности в элементном составе. Общие закономерности накопления токсических элементов в одуванчике и цикории совпадают в диапазоне варьирования в 1,5-4,1%, что можно рассматривать в пределах варьирования стандартной ошибки на 5%-ном доверительном интервале значимости. Ряд концентраций элементов для определения фона (на примере учётной площадки

21) по средним значениям в *Cichorium intybus* составляет следующую последовательность, в мг/кг: Mn (2100) > P (1550) > Zn (1540) > Cu (195) > Mo (41,9) > Ni (35,8) > Pb (32,2) > Cr (27,1) > La (10,2) > Co (4,5) > Se (4,2) > As (2,7) > Cd (0,85).

Есть многочисленные примеры, когда зона поражения после обстрелов не ограничивается только беллигеративными воронками глубинного нарушения, поэтому с помощью индикационных свойств растений сопредельных территорий можно также диагностировать наличие новых локальных геохимических аномалий в том числе без глубинного нарушения почвенного горизонта. Анализ жизненных стратегий *Diplotaxis muralis* (рис. 4) выделяет смещение приоритетов в крайние позиции рудерально-стрессовых условий беллигеративного фактора, что установлено по индексам ксерофитизации и формулам глобального калькулятора CSR.

По габитуальной структуре *Diplotaxis muralis* и архитектонике прямых морфологических отличий как у *Taraxacum officinale*, установлено не было. Индикация фактора стресса реализовалась иначе, – по тератоморфным проявлениям в генеративных органах: цветках, плодах, структуре пыльцевых зерен. Различимы отличия тератообразования при установленных сценариях доминирующих загрязнителей: Zn-Co-Pb – пролификация цветков в средней части соцветия, фасциации плодов, деформации пыльцевых зёрен в экваториальной части; P-La – гипергенезия основания листового аппарата, ретортообразные кроющие трихомы, дистопия цветка; Cu-Ni-Pb – петализация тычинок, пролификация цветка внутри ранее сформированной завязи, нетипичное опушение вдоль главной жилки листа из нитчатых трихом, фасциации частей цветка; Ni-Co – олигомеризация листового аппарата срединной формации, хориза (расщепление) и дистопия в кругах цветка,

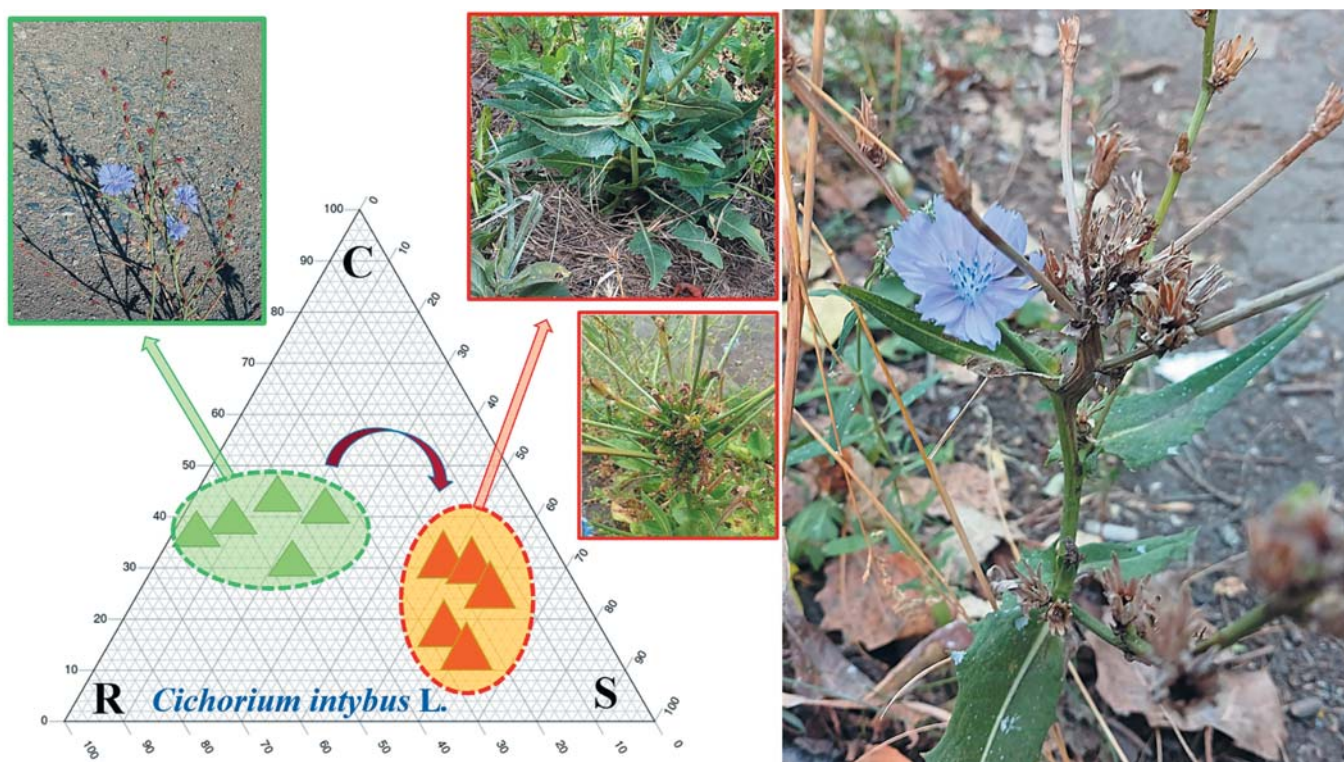


Рис. 3. Смещение способа реализации жизненной стратегии *Cichorium intybus* в условиях беллигеративных экотопов в местах аграрного и рекреационного хозяйственного использования
 Fig. 3. Shift in the mode of implementation of the *Cichorium intybus* life strategy in the conditions of belligerative ecotopes in places of agricultural and recreational economic use

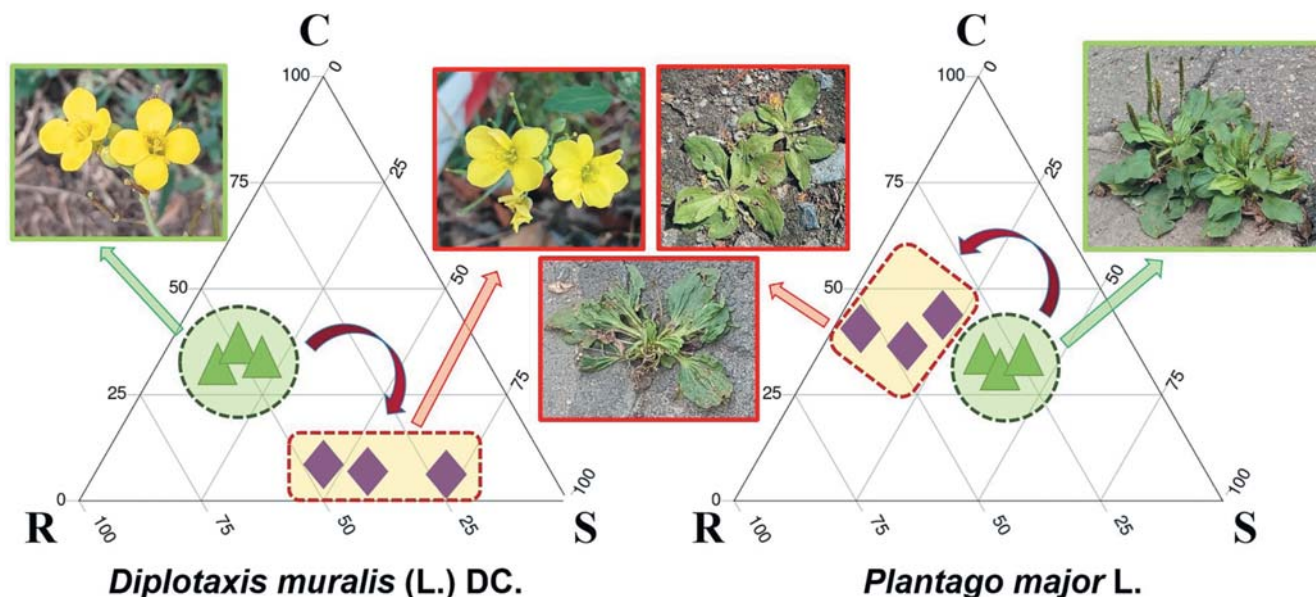


Рис. 4. Сдвиг способа реализации жизненной стратегии видов *Diplotaxis muralis* и *Plantago major* в условиях беллигеративных экотопов в местах аграрного и рекреационного хозяйственного использования
 Fig. 4. Shift in the mode of implementation of the life strategy of species *Diplotaxis muralis* & *Plantago major* in the conditions of beligerative ecotopes in places of agricultural and recreational economic use

частые разрывы наружной оболочки пыльцевых зёрен (экзины) в результате её утончения, тератологическая схизокотилия. Геохимические отличия для мест изучаемого импакта по накоплению в тканях *Diplotaxis muralis* на 2,3-3,8% отличались от установленных диапазонов для *Taraxacum officinale*. При этом последовательность концентрирования ряда элементов в *Diplotaxis muralis* на примере фонового значения учётной площадки 21 сохраняется: Mn (2120) > P (1620) > Zn (1500) > Cu (190) > Mo (41,5) > Ni (36,8) > Pb (32,1) > Cr (26,4) > La (10,2) > Co (4,6) > Se (4,3) > As (2,9) > Cd (0,81). Закономерности в соотношениях геохимических показате-

лей и трендов по рядам концентрирования (табл.) элементов сохраняются в пределах статистического отклонения по среднему значению.

Plantago major в условиях полемостресса проявил тенденции к сдвигу жизненной стратегии в сторону конкурентно способных приспособлений по данным индекса ксерофитизации калькулятора CSR (рис. 4,5). Этот вид в ремедиационных мероприятиях может формировать пионерное поселение сразу же в первый вегетационный период после нарушений почвенного покрова (рис. 5, сценарий никелево-кобальтовой аномалии), что не характерно для других используемых видов при таком характере

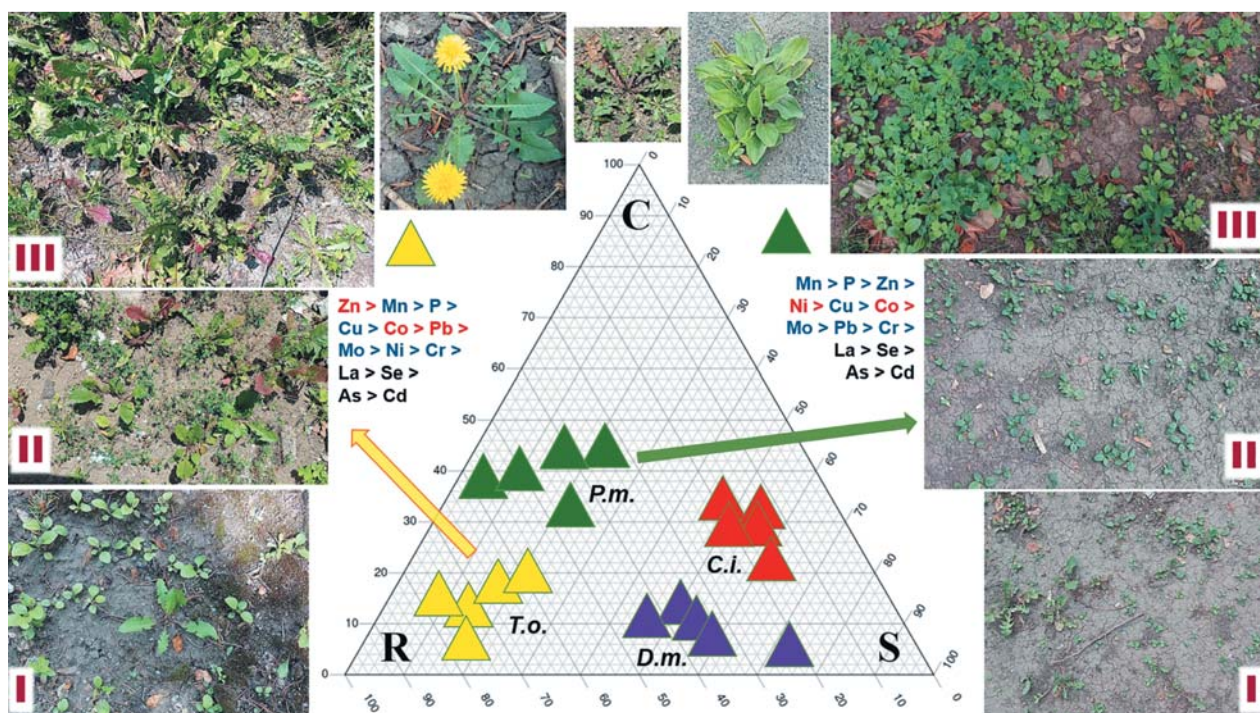


Рис.5. Система компактизации экологических ниш модельных видов для фиторемедиации в Донбассе по сценариям преобразования в условиях разных геохимических аномалий; I-II-III – этапы сукцессионного ряда с доминированием отдельных видов. C.i. – *Cichorium intybus*, T.o. – *Taraxacum officinale*, P.m. – *Plantago major*, D. m. – *Diplotaxis muralis*
 Fig. 5. System of ecological niches compaction of model species for phytoremediation in Donbass according to transformation scenarios under conditions of different geochemical anomalies; I-II-III – stages of succession with dominance of individual species. C.i. – *Cichorium intybus*, T.o. – *Taraxacum officinale*, P.m. – *Plantago major*, D. m. – *Diplotaxis muralis*

загрязнений. Вероятно, высокая устойчивость обеспечивается особенностью корневой системы и повышает шансы на выживание в открытых ландшафтах аридного и субаридного степного климата Центрального Донбасса. Особенности тератологических проявлений у *Plantago major* для установленных геохимических аномалий следующие: Zn-Co-Pb – укорочение оси при скупенности соцветий, аномальность анастомозной сетки в листовом аппарате, пролификация цветков и соцветий, тератные формы пыльцевых зёрен и орнаментации экзины, матрикальная гетероспермия, схизокотилия; P-La – гипергенезия побега, матрикальная гетерокарпия; Cu-Ni-Pb – аномальное опушение листа по специализации трихом кроющего типа, линзовидность пыльцевого зерна; Ni-Co – атипичное строение устьичного аппарата на фоне гипогенезии листа, фасциации соцветий, дистопия андроцея по отношению к частям венчика. По концентрированию технофильных элементов вид на 1,5-2,7% отличается от диапазонов, установленных для ранее описанных закономерностей *Taraxacum officinale* (табл.). Ряд накопления элементов в *Plantago major* соответствует установленной последовательности: Mn (2110) > P (1610) > Zn (1510) > Cu (195) > Mo (41,9) > Ni (36,6) > Pb (32,4) > Cr (26,8) > La (10,3) > Co (4,3) > Se (4,1) > As (2,9) > Cd (0,81). На основании таких значений даны рекомендации для практического использования. Установлено, что межвидовая разница в накопительной способности не является достоверно различимой и для определения элементного состава можно использовать фитопробы одного из 4-х исследованных модельных видов. В полевой практике рекомендуется сбор сразу всех ремедиантов для характеристики совокупной выборки накопления токсичных элементов.

В оценке успешности формирования устойчивого растительного покрова и соответственно фиторемедиационного эффекта наиболее распространенным критерием является проективное покрытие, сформированное растениями на единицу площади. Однако в функциональном подходе для степных участков, конечно, более важным показателем должен быть коэффициент задернения при формировании плотной преимущественно мятликовобобовой разнотравной заросли. Но для первых этапов заселения после резких механических нарушений поверхностного почвенно-растительного горизонта в результате боевых действий и на практике всё же показатель проективного покрытия закреплен как основной. Поэтому при создании возможных условий ускоренных сукцессионных преобразований видами аборигенной флоры важно учитывать критерий структурно-функциональной взаимодополняемости соседствующих видов при компактизации экологических ниш (рис. 5) и рациональном распределении ресурсов внутри сообщества, даже при условии его формирования на уровне локального природно-территориального комплекса. При этом на практике фиторекультивации (варианта фиторемедиации) важно учитывать не природные характеристики видов в их естественных условиях среды, а те характеристики, которые виды будут проявлять в конкретных изменённых условиях неспецифического (например, механической трансформации) или специфического (по сценарию одного из вариантов геохимической аномалии, рис. 5) стресса.

В треугольнике жизненных стратегий (рис. 5) *Cichorium intybus*, *Taraxacum officinale*, *Plantago major* и *Diplotaxis*

muralis в своих трансформированных показателях адаптивных возможностей не являются друг другу прямыми конкурентами за комплексный ресурс жизнеобеспечения, поэтому могут в полной мере реализоваться по формированию большего количества требуемой биомассы для первых этапов восстановления экосистемы. По такому принципу обеспечивается средообразующая роль пионерного сообщества. При специальном занесении семенного материала в такой комбинации видов обеспечивается ускорение сукцессионных преобразований в 5-10 раз (2 года в эквиваленте 10-15 лет естественных процессов). Установлено, что при моделировании таких олиговидовых (или в дальнейшем поливидовых) сообществ и при формировании естественного барьера между токсичной почвой и открытым воздушным пространством для эмиссий и переноса на большие расстояния, устраняется нежелательный эффект инвазивности элементов адвентивной флоры, что значительно закрепляет успешность фиторемедиационных мероприятий.

Заключение

С 2014 года по настоящее время природные системы Центрального Донбасса испытывают влияние нео-антропогенного фактора – глубоких трансформаций ландшафтных систем в результате боевых действий. Этот фактор имеет комплексный характер воздействия, диагностика его требует всестороннего детального анализа и дифференциации в ситуативных сравнениях в зависимости от силы и характера воздействий. Однозначным на сегодня является факт наличия ответной реакции у растительных организмов на действие полемостресса (нарушений в результате военного конфликта, полемики). Совокупность таких реакций во многом отражается в особенностях структурной пластичности индикаторных видов растений, которые, являясь аборигенными, стремятся сохранить за собой право выжить и сформировать следующее поколение в адаптированной версии к изменённым условиям среды. Эти характеристики используются экологами для разработки научно обоснованной системы восстановительных мероприятий на разных этапах эксплуатации территории и её целевого назначения в каждом конкретном случае.

Экспериментально доказано, что в условиях боевых действий формируются участки нео-патологического химического контраста, которые запускают цепные реакции адаптаций и изменения жизненных стратегий растений. В свою очередь возможность проведения фиторемедиации (её ускорения и контроля) обеспечивают лучший эффект для детоксикации свободно распространяющихся в окружающей среде загрязняющих элементов путём их вовлечения в биогеохимические циклы и нейтрализации их агрессивного состояния. Геохимическая аномалия с доминированием фосфора и сопутствующего ему загрязнителя лантана описана в настоящей работе для Донбасса впервые, что требует более детального анализа в будущем. В работе описана ландшафтная полевая диагностика и мониторинг уровня трансформации экотопов на постконфликтных территориях, а также предложен научно-обоснованный способ направления фиторемедиационных восстановительных работ. Такой способ в Донбассе наиболее экономически оправдан и технически возможен для осуществления в реальных современных условиях.

● Литература / References

1. Bezel' V.S., Zhuikova T.V., Gordeeva V.A., Goloushkina E.V. Biogeochemistry of Impact Regions: the Role of Edaphic and Phytocoenotic Environmental Factors. *Geochemistry International*. 2020;58(10):1135-1144.
<https://doi.org/10.1134/S0016702920100043>
<https://elibrary.ru/tvcivb>
2. Ashikhmina T.Ya., Domracheva L.I., Pogorelsky I.P., Leschenko A.A., Mironina A.Yu., Lobastov V.S., Senkin A.V. Bioremediation of technogenically degraded lands after the completion of a special military operation on the territory of new subjects of the Russian Federation. *Theoretical and Applied Ecology*. 2023;(2):209-217.
<https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-209-217>
<https://elibrary.ru/habfsm>
3. Kornienko V., Reuckaya V., Shkirenko A., Meskhi B., Olshevskaya A., Odabashyan M., Shevchenko V., Teplyakova S. Silvicultural and ecological characteristics of *Populus bolleana* Lauche as a key introduced species in the urban dendroflora of industrial cities. *Plants*. 2025;14(13).
<https://doi.org/10.3390/plants14132052>
<https://elibrary.ru/drdbqf>
4. Yang Z., Jiang L., Li X., Ji Q., Wang M., Zhang Yi., Cheng Yu., Zhang X., Li H., Feng Ch. Role of sludge biochar immobilized multifunctional microbiome in phytoremediation of lead-zinc composite pollution. *Biochar*. 2025;7(1):5.
<https://doi.org/10.1007/s42773-024-00395-2>
<https://elibrary.ru/izsqsq>
5. Opekunova M.G., Nikulina A.R., Opekunov A.Yu., Arestova I.Yu., Somov V.V., Kukushkin S.Yu., Lisenkov S.A. Transformations of the vegetation cover on the Southern Kuril Islands under the impact of natural and anthropogenic factors. *Contemporary Problems of Ecology*. 2024;17(3):360-378.
<https://doi.org/10.1134/s1995425524700227>
<https://elibrary.ru/lavbkn>
6. Golubev F., Jovanović L., Ermakov V., Degtyarev A. Peculiarities of Heavy Metals Accumulation by *Cladochaeta candidissima* Under Conditions of the Polymetallic Biogeochemical Provinces in the Territory of the North Ossetia. *Ecologica*. 2025;32(117):9-14.
<https://doi.org/10.18485/ecologica.2025.32.117.2>
7. Worku A., Ayalew S. Review on drivers of deforestation and associated socio-economic and ecological impacts. *Vegetable Crops of Russia*. 2024;(3):112-119.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-112-119>
<https://elibrary.ru/nlbotk>
8. Zagornaya T.O., Treshchevsky Yu.I., Dolbnya N.V. Institutional support for the development of the Donbas: a retrospective analysis performed upon the inclusion of the region into the Russian Federation. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Economics and Management*. 2023;(4):46-59.
<https://doi.org/10.17308/econ.2023.4/11685>
<https://elibrary.ru/imzhzf>
9. Kornienko V., Shkirenko A., Reuckaya V., Meskhi B., Dzhedirov D., Olshevskaya A., Odabashyan M., Shevchenko V., Mangasarian D., Kulikova N. *Taxus baccata* L. under changing climate conditions in the steppe zone of the East European Plain. *Plants*. 2025;14(13).
<https://doi.org/10.3390/plants14131970> <https://elibrary.ru/utzuc>
10. Poinas I., Meynard Ch.N., Fried G. Plant Species Better Adapted to Climate Change Need Agricultural Extensification to Persist. *Ecology Letters*. 2025;28(2):70030.
<https://doi.org/10.1111/ele.70030>
<https://elibrary.ru/gqfuoc>
11. Worku A. The Role of Agroforestry in Ecosystem Services and Mitigation of Climate Change. *Vegetable Crops of Russia*. 2024;(4):111-119.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-111-119>
<https://elibrary.ru/ibwncb>
12. Suleymanov R., Suleymanov A., Zaitsev G., Adelmurzina I., Galiakhmetova G., Abakumov E., Shagaliev R. Assessment and Spatial Modelling of Agrochernozem Properties for Reclamation Measurements. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023;(9):13-5249.
<https://doi.org/10.3390/app13095249>
<https://elibrary.ru/yjpfpo>
13. Korniyenko V.O., Kalaev V.N. Impact of natural climate factors on mechanical stability and failure rate in silver birch trees in the city of Donetsk. *Contemporary Problems of Ecology*. 2022;15(7):806-816.
<https://doi.org/10.1134/s1995425522070150>
<https://elibrary.ru/euvzmy>
14. Rouhani A., Skousen J., Tack F.M.G. An Overview of Soil Pollution and Remediation Strategies in Coal Mining Regions. *Minerals*. 2023;13(8):1064.
<https://doi.org/10.3390/min13081064>
<https://elibrary.ru/balvkz>
15. Yeprintsev S., Kurolap S., Klepikov O., Vinogradov P. Remote monitoring of factors determining the environmental safety of urban areas. *E3S Web of Conferences*. 2023;(389):03030.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338903030>
<https://elibrary.ru/wpfksg>
16. Safonov A.I. A review of phytological assessment of anthropogenic ecotopes in Donbass: a review. *Theoretical and Applied Ecology*. 2025;(2):16-29.
<https://doi.org/10.25750/1995-4301-2025-2-016-029>
<https://elibrary.ru/yofktg>
17. Safonov A. Ecological phytomonitoring of anthropogenic transformations: monograph. Donetsk: Publishing house EDIT, 2024. 289 p.
<https://elibrary.ru/qvjsqe>
18. Safonov A. Assessing landscape disturbance in Donbass using phytomonitoring data. *BIO Web of Conferences*. 2024;(126):1031.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202412601031>
<https://elibrary.ru/vvpfdr>
19. Zinicovskaia I.I., Safonov A.I., Yushin N.S., Nespirnyi V.N., Germonova E.A. Phytomonitoring in Donbass for identifying new geochemical anomalies. *Russian Journal of General Chemistry*. 2024;94(13):3472-3482.
<https://doi.org/10.1134/S1070363224130048>
<https://elibrary.ru/qxjump>
20. Zinicovskaia I., Safonov A., Kravtsova A., Chaligava O., Germonova E. Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis of ecosystems of Donbass. *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2024;21(2):186-200.
<https://doi.org/10.1134/S1547477124020158>
<https://elibrary.ru/xytwui>
21. Mirnenko N.S. Pollen viability of some woody plants species in Donetsk agglomeration. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*. 2022;26(6):55-61.
<https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-55-61>
<https://elibrary.ru/ggmvxix>
22. Chufitskiy S., Romanchuk S., Meskhi B., Olshevskaya A., Shevchenko V., Odabashyan M., Teplyakova S., Vershinina A., Savenkov D. Assessment of surface water quality in the Krynkа river basin using fluorescence spectroscopy methods. *Plants*. 2025;14(13).
<https://doi.org/10.3390/plants14132014>
<https://elibrary.ru/mrtrh>
23. Nespirnyi V., Safonov A. The importance of principal component analysis for environmental biodiagnostics of Donbass. *E3S Web of Conferences*. 2024;(555):01007.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455501007>
<https://elibrary.ru/eqegdi>

24. Mirnenko E.I. Content composition and dynamics of photosynthetic pigments in the reservoirs of the Kalmius River of the Donetsk People's Republic. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. 2024;79(4):267-273.
<https://doi.org/10.3103/S009639252560022X>
<https://elibrary.ru/wwyshx>
25. Neronov V.V., Chernitsova O.V., Koroleva T.V., Krechetov P.P. Contemporary state of vegetation in Baikunor Cosmodrome and estimate of its potential resistance to impact of space-rocket activities. *Arid Ecosystems*. 2012;2(3):186-196.
<https://doi.org/10.1134/S2079096112030109>
<https://elibrary.ru/feilzt>
26. Semenkov I., Koroleva T. Review on the environmental impact of emissions from space launches: a case study for areas affected by the Russian space programme. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(60):89807-89822.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23888-8> <https://elibrary.ru/zqzsmc>
27. Guo W.Y., Čuda Ja., Skálová H., Lambertini C., Pierce S., Lučanová M., Brix H., Meyerson L.A., Pyšek P. Climate and genome size shape the intraspecific variation in ecological adaptive strategies of a cosmopolitan grass species. *Functional Ecology*. 2024.
<https://doi.org/10.1111/1365-2435.14613>
<https://elibrary.ru/hupjut>
28. Logofet D.O., Kazantseva E.S., Belova I.N., Onipchenko V.G. How Long Does a Short-Lived Perennial Live? A Modeling Approach. *Biology Bulletin Reviews*. 2018;8(5):406-420.
<https://doi.org/10.1134/s2079086418050043>
<https://elibrary.ru/lrfmga>
29. Bai K., Li W., Lv Sh., Wei Sh., Xu X. Regulation of leaf elemental composition in a subtropical river basin with diverse forest landscapes. *Plant and Soil*. 2024.
<https://doi.org/10.1007/s11104-024-07039-1> <https://elibrary.ru/cgnfxo>
30. Elmas E., Türkiş S., Bani B. Relationship Between Plant Strategy Types and Soil Characteristics in Backdunes and Foredunes. *Estuaries and Coasts*. 2025;(3):48-76.
<https://doi.org/10.1007/s12237-025-01512-5>
<https://elibrary.ru/bogjgw>
31. Calbi M., Boenisch G., Boulangeat I., Bunker D., Catford J.A., Changenet A., Culshaw V., Dias A.S., Hauck T., Joschinski J., Kattge J., Mimet A., Pianta M., Poschod P., Weisser W.W., Roccoliello E. A novel framework to generate plant functional groups for ecological modelling. *Ecological Indicators*. 2024;(166):112370. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112370> <https://elibrary.ru/wwebsp>
32. Safonov A. Changes in plant CSR strategies under new anthropogenic transformations. *E3S Web of Conferences*. 2025;(614):04022.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202561404022> <https://elibrary.ru/scxinb>
33. Amin H., Ahmed Arain B., Jahangir T.M., Abbasi A.R., Abbasi M.S., Amin F. Comparative zinc tolerance and phytoremediation potential of four biofuel plant species. *International Journal of Phytoremediation*. 2023;25(8):1014-1028.
<https://doi.org/10.1080/15226514.2022.2125496>
<https://elibrary.ru/acjhff>
34. Antoniadis V., Shaheen S.M., Stärk H.J., Wennrich R., Levizou E., Merbach I., Rinklebe J. Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil. *Environment International*. 2021;(146):106233.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106233>
<https://elibrary.ru/ynmjhq>
35. Kumar A., Tripti, Raj D., Maiti S.K., Maleva M., Borisova G. Soil Pollution and Plant Efficiency Indices for Phytoremediation of Heavy Metal(loid)s: Two-Decade Study (2002–2021). *Metals*. 2022;12(8):1330.
<https://doi.org/10.3390/met12081330> <https://elibrary.ru/myupup>
36. Raven J.A., Lambers H., Smith S.E., Westoby M. Costs of acquiring phosphorus by vascular land plants: patterns and implications for plant coexistence. *New Phytologist*. 2018;217(4):1420-1427.
<https://doi.org/10.1111/nph.14967>
<https://elibrary.ru/yfxlnr>
37. Feng L., Cao B. Plant-root-litter-soil C, N, P stoichiometry and plant phosphorus accumulation and utilization response to warming and phosphorus input in desert steppe. *Global Ecology and Conservation*. 2024;(56):e03266.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03266>
<https://elibrary.ru/fkulmr>
38. Zhang X., Wang P., Mao H., Gao H., Li Q. Detection of the nutritional status of phosphorus in lettuce using thz time-domain spectroscopy. *Engenharia Agricola*. 2021;41(6):599-608. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v41n6p599-608/2021> <https://elibrary.ru/wbmqptn>
39. Sharma P., Jha A.B., Dubey R.Sh. Addressing lanthanum toxicity in plants: Sources, uptake, accumulation, and mitigation strategies. *Science of the Total Environment*. 2024;(929):172560.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172560>
<https://elibrary.ru/beaeqo>
40. Martina A., Ferroni L., Marrocchino E. The soil-plant continuity of rare earth elements: insights into an enigmatic class of xenobiotics and their interactions with plant structures and processes. *Journal of Xenobiotics*. 2025;15(2):46.
<https://doi.org/10.3390/jox15020046>
<https://elibrary.ru/hyomcg>
41. Vorob'ev V.N., Gorshkov V.Yu., Terentyev V.V., Islamov B.R., Kotov S.F., Nikolenko V.V., Yakushenkova T.P., Timofeeva O.A. Differences in the effect of light (La) and heavy (Yb) lanthanides on the efficiency of photosynthesis and accumulation of metabolites by Krim-Saghyz Dandelion (*Taraxacum hybernum*). *Russian Journal of Plant Physiology*. 2024;71(6):1-6. <https://doi.org/10.1134/S1021443724607067>
<https://elibrary.ru/sralmx>
42. Kastori R., Maksimovic I., Putnik-Delic M. Rare earth elements in environment and effects on plants: A review scientific paper. *Matica Srpska Journal of Natural Sciences*. 2023;(144):51-72.
<https://doi.org/10.2298/zmspn2344051k>
<https://elibrary.ru/jkqyto>

Об авторах:

Андрей Иванович Сафонов – кандидат биологических наук, заведующий кафедрой ботаники и экологии Донецкого государственного университета (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Донецкий государственный университет»), доцент, старший научный сотрудник НИЧ ДонГУ,
<https://orcid.org/0000-0002-9701-8711>,

SPIN-код: 8396-6159, ResearcherID: IXN-8945-2023,

Scopus Author ID: 57210835692 andrey_safonov@mail.ru

Фёдор Вячеславович Голубев – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды Института геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН,
<https://orcid.org/0000-0001-7401-5705>,
 SPIN-код: 6311-8229, f.v.golubev@mail.ru

About the Author:

Andrey I. Safonov – Cand. Sci. (Biology), Head of the Botany and Ecology Department of Donetsk State University (DonSU), Associate Professor, Senior Researcher at the Research Institute of Donetsk State University,
<https://orcid.org/0000-0002-9701-8711>,
 SPIN-code: 8396-6159, ResearcherID: IXN-8945-2023,
 Scopus Author ID: 57210835692, andrey_safonov@mail.ru

Fedor V. Golubev – Cand. Sci. (Biology), Scientific Researcher, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS (GEOKHI RAS); Laboratory of Environmental Biogeochemistry;
<https://orcid.org/0000-0001-7401-5705>,
 SPIN-code: 6311-8229, f.v.golubev@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-119-123>
УДК: 630*266:631.445.4(470.324)

С.С. Шешницан^{1*}, Н.С. Горбунова^{1,2},
А.М. Бахтин¹

¹ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., 1

*Автор для переписки: sheshnitsan@gmail.com

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1025032000060-3-1.5.1 "Биогеохимические закономерности динамики пулов и потоков углерода в репрезентативных экосистемах Центральной лесостепи в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий" (FZUR-2026-0004).

Вклад авторов: Шешницан С.С.: руководство исследованием, ресурсы, администрирование проекта, визуализация, создание рукописи и ее редактирование. Горбунова Н.С.: методология, проведение исследований, верификация данных, формальный анализ, создание черновика рукописи. Бахтин А.М.: проведение исследований, верификация данных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шешницан С.С., Горбунова Н.С., Бахтин А.М. Влияние защитных лесных насаждений на содержание углерода и азота в черноземах Каменной степи. *Овощи России*. 2026;(1):119-123. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-119-123>

Поступила в редакцию: 15.09.2025

Принята к печати: 22.11.2025

Опубликована: 16.03.2026

Sergey S. Sheshnitsan^{*}, Nadezhda S. Gorbunova^{1,2},
Andrei M. Bakhtin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

²Voronezh State University Universitetskaya square, 1, Voronezh city, 394018, Russian Federation

*Corresponding Author: sheshnitsan@gmail.com

Funding. The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 1025032000060-3-1.5.1 "Biogeochemical patterns of carbon pool and flux dynamics in representative ecosystems of the Central Forest-Steppe under climate change and anthropogenic impacts" (FZUR-2026-0004).

Authors' Contributions. Sheshnitsan S.S.: supervision, resources, project administration, visualization, writing – review & editing. Gorbunova N.S.: methodology, investigation, validation, formal analysis, writing – original draft. Bakhtin A.M.: investigation, validation.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citations: Sheshnitsan S.S., Gorbunova N.S., Bakhtin A.M. Influence of forest shelterbelts on the soil carbon and nitrogen content in the chernozems of the Kamennaya steppe. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):119-123. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-119-123>

Received: 15.09.2025

Accepted for publication: 22.11.2025

Published: 16.03.2026

Влияние защитных лесных насаждений на содержание углерода и азота в черноземах Каменной степи

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Защитные лесные насаждения в условиях степной зоны выполняют важную роль в стабилизации агроландшафтов, влияя на водный режим, гумусообразование и биогеохимический цикл почв. Однако вопросы их влияния на содержание углерода и азота в черноземах остаются недостаточно изученными.

Материал и методика. Исследования проведены в ПЗ «Каменная степь» по трансекте, заложенной через лесополосу и прилегающие пашни. Определяли содержание общего углерода и азота в почвенном профиле и их пространственное распределение в зависимости от рельефа и экспозиции склонов.

Результаты. Показано, что лесополосы способствуют интенсивному накоплению органического вещества и формированию сильно гумусированных разновидностей чернозёмов. Среднее содержание общего углерода и азота под древесной растительностью достоверно превышает их уровень в агрочерноземах. В пашнях отмечается усиленная минерализация органического вещества, вынос элементов с урожаем и деградация почв до среднегумусированных типов. Пространственное распределение углерода и азота определяется не только землепользованием, но и микрорельефом, направлением доминирующих ветров и условиями снегозадержания.

Заключение. Защитные лесные насаждения в агроландшафте являются ключевым фактором поддержания плодородия чернозёмов и повышения их экологической устойчивости. Полученные результаты подчеркивают важность сохранения и расширения системы лесополос как элемента устойчивого землепользования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лесополосы, черноземы, общий углерод, общий азот, трансекта

Influence of forest shelterbelts on the soil carbon and nitrogen content in the chernozems of the Kamennaya steppe

ABSTRACT

Relevance. Forest shelterbelts in the steppe zone play a crucial role in stabilizing agrolandscapes by influencing the water regime, humus formation, and the biogeochemical cycle of soils. However, their impact on the carbon and nitrogen content of Chernozems remains insufficiently studied.

Methodology. The research was conducted in the Kamennaya Steppe Nature Reserve along a transect crossing a forest shelterbelt and adjacent arable fields. Total carbon and nitrogen contents were determined within the soil profile, as well as their spatial distribution in relation to topography and slope exposure.

Results. The results show that forest shelterbelts promote intensive organic matter accumulation and the development of highly humus-enriched Chernozems. Mean total carbon and nitrogen contents under forest vegetation significantly exceeded their levels in AgroChernozems. In contrast, arable soils were characterized by enhanced mineralization of organic matter, nutrient removal with crop harvests, and degradation to moderately humus-enriched types. The spatial distribution of carbon and nitrogen was influenced not only by land use but also by microrelief, prevailing wind directions, and snow accumulation conditions. Forest shelterbelts in agrolandscapes represent a key factor in maintaining the fertility of Chernozems and enhancing their ecological stability.

Conclusion. The findings emphasize the importance of preserving and expanding forest shelterbelt systems as an element of sustainable land use.

KEYWORDS:

shelterbelts, chernozems, total carbon, total nitrogen, transect

Введение

В современной научной литературе накоплен значительный массив исследований, посвящённых влиянию лесных экосистем на свойства почвенного покрова [1]. Одним из ключевых эффектов функционирования лесных экосистем является усиление интенсивности и продуктивности биологического круговорота [2, 3, 4]. Этот фактор стимулировал дальнейшие углублённые исследования, которые показали формирование в лесных условиях наиболее благоприятной среды для активных процессов гумусонакопления. К числу определяющих механизмов относятся непрерывное поступление органического вещества в виде растительного опада и отмирающих корней [4, 5, 6].

Важным следствием развития лесных сообществ является улучшение водного режима почв, проявляющееся в более продолжительном сохранении влаги после выпадения осадков, интенсивном накоплении снежного покрова и его замедленном таянии. При этом отмечается закономерное усиление данных процессов с возрастом насаждений [7]. В ряде исследований также зафиксировано положительное влияние лесной растительности на структуру и биомассу микробных сообществ [5]. Дополнительно доказана способность защитных лесных насаждений снижать интенсивность процессов водной эрозии и дефляции [8, 9], что в конечном счёте положительно отражается на урожайности сельскохозяйственных культур [10].

Наряду с этим, особую роль полеззащитные лесные насаждения имеют в процессах депонирования углерода, что подтверждается многочисленными работами [11, 12, 13]. В совокупности эти факты подчёркивают актуальность исследований, направленных на изучение влияния лесных насаждений на химические свойства почв, включая чернозёмы. В связи с этим целью настоящей работы стало выявление влияния длительно функционирующей полеззащитной лесной полосы на общее содержание углерода и азота в условиях Каменной степи.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования была выбрана лесополоса № 43, расположенная в южной части ГПЗ «Каменная степь» (Таловский район Воронежской области), и также прилегающие к ней пахотные угодья. Возраст насаждения лесной полосы превышает 120 лет, что позволяет оценить длительное воздействие лесной растительности на трансформацию процессов почвообразования. Через лесную полосу шириной 88 м, ориентированную с севера на юг, была заложена трансекта с запада на восток, как представлено на рисунке

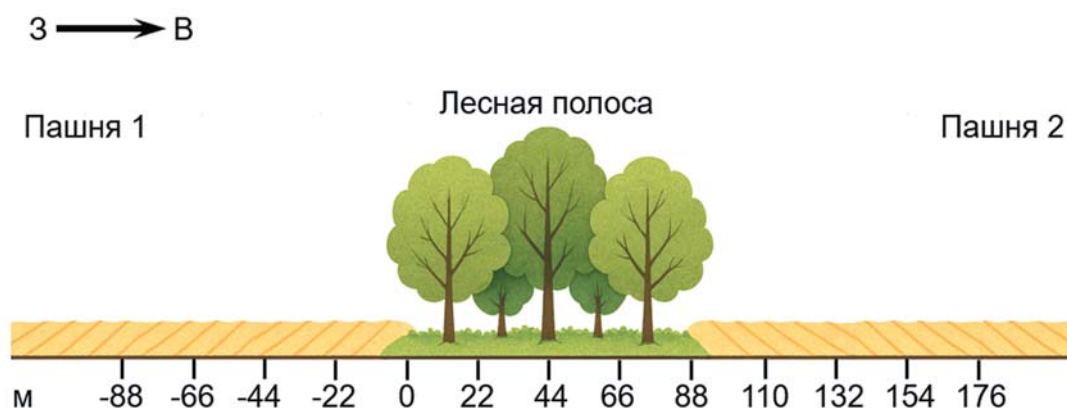


Рис. 1 Схема расположения трансекты в градиенте «пашня – лесная полоса» с точками отбора проб
Fig. 1. Scheme of the transect layout along the “arable field – forest shelterbelt” gradient with sampling points

1. Точки отбора проб были заложены через равные расстояния 22 м. В каждой точке в трехкратной повторности проводился отбор проб почв почвенным буром через каждые 10 см.

Образцы почв доставляли в лабораторию, высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и определяли содержание общего углерода и азота в почвах методом сухого сжигания на элементном анализаторе ECS 8024 NC Soil Special. Для этого пробы почвы предварительно просеивались через сито с диаметром ячеек 2 мм и перемешивались. Из гомогенизированной пробы отбиралось 30-80 мг почвы в зависимости от предполагаемого содержания углерода и помещалась в оловянную капсулу размером 5×9 мм. Капсулу аккуратно, но плотно скручивали в шарик и загружали в автоматический автосемплер элементного анализатора. Прибор запускали и, посредством каталитического сжигания капсулы с почвой при температуре 1000 °С. Образующиеся газообразные продукты сжигания разделяли методом газовой хроматографии и количественно определяли с помощью детектора по теплопроводности высокого разрешения. Каждую пробу почвы анализировали в трехкратной повторности. Полученные данные пересчитывали на сухую почву с учетом гигроскопической влажности. Статистическая обработка полученных аналитических результатов была выполнена в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Анализ содержания общего углерода в чернозёмах и агрочернозёмах исследуемой трансекты подтвердил ранее установленные закономерности накопления данного элемента в почвах лесополосы. Максимальные значения фиксировались в верхнем гумусовом горизонте (0–10 см), где содержание углерода достигало 8,59%, минимальные – 4,72%, при среднем значении $6,56 \pm 0,62\%$ (табл. 1). Эти результаты свидетельствуют о ведущей роли лесной растительности в аккумуляции органического вещества и процессах гумусообразования. Формирование благоприятных почвообразовательных условий способствует развитию сильно гумусированных разновидностей почв.

В агроэкосистемах наблюдается иная динамика. Регулярная агротехническая обработка приводит к усиленной минерализации органического вещества, сопровождающейся его потерями. Существенную роль играет и систематический вынос питательных элементов с урожаем, что обуславливает снижение запасов как общего углерода, так и азота. В связи с этим максимальное содержание общего углерода в агрочернозёмах не превышало 4,82% в горизон-

Таблица 1. Статистические показатели содержания общего углерода (%) в почвах
Table 1. Statistical indicators of total carbon content (%) in soils

Глубина, см	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %
	Пашня 1, n = 2				Лесополоса №43, n = 5				Пашня 2, n = 4			
0-10	4,08±0,07	4,01	4,14	2,21	6,56±0,62	4,72	8,59	21,2	4,69±0,06	4,57	4,82	2,35
10-20	4,20±0,06	4,14	4,26	1,90	6,00±0,40	4,76	6,94	14,7	4,70±0,05	4,58	4,83	2,34
20-30	4,11±0,19	3,92	4,30	6,57	5,25±0,39	4,11	6,28	16,6	4,81±0,14	4,49	5,13	5,61
30-40	3,61±0,33	3,28	3,93	12,7	4,54±0,32	3,68	5,56	15,6	4,11±0,26	3,44	4,68	12,4
40-50	3,29±0,34	2,95	3,63	14,6	3,96±0,09	3,85	4,21	4,29	3,04±0,28	2,90	4,04	18,4
50-60	3,29±0,31	2,98	3,60	13,4	3,06±0,27	2,41	3,78	19,6	2,75±0,25	2,55	3,54	18,5
60-70	3,29±0,16	3,13	3,44	6,69	2,82±0,35	1,89	3,67	27,7	2,90±0,07	2,77	3,08	4,48
70-80	2,84±0,01	2,84	2,84	0,35	2,71±0,38	1,34	3,42	31,7	2,70±0,24	2,21	3,17	17,4
80-90	2,86±0,05	2,81	2,90	2,10	2,91±0,33	1,67	3,49	25,4	2,64±0,26	2,18	3,12	19,7
90-100	2,69±0,03	2,66	2,71	1,49	3,03±0,16	2,56	3,42	12,2	2,98±0,10	2,78	3,27	7,05

Примечание: n – количество измерений; \bar{x} – среднее арифметическое, %; $S_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического; min – минимальное значение; max – максимальное значение; V – коэффициент вариации, %

те 0–10 см, а средние значения составили $4,08 \pm 0,07\%$ (пашня № 1) и $4,69 \pm 0,06\%$ (пашня № 2) (табл. 3.4). Указанные показатели отражают деградацию агрочернозёмов до среднегумусированных разновидностей.

Вертикальное распределение общего углерода характеризуется постепенным снижением его содержания с глубиной (рис. 2). Однако в горизонте 90–100 см выявлено некоторое повышение концентрации элемента, наиболее выраженное в лесополосе ($3,03 \pm 0,16\%$) и пашне № 2 ($2,98 \pm 0,10\%$). Данный эффект обусловлен присутствием карбонатов в почвенном растворе, поскольку применяемая методика фиксирует валовое содержание углерода, включая его карбонатную форму.

Помимо общих закономерностей, связанных с влиянием распашки, на пространственное распределение углерода в почвах заметное воздействие оказывают лесные насаждения [14-16]. Максимальные значения содержания углерода зафиксированы на границе лесополосы с пашней в навет-

ренной части, тогда как минимальные значения отмечены на расстоянии 44 м от границы лесополосы в пределах пашни № 1 (рис. 2). Статистически достоверное снижение содержания общего углерода в пашне № 1 по сравнению с пашней № 2 объясняется морфологией рельефа: трансекта заложена на слабопологом склоне восточной экспозиции. В данных условиях углерод подвергается латеральной миграции с верхней части водораздела до границы лесополосы, где, попадая в более благоприятные условия, начинает активно накапливаться.

Как отмечалось выше, в пределах лесополосы наблюдается интенсивное накопление органического вещества, что обуславливает увеличение содержания общего углерода в 1,5–2 раза по сравнению с пашнями. Однако далее, на противоположной границе лесополосы, содержание углерода вновь снижается, достигая 4,57% на расстоянии 176 м, что связано с влиянием перераспределения вещества вниз по склону, даже несмотря на незначительный уклон.

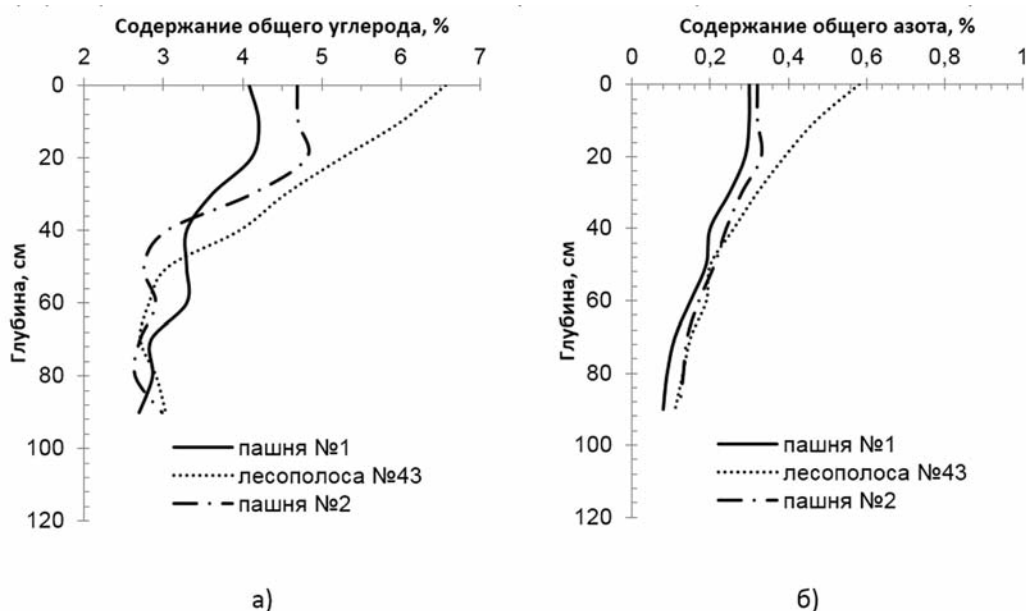


Рис. 2. Распределение общего углерода и азота в черноземах и агрочерноземах.
Fig. 2. Distribution of total carbon and nitrogen in Chernozems and Agrochernozeems.

Таблица 2. Статистические показатели содержания общего азота (%) в почвах
 Table 2. Statistical indicators of total nitrogen content (%) in soils

Глубина, см	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %
	Пашня 1, n = 2				Лесополоса №43, n = 5				Пашня 2, n = 4			
0-10	0,30±0,03	0,27	0,32	13,3	0,58±0,07	0,32	0,74	27,6	0,32±0,01	0,30	0,33	6,25
10-20	0,30±0,01	0,29	0,31	3,33	0,47±0,04	0,32	0,53	19,1	0,32±0,01	0,30	0,35	6,25
20-30	0,29±0,02	0,27	0,30	6,89	0,39±0,03	0,28	0,48	20,5	0,33±0,14	0,31	0,34	3,03
30-40	0,25±0,02	0,23	0,26	8,00	0,32±0,02	0,25	0,38	15,6	0,28±0,01	0,24	0,31	10,7
40-50	0,20±0,01	0,20	0,20	5,00	0,26±0,02	0,22	0,30	15,4	0,24±0,01	0,21	0,27	12,5
50-60	0,19±0,01	0,18	0,19	5,26	0,20±0,02	0,17	0,25	20,0	0,21±0,01	0,18	0,23	14,3
60-70	0,15±0,01	0,14	0,16	6,67	0,19±0,02	0,12	0,23	26,3	0,17±0,02	0,13	0,20	17,6
70-80	0,11±0,01	0,11	0,11	9,09	0,15±0,02	0,09	0,21	33,3	0,14±0,02	0,09	0,17	21,4
80-90	0,09±0,01	0,09	0,10	11,1	0,13±0,03	0,09	0,23	46,2	0,13±0,03	0,07	0,19	38,5
90-100	0,08±0,02	0,06	0,10	37,5	0,11±0,02	0,07	0,18	36,4	0,12±0,03	0,06	0,19	41,7

Примечание: обозначения те же, что в таблице 1.

Поскольку общий азот представлен преимущественно в составе органической фракции, связанной с соединениями гумуса [17], его содержание и пространственно-профильное распределение закономерно коррелируют с количеством общего углерода. Соответственно, наблюдаются сходные тенденции как в вертикальной структуре почвенного профиля, так и в латеральном распределении. Среднее содержание общего азота в чернозёмах под древесной растительностью составляет 0,58±0,07%, что статистически достоверно превышает его уровень как в пашне № 1 (0,30±0,03%), так и в пашне № 2 (0,32±0,01%) (табл. 2).

Накопление биогенных элементов в верхних горизонтах почв связано с процессами гумусообразования, гумусонакопления и другими биологическими механизмами, определяющими формирование органогенной составляющей почвенного профиля [18-20]. По мере углубления данные процессы замедляются, что отражается в постепенном снижении содержания элементов.

Особый интерес представляет пространственная дифференциация содержания углерода и азота на западной границе лесополосы № 43 и прилегающей пашни. Здесь общее содержание углерода достигает 8,59%, а азота – 0,68%, что примерно в два раза выше значений, зафиксированных на восточной границе лесополосы и пашни, где их содержание составило соответственно 4,72% и 0,32%. Данное различие объясняется климатическими и микрорельефными факторами. На западной границе формируется более выраженный снежный шлейф в холодный период за счёт преобладающего направления ветров, что обеспечивает благоприятные условия для влагонакопления. В результате здесь наблюдается более интенсивное развитие растительности, выступающей основным источником поступления органического вещества, углерода и азота. На восточной границе лесополосы и пашни, напротив, отмечается меньшее снегонакопление, а весной здесь происходит более быстрое снеготаяние. Вследствие интенсивного солнечного излучения часть влаги поступает в почвенный покров, но значительная её доля теряется через испарение, что ограничивает поступление органики и, соответственно, снижает содержание биогенных элементов.

Заключение

Результаты проведённого исследования показывают, что экосистемы защитных лесных насаждений, являясь антропогенно сформированными, обладают существенно большей устойчивостью и стабильностью по сравнению с агроэкосистемами. Содержание общего углерода и азота в чернозёмах и агрочернозёмах трансекты демонстрирует выраженное накопление данных элементов в верхних горизонтах почвы в пределах лесополос. Лесная растительность обеспечивает постоянное поступление органического вещества, что способствует процессам гумусообразования и формированию сильно гумусированных почвенных разновидностей.

В противоположность этому, интенсивное сельскохозяйственное использование земель ведёт к усиленной минерализации органического вещества, его потерям, а также выносу углерода и азота с урожаем, что обуславливает деградацию агрочернозёмов до среднегумусированных типов. Вертикальное распределение элементов характеризуется постепенным снижением их содержания с глубиной, однако в горизонте 90–100 см фиксируется локальное возрастание общего углерода, связанное с присутствием карбонатов почвенного раствора и спецификой используемой методики анализа.

Дополнительно установлено, что пространственное распределение углерода и азота определяется не только типом землепользования, но и факторами рельефа и климата. Так, расположение трансекты на слабопологом склоне восточной экспозиции обуславливает латеральную миграцию органогенного материала, тогда как направление доминирующих ветров влияет на интенсивность снегозадержания, влагонакопления и, как следствие, на продуктивность растительного покрова. Эти факторы в совокупности формируют различия в содержании углерода и азота на границах лесополос и пашни.

Таким образом, защитные лесные насаждения в условиях Каменной степи выступают значимым фактором поддержания и увеличения содержания углерода и азота в чернозёмах, обеспечивая сохранение плодородия почв и формируя предпосылки для повышения их экологической устойчивости.

● Литература / References

1. Neaman A., Robinson B., Minkina T. M., Vidal K., Mench M., Krutyakov Y. A., Shapoval O. A. Feasibility of metal(loid) phytoextraction from polluted soils: the need for greater scrutiny. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2020;39(8):1469. <https://doi.org/10.1002/etc.4787>
2. Rusakova I.V. Comparative evaluation of the effects of traditional and biologized arable systems on agrochemical and biological properties and biological quality of organic matter of gray forest soil in Vladimir Opolye. *Agrohimia*. 2021;12:15-22. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120127> <https://www.elibrary.ru/zitehy> (In Russ.)
3. Olson K.R., Gennadiev A.N. Dynamics of soil organic carbon storage and erosion due to land use change (Illinois, USA). *Eurasian Soil Sci*. 2020;53(4):436. <https://doi.org/10.1134/S1064229320040122>
4. Tang Y., Shao Q., Shi T. et al. Spatiotemporal dynamics of forest ecosystem carbon budget in Guizhou: customisation and application of the CBM-CFS3 model for China. *Carbon Balance Manage*. 2022;17:10. <https://doi.org/10.1186/s13021-022-00210-0>
5. Chernov T.I., Zhelezova A.D. The Dynamics of Soil Microbial Communities on Different Timescales. *Eurasian Soil Science*. 2020;5:643-652. <https://doi.org/10.1134/S106422932005004X>
6. Rajput V.D., Minkina T.M., Kumari A., Shende S.S., Ranjan A., Barakhov A.V., Rajput P., Sushkova S.N., Faizan M., Singh A., Khabirov I., Gromovik A., Gorbunova N., Nazarenko O., Kizilkaya R. A review on nanobioremediation approaches for restoration of contaminated soil. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2022;11(1):12020. <https://doi.org/10.18393/EJSS.990605>
7. Mikhin V.I., Taniykevich V.V., Mikhina E.A. Growth and ameliorative role of protective plantation in conditions of forest-steppe zone. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Forestry Forum "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions"*. 2020;595:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012045>
8. Chendev Y.G., Gennadiev A.N., Smirnova M.A. et al. Early Stages of the Evolution of Chernozems under Forest Vegetation (Belgorod Oblast). *Eurasian Soil Sc*. 2022;55:387–403. <https://doi.org/10.1134/S1064229322040068>
9. Ebabu K., Tsunekawa A., Tsubo M. Global Analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. *International Soil and Water Conservation Research*. 2022;10.2:161-176. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.002>
10. Klimenko O.E., Klimenko N.I. Changes in the properties of crimean haplic chernozems under the impact of forest plantations. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(5):750-762. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21050129> <https://www.elibrary.ru/komwug>
11. Mamonov D.N., Morkovina S.S., Matveev S.M., Sheshnitsan S.S., Ivetic V. Comparative evaluation of carbon sequestration accounting methods by pine-birch forest plantations in Voronezh region. *Forestry engineering journal*. 2022;12.3(47):4–15. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1> <https://www.elibrary.ru/migdll> (In Russ.)
12. Kalinitchenko V.P., Glinushkin A.P., Swidsinski A.V., Minkina T.M., Andreev A.G., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Makarenkov D.A., Ilyina L.P., Chernenko V.V., Zamulina I.V., Larin G.S., Zavalin A.A., Gudkov S.V. Thermodynamic mathematical model of the kastanozem complex and new principles of sustainable semiarid protective silviculture management. *Environmental Research*. 2021;194:110605. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110605>
13. Mitra S., Chakraborty A.J., Tareq A.M., Emran T.B., Nainu E., Khusro A., Abubakr M.I., Khandaker M.U., Osman H., Alhumaydhi F.A., Simal-Gandara J. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University – Science*. 2022;101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>
14. Dhillon G.S., Van Rees K.C.J. Distribution of soil organic carbon in the light and heavy fractions for six shelterbelt species and their adjacent agricultural fields in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*. 2017;97(4): 732–744. <https://doi.org/10.1139/CJSS-2017-0010>
15. Zhu M., Zhang X., Guo Y., Wu Y., Wang Q.A., Wang H., Wang W. Shelterbelts increased soil inorganic carbon but decreased nitrate nitrogen, total phosphorus, and bulk density relative to neighbor farmlands depending on tree growth, geoclimate, and soil microbes in the Northeast China Plain. *Catena*. 2023;231:107344. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107344>
16. Zazdravnykh E.A., Chendev Yu.G., Smirnova M. The influence of agroforestry on Chernozems: a case study of the Central Russian Upland. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1043(1):012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012013>
17. Pathak P., Reddy A.S. Vertical distribution analysis of soil organic carbon and total nitrogen in different land use patterns of an agro-organic farm. *Tropical Ecology*. 2021;62:386–397. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00164-3>
18. Likhanova A., Lapteva E.M., Kuznetsova E.G., Deneva S.V. Formation of organic soil horizons during the initial pedogenesis in the taiga zone of the European Russian Northeast. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;862:012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012007>
19. Milanovskii E.Yu., Shein E. Functional role of amphiphilic humus components in humus structure formation and soil genesis. *Eurasian Soil Science*. 2002;35(10):1064–1075.
20. Nankova M.I., Filcheva E.G. Reserves of nutrients and soil organic components of Haplic Chernozems. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2020;11(2):139–152. <https://doi.org/10.30574/GSCBPS.2020.11.2.0119>

Об авторах:

Сергей Сергеевич Шешницан – кандидат биол. наук, доцент, <http://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, SPIN-код: 6984-7154, автор для переписки, sheshnitsan@gmail.com
Надежда Сергеевна Горбунова – кандидат биол. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>, SPIN-код: 6375-0292
Андрей Михайлович Бахтин – аспирант, <https://orcid.org/0009-0003-9267-5901>, SPIN-код: 5178-3430, bakhtin_2019@inbox.ru

About the Authors:

Sergey S. Sheshnitsan – Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor, <http://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, SPIN-code: 6984-7154, Correspondence Author, sheshnitsan@gmail.com
Nadezhda S. Gorbunova – Cand. Sci (Biol.), Assistant Professor, <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>, SPIN-code: 6375-0292
Andrei M. Bakhtin – Postgraduate Student, <https://orcid.org/0009-0003-9267-5901>, SPIN-code: 5178-3430, bakhtin_2019@inbox.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-124-131>
УДК:

А. В. Третьякова, О. В. Прокудина*,
А. С. Мягкова, Г. В. Песцов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого» 300026, Россия, Тульская область, г. Тула, проспект Ленина, 125

*Автор для переписки:
prokudinaolga11@gmail.com

Финансирование. Работа выполнена в рамках внутреннего гранта ФГБОУ ВО «Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого» 2024 года «Разработка элементов технологии выращивания гриба *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная)» по договору 14/НИР/25/07 от 03.07.2025.

Вклад авторов: Песцов Г.В.: методология, руководство исследованием, администрирование проекта, ресурсы. Третьякова А.В.: концептуализация исследования, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование, получение финансирования. Прокудина О.В.: проведение исследования, визуализация, верификация данных, создание черновика рукописи. Мягкова А.С.: программное обеспечение, формальный анализ, администрирование данных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Третьякова А.В., Прокудина О.В., Мягкова А.С., Песцов Г.В. Подбор субстрата на основе древесных опилок с добавлением пивной дробины для культивирования съедобных грибов. *Овощи России*. 2026;(1):124-131.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-124-131>

Поступила в редакцию: 26.08.2025
Принята к печати: 14.11.2025
Опубликована: 16.03.2026

Anastasia V. Tretyakova, Olga V. Prokudina*,
Anastasia S. Myagkova, Georgiy V. Pestsov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University» 300026, Tula region, Tula, Lenin Avenue, 125

*Corresponding Author:
prokudinaolga11@gmail.com

Funding. The work was carried out within an internal grant of Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University of 2024 "Development of technology elements for cultivation of the mushroom *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom)" under contract 14/NIR/25/07 dated 07/03/2025.

Authors' Contribution: Pestsov G.V.: methodology, supervision, project administration, resources. Tretyakova A.V.: conceptualization, investigation, writing – review & editing, funding acquisition. Prokudina O.V.: investigation, visualization, validation, writing – original draft. Myagkova A.S.: software, formal analysis, data curation.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

For citations: Tretyakova A.V., Prokudina O.V., Myagkova A.S., Pestsov G.V. Selection of a sawdust-based substrate with the addition of brewer's grains for the cultivation of edible mushrooms. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):124-131. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-124-131>

Received: 26.08.2025
Accepted for publication: 14.11.2025
Published: 16.03.2026

Подбор субстрата на основе древесных опилок с добавлением пивной дробины для культивирования съедобных грибов

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Грибоводство является актуальным направлением развития сельского хозяйства России. Одними из наиболее популярных съедобных грибов являются виды *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) и *Flammulina velutipes* (эноки), однако в нашей стране их выращивают в ограниченных объемах, что связано с недостатками существующих технологий культивирования и отсутствием качественного мицелия отечественного производства.

Материалы и методы. В период с 2024 по 2025 годы разрабатывали элементы технологии выращивания мицелия и плодовых тел грибов видов *P. ostreatus* и *F. velutipes* на питательных субстратах, основой для которых являлись опилки различных пород деревьев, а в качестве питательной добавки использовали зерновую пивную дробину – отход пивоваренного производства. Контролем служил субстрат с добавлением пшеничных отрубей в концентрации 5%. Работу проводили в микробиологической лаборатории и на кафедре биологии и технологий живых систем Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого. Для проведения научно-исследовательской работы использовали штамм *P. ostreatus* 135 и *F. velutipes* F-562 из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» ГосНИИгенетика.

Результаты. Установлено, что лучшим субстратом для *P. ostreatus* являются березовые опилки с добавлением пивной дробины в количестве 10% от массы опилок. В чашках Петри наблюдали хороший рост мицелия, диаметр колонии составил 73,1 мм, что на 18% превышало контроль, при этом отмечали начало образования примордиев и высокий ростовой коэффициент (94). При культивировании в субстратных блоках проходило быстрое зарастивание субстрата (10 суток), раннее образование примордиев (13 суток) и формирование плодовых тел (15 суток). Урожайность составила 187,5 г/кг субстрата. Гриб *F. velutipes* лучше развивался на субстрате из опилок яблони с добавлением 10% пивной дробины. В чашках Петри отмечали наиболее интенсивный рост мицелия, диаметр колоний составил 78,9 мм, что на 11% выше контроля. В субстратных блоках отмечали быстрое зарастивание субстрата (18 суток), образование примордиев (32 суток) и формирование плодовых тел (37 суток). Урожайность составила 234,2 г/кг субстрата.

Заключение. Экспериментально установлено, что для культивирования гриба *P. ostreatus* лучше использовать субстрат из березовых опилок с 10% зерновой пивной дробины, а для гриба *F. velutipes* – из яблоневых опилок с 10% пивной дробины.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Pleurotus ostreatus, *Flammulina velutipes*, субстрат, опилки, пивная дробина, съедобные грибы, эноки, вешенка обыкновенная

Selection of a sawdust-based substrate with the addition of brewer's grains for the cultivation of edible mushrooms

ABSTRACT

Relevance. Fungiculture is currently one of the most relevant areas of development in Russian agriculture. Some of the most popular edible mushrooms in the world are the species *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom) and *Flammulina velutipes* (enoki), however in Russia they are grown in limited quantities. This is due to the lack of existing technologies for cultivating edible mushrooms and the lack of high-quality mycelium of domestic production.

Materials and Methods. In the period from 2024 to 2025, the elements of technology for growing mycelium and fruit bodies of fungi of the species *P. ostreatus* and *F. velutipes* on nutrient substrates of various compositions were developed. The substrates were based on sawdust of various tree species, and brewer's grains were used as a nutrient additive (as a waste from brewing production). The control was a substrate with the addition of wheat bran in a concentration of 5%. The work was carried out at the microbiological laboratory of Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University. The fungus strains *P. ostreatus* 135 and *F. velutipes* F-562 from the Russian National Collection of Industrial Microorganisms of the NRC "Kurchatov Institute" GOSNIIGENETIKA were used for research work.

Results. It was found that the best substrate for *P. ostreatus* is birch sawdust with the addition of brewer's grains in an amount of 10% by weight of sawdust. Good mycelium growth was observed in Petri dishes, the colony diameter was 73.1 mm, which was 18% higher than the control, while the onset of primordium formation and a high growth coefficient (94) were noted. During cultivation in the substrate blocks, rapid overgrowth of the substrate (10 days), early formation of primordia (13 days) and fruit bodies (15 days) took place. The yield was 187.5 g per 1 kg of substrate. *F. velutipes* developed better on a substrate of apple sawdust with the addition of 10% brewer's grains. Very intensive mycelium growth was noted in Petri dishes, the colony diameter was 78.9 mm, which was 11% higher than the control. In the substrate blocks, active overgrowth of the substrate (18 days), rapid formation of primordia (32 days) and fruit bodies (37 days) were noted. The yield was 234.2 g per 1 kg of substrate.

Conclusion. It is recommended to use a birch sawdust substrate with the addition of 10% brewer's grains for growing *P. ostreatus* (oyster mushroom). For growing *F. velutipes* (enoki), the best solution is an apple sawdust substrate with the addition of 10% brewer's grains.

KEYWORDS:

Pleurotus ostreatus, *Flammulina velutipes*, substrates, sawdust, brewer's grains, edible mushrooms, oyster mushroom, enoki

Введение

На сегодняшний день одним из наиболее популярных и важных направлений развития сельского хозяйства России является грибоводство. Это связано с появлением ряда тенденций, которые частично могут быть устранены с помощью технологии интенсивного выращивания различных съедобных грибов. К таким тенденциям можно отнести расширение, оптимизацию и улучшение качества питания человека. Грибы являются ценным продуктом питания, так как содержат белок, аминокислоты, клетчатку, ненасыщенные жирные кислоты, витамины группы В, С, D, микроэлементы, в том числе железо и кобальт, которые дефицитны в питании человека. Благодаря низкой калорийности и отсутствию холестерина грибы могут использоваться в пищу в качестве альтернативы животной и растительной продукции. Помимо того, съедобные грибы являются одной из наиболее высокоурожайных сельскохозяйственных культур, часто могут расти на различных органических отходах, что делает технологию их выращивания рентабельной [1, 2].

На сегодняшний день в коммерческих целях выращивают около 35 видов съедобных грибов, из которых 20 культивируют в промышленных масштабах. Наибольшее распространение в мировой грибоводческой практике получили такие виды, как *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Flammulina velutipes*, *Lentinus edodes* [3]. Самые популярные виды грибов, которые выращивают в России – это *Agaricus bisporus* и *Pleurotus ostreatus* [4]. По данным Минсельхоза РФ, за 2023 год грибоводческие хозяйства вырастили рекордное количество грибов – 145,9 тыс. т [5¹].

Вешенка обыкновенная имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами искусственно культивируемых грибов, она может развиваться практически на любом лигноцеллюлозном субстрате и быстро переходить к плодоношению. Вид *P. ostreatus* характеризуется высокой скоростью роста мицелия и значительной его конкурентоспособностью по отношению к сапрофитным микроорганизмам. Плодовые тела вешенки обыкновенной обладают высокими вкусовыми и питательными свойствами, приятным запахом, характеризуются простотой кулинарной обработки [6, 7]. Вешенка обыкновенная способна эффективно разлагать полисахариды, что делает её особенно ценной для переработки органических отходов и получения качественного продукта питания. Плодовые тела вешенки обыкновенной содержат все необходимые организму человека органические вещества, имеют низкую калорийность, но даже в небольшом количестве вызывают чувство сытости [8].

Вид *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kunt относится к роду *Pleurotus*, классу Basidiomycetes, отделу Mucophyta, царству Fungi. Плодовые тела образуются черепицеобразно друг над другом или рядом без какой-либо уловимой закономерности, от нескольких до 30 шт., изредка единичными экземплярами. Шляпка вешенки обыкновенной имеет диаметр от 5 до 30 см, выпуклая, неправильно-округлая, гладкая, голая, волокнистая, иногда с беловатым мицелиальным налетом, в начале развития темноокрашенная, окраска плодового тела зависит от штамма и освещения. Пластинки белые или беловатые, ровные, тесно расположенные, низбегающие на ножку. У многих экземпляров, особенно выросших в усло-

виях хорошей обеспеченности водой, в основании пластинок часто наблюдаются их соединения. Ножка вешенки обыкновенной имеет длину от 2 до 8 см, ширину от 2 до 4 см, эксцентрическая, белая, плотная, в основании часто волосистая. Наряду с грибами, имеющими хорошо развитую сравнительно длинную ножку, часто встречаются экземпляры с боковой еле заметной ножкой, а иногда она вовсе отсутствует. Мякоть белая, при самоокислении не изменяется, сочная, мягкая, с возрастом становится немного жестковатой и волокнистой с запахом отсыревшей муки. Споры бесцветные, эллипсоидные, 7-12x3-5 мкм. Мицелий гриба *P. ostreatus* разветвлённый, белого цвета, способен осваивать широкий спектр органических субстратов [9, 10, 11, 12, 13].

В плодовых телах вешенки обыкновенной содержатся 18 аминокислот, восемь из которых незаменимые: изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, триптофан, треонин, валин [14]. Состав липидов плодовых тел вешенки по соотношению ненасыщенных и насыщенных жирных кислот сходен с составом масел растительного происхождения [15]. Также в состав плодовых тел гриба *P. ostreatus* входят водорастворимые витамины (тиамин В1, рибофлавин В2, ниацин В3, пиридоксин В6, биотин В7, аскорбиновая и пантотеновая кислоты и жирорастворимые витамины (кальциферол, эргостерол, токоферол). Большую часть полисахаридов вешенки обыкновенной составляют маннит и хитин, которые образуют нерастворимую клетчатку плодового тела гриба. Волокна этих соединений являются эффективным сорбентом токсических веществ и способствуют их выведению из организма человека. В умеренных дозах грибная клетчатка вешенки нормализует деятельность кишечной микрофлоры [16, 17].

Помимо использования в пищу, в настоящее время многие виды высших базидиальных грибов применяются в качестве сырья для получения биологически активных веществ при создании лечебно-профилактических и лекарственных средств широкого спектра действия [18]. Одним из таких видов является *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer.

Вид *F. velutipes* (эноки) относится к отделу Basidiomycota, классу Agaricomycetes, семейству Physalacriaceae [19]. Вид *F. velutipes* занимает шестое место по общему объёму производства грибов в мире. Ежегодно в мире производится более 300 тыс. т плодовых тел гриба эноки [20, 21]. Промышленное выращивание данного вида наиболее распространено в Японии и некоторых других странах Дальнего Востока [22]. В естественных условиях ареал обитания гриба вида *F. velutipes* распространяется на страны с умеренным климатом. К ним можно отнести страны восточной Европы, а также азиатские страны, такие как Китай, Япония. Также данный вид грибов может встречаться в Австралии и Северной Америке. В естественной среде он растёт на мертвой древесине, листовом опаде, чаще всего в широколиственных лесах [23].

С точки зрения морфологических особенностей гриба *F. velutipes*, можно выделить небольшой размер шляпки, он варьирует в пределах 2-9 см в диаметре. У эноки шляпка выпуклая, но ближе к краю уплощается. Высота ножки может достигать 3-10 см, но при этом она относительно тонкая (0,5-1,0 см). По форме ножка цилиндрическая, занимает центральное положение. Цвет ножки сверху у пластинок чаще всего светло-желтый, книзу темнеет,

¹ Производство культивируемых грибов в России достигло рекордного показателя [сайт]. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; 2024. [обновлено 6 марта 2024; процитировано 26 марта 2025]. Доступно: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/proizvodstvo-kul-tiviruemykh-gribov-v-rossii-dostiglo-rekordnogo-pokazatelya/>

² Таксономия [сайт]. NCBI; [процитировано 05 мая 2025]; Доступно: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/38945/>.

а в некоторых случаях может быть даже черно-бурой. Мякоть данного вида грибов мягкая, цвет варьирует от кремового до желтоватого, обладает приятным вкусом и слабым грибным запахом. Форма спор овальная, поверхность гладкая, их размер достигает 8-9x5-6 мкм. Однако, культивируемые штаммы *F. velutipes* морфологически отличается от тех, которые растут в естественных условиях. Это связано с особенностями технологии интенсивного выращивания. В культуре плодовые тела эноки растут в высоких бутылках с узким горлышком, без доступа света и с повышенным содержанием углекислого газа. Поддержание таких условий необходимо для получения более длинной ножки и маленькой узкой шляпки белого цвета. Такой способ выращивания способствует получению наиболее коммерчески привлекательных плодовых тел [1, 24].

Химический состав плодовых тел эноки характеризуется наличием большого количества различных биологически активных веществ. Протеины составляют 31,2%, растворимые безазотистые вещества – 52,7%, жиры – 5,8%. Грибы вида *F. velutipes* богаты витаминами В1, В2, С, РР, также содержат в своем составе различные аминокислоты, в том числе незаменимые (гистидин, аланин, глутаминовую кислоту). Кроме того, эноки является источником различных групп биологически активных соединений: полисахаридов, стеролов, лектинов, пероксидазы, лакказы, целлюлазы, протеазы, обладающих лечебными и фармацевтическими свойствами. Известно, что употребление плодовых тел гриба *F. velutipes* оказывает положительное влияние на адаптацию организма к физическим нагрузкам, снижая уровень утомляемости организма. Помимо того, биологически активные вещества, которые содержатся в составе мицелия и плодовых тел эноки могут способствовать регуляции обмена веществ в организме, а также биологическому синтезу полинуклеотидов и протеинов [25, 26].

Чаще всего в качестве целлюлозосодержащего компонента для культивирования мицелия гриба *P. ostreatus* и гриба *F. velutipes* используют опилки различных пород лиственных деревьев с мягкой древесиной (береза, тополь, ольха), а также лиственных пород с более твердой древесиной (бук, дуб). Однако химический состав древесины различных пород деревьев имеет существенные отличия. Например, древесина березы характеризуется наличием 35,4% целлюлозы, 22,1% пентозанов, 4,7% маннанов, 1,3% галактана, 5,7% уроновых кислот, 19,7% лигнина, 0,14% зольных веществ. В то время как древесина дуба содержит 37,1% целлюлозы, 22,6% пентозанов, 4,7% уроновых кислот, 22,5% лигнина и 0,27% зольных веществ [1, 27]. Опираясь на литературные данные, можно сделать вывод о том, что химический состав разных пород деревьев различается и характеризуется наличием или отсутствием тех или иных компонентов. Помимо того, древесина различных пород деревьев различается по плотности и пористости. К примеру, плотность древесины березы составляет 520 кг/м³ (пористость 59%), а плотность дуба составляет 570 кг/м³ (пористость 57%) [28]. Главным недостатком субстратов на основе опилок является недостаточное количество азота, который влияет на рост и развитие плодовых тел. Поэтому в субстраты вносят различные азотистые добавки для увеличения урожайности съедобных грибов [29]. В качестве такой добавки можно использовать отход пивного производства – зерновую пивную дробину. Пивная дробина

является высокобелковым продуктом, содержащим все незаменимые аминокислоты [30]. Литературные данные свидетельствуют, что пивная дробина способствует росту грибов не только благодаря высокому содержанию белка, но и физическим свойствам, таким как размер частиц, объемный вес, удельная плотность, пористость и способность удерживать воду. В исследованиях сырая пивная дробина была успешно использована в качестве основного субстратного материала для культивирования грибов рода *Pleurotus* [31, 32]. На лабораторном этапе более высокая скорость роста и получение биомассы обеспечивались при использовании пивной дробины с добавлением солодового экстракта. На промышленном этапе смесь из пивной дробины и солодового жмыха способствовала более раннему формированию плодовых тел [33].

Целью данной научно-исследовательской работы было определение опилок разных пород древесины, наиболее подходящих для составления субстратов с добавлением разных концентраций зерновой пивной дробины для выращивания мицелия и плодовых тел грибов *P. ostreatus* и *F. velutipes*.

Методы

Работу проводили в период 2024-2025 годов в микробиологической лаборатории и на кафедре биологии и технологий живых систем Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого. Для проведения научно-исследовательской работы использовали штамм *Pleurotus ostreatus* 135 и штамм *Flammulina velutipes* F-562 из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» ГосНИИгенетика. Опыт по изучению роста и развития мицелия грибов видов *P. ostreatus* и *F. velutipes* проводили в условиях лабораторного эксперимента на субстратах, состоящих из опилок различных пород деревьев: липы, яблони, дуба, березы и лиственницы. Для этого, сухие опилки предварительно замачивали в дистиллированной воде и оставляли на сутки. Замоченными опилками заполняли чашки Петри. Чашки Петри стерилизовали и инокулировали чистой культурой изучаемых грибов, затем эти чашки помещали в термостат при температуре 24°C.

На следующем этапе было проведено исследование по определению оптимального количества зерновой пивной дробины, которое способствовало бы наиболее активному росту мицелия изучаемых грибов. Для этого к субстратам ее добавляли в различных концентрациях, в качестве контроля к субстрату добавляли пшеничные отруби в концентрации 5%. Опыт закладывали в чашках Петри. Замеры радиального роста проводили на 4, 8, 12 сутки, измеряли диаметр колоний и отмечали характер роста по 3-балльной шкале, а также наличие или отсутствие плодовых тел. Далее изучали образование плодовых тел на субстратах, которые показали высокую скорость роста мицелия и наличие зачатков плодовых тел в чашках Петри. Для этого использовали субстратные блоки из полиэтилена низкого давления. Оценивали такие показатели как время полного зарастания субстрата, образование примордиев и плодовых тел, а также урожайность изучаемых видов грибов. Питательные субстраты стерилизовали в автоклаве при давлении 1,3 атм. в течение 90 мин. Посевы проводили в ламинарном боксе БАВнп-01-«Ламинар-С». Повторность опыта 5-кратная.

Характер роста и развития гриба оценивали в баллах, используя следующую шкалу:

1 – редкая; 2 – средняя; 3 – плотная.

Ростовой коэффициент (РК) высчитывали по формуле:

$$PK = \frac{d \times h \times g}{t}$$

где РК – ростовой коэффициент; *d* – диаметр колонии, мм; *h* – высота колонии, мм; *t* – возраст колонии, сутки; *g* – плотность колонии, балл [34].

Результаты

Изучение роста мицелия гриба *P. ostreatus* и гриба *F. velutipes* проводили на субстратах из опилок различных пород деревьев. Результаты по определению роста мицелия гриба *P. ostreatus* в чашках Петри представлены на рисунке 1.

Анализируя результаты рисунка 1, можно сделать вывод о том, что наиболее подходящим субстратом для выращивания гриба *P. ostreatus*, является субстрат на основе опилок березы. На 7 сутки культивирования мицелия средний диаметр колоний достигал 55,4 мм. При этом

отмечали высокое качество мицелия: он был плотным, стелющимся, местами приподнятым над поверхностью субстрата. При выращивании мицелия гриба *P. ostreatus* на субстратах, состоящих из опилок липы, этот показатель составлял 43,8 мм, лиственницы – 44,6 мм, а яблони – 41,2 мм, то есть мицелий рос менее интенсивно, чем при выращивании на опилках березы. Хуже всего мицелий вешенки обыкновенной развивался на субстрате из дубовых опилок. Мицелий был паутинистым, редким, средний диаметр колоний на 7 сутки составлял 34,2 мм, что было значительно меньше, чем при культивировании мицелия *P. ostreatus* на опилках березы. Полученные результаты скорее всего связаны со значительной разницей в плотности древесины разных пород деревьев и особенностью их состава. Поэтому для дальнейших исследований по изучению роста и развития гриба *P. ostreatus* были выбраны березовые опилки.

Результаты по определению роста мицелия гриба *F. velutipes* в чашках Петри на опилках различных пород деревьев представлены на рисунке 2.

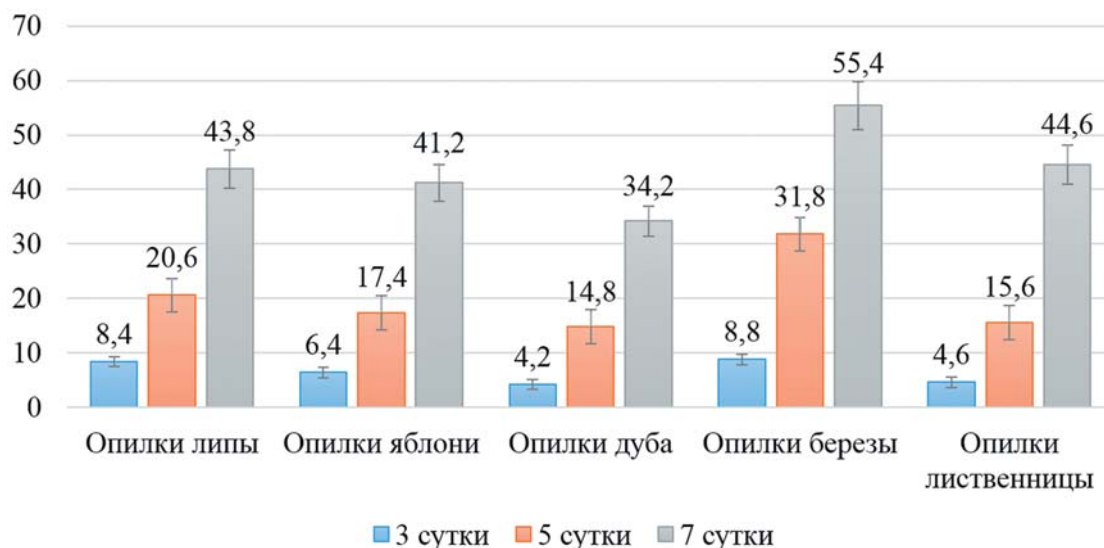


Рис 1. Изучение роста мицелия гриба *P. ostreatus* на субстратах из опилок различных пород деревьев, мм
 Fig. 1. Study of the mycelium growth of the mushroom *P. ostreatus* on sawdust substrates of various tree species, mm

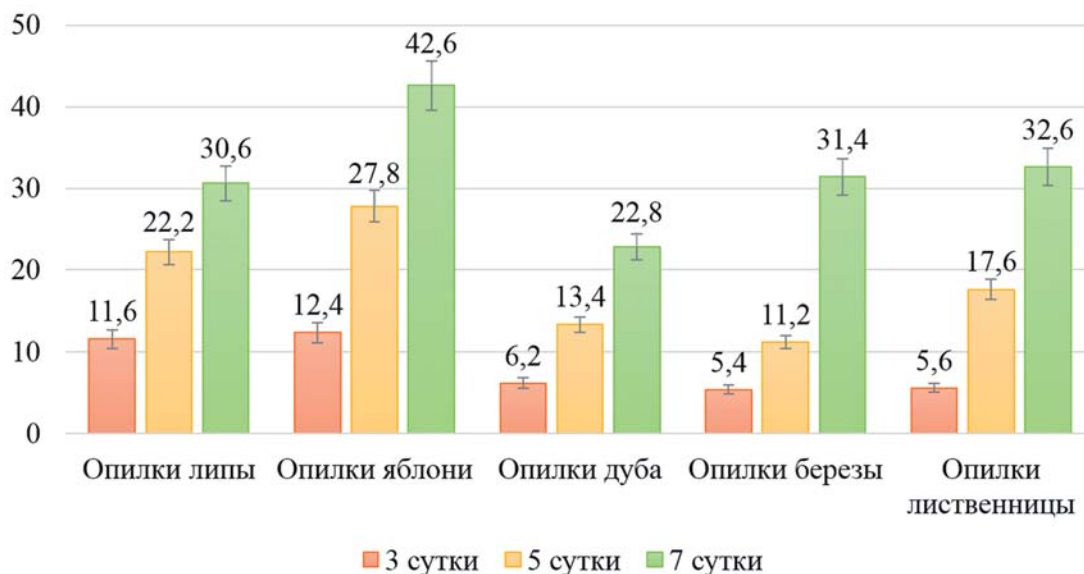


Рис 2. Изучение роста мицелия гриба *F. velutipes* на субстратах из опилок различных пород деревьев, мм
 Fig. 2. Study of the mycelium growth of the mushroom *F. velutipes* on sawdust substrates of various tree species, mm

Таблица 1. Определение наилучшей концентрации зерновой пивной дробины в субстрате из опилок
Table 1. Determination of the best brewer's grains concentration of in the sawdust substrate

№	Субстрат	Диаметр колонии, мм			%, к контролю	РК	Образование зародышей плодовых тел
		4 сутки	8 сутки	12 сутки			
<i>P. ostreatus</i>							
1	Опилки березы + отруби 5% (контроль)	16,2±1,40	28,1±2,60	62,1±6,54	100	53	+
2	Опилки березы + пивная дробина 5%	13,4±1,26	25,6±1,90	147,4±3,50	76	27	+
3	Опилки березы + пивная дробина 10%	24,3±0,38	40,3±0,82	73,1±4,76	118	94	+
4	Опилки березы + пивная дробина 15%	22,0±1,15	36,2±2,57	68,9±4,42	111	60	+
5	Опилки березы + пивная дробина 20%	18,4±1,58	38,9±2,51	69,6±5,83	112	59	+
6	Опилки березы + пивная дробина 25%	17,2±2,35	36,5±3,24	62,5±4,75	101	54	-
7	Опилки березы + пивная дробина 30%	16,3±1,42	36,7±1,77	59,9±3,98	96	51	-
<i>F. velutipes</i>							
1	Опилки яблони + отруби 5% (контроль)	22,1±2,03	41,3±3,92	70,8±6,74	100	61	+
2	Опилки яблони + пивная дробина 5%	21,2±1,98	39,4±3,58	66,6±6,14	94	38	+
3	Опилки яблони + пивная дробина 10%	28,3±2,45	47,5±4,31	78,9±7,32	111	68	+
4	Опилки яблони + пивная дробина 15%	24,3±2,19	44,6±4,17	76,8±7,13	108	66	+
5	Опилки яблони + пивная дробина 20%	22,2±1,92	41,2±3,03	73,4±5,13	104	63	+
6	Опилки яблони + пивная дробина 25%	21,0±1,87	39,2±3,19	71,6±5,90	101	61	-
7	Опилки яблони + пивная дробина 30%	20,5±1,93	33,2±2,06	69,1±4,64	98	59	-

Анализируя данные рисунка 2, можно сделать вывод о том, что наиболее подходящим субстратом для выращивания гриба *F. velutipes*, является субстрат на основе опилок яблони. На 7-е сутки культивирования мицелия средний диаметр колонии достигал 42,6 мм. Несколько хуже были результаты при выращивании мицелия эноки на субстрате, состоящем из опилок лиственницы, средний диаметр колоний на 7 сутки составил 32,6 мм, на субстрате из опилок липы – 30,6 мм, опилок березы – 31,4 мм. Отмечали, что на изучаемых субстратах везде образовывался мицелий высокого качества: он был белого цвета, плотным, стелющимся, местами приподнятым над поверхностью субстрата. Хуже всего мицелий эноки развивался на субстрате из дубовых опилок, средний диаметр колоний на 7 сутки составлял 22,8 мм, мицелий был редким, паутинистым. Возможно это связано с высоким содержанием дубильных веществ, плотной структурой и низкой доступностью питательных соединений в древесине, поэтому для культивирования вида *F. velutipes* предпочтительнее использовать древесину мягколиственных пород деревьев, например, яблони.

После определения пород деревьев, на опилках которых наиболее интенсивно развивался мицелий изу-

чаемых видов грибов, был заложен опыт по определению концентраций зерновой пивной дробины, используемой в качестве питательной добавки к субстратам (табл. 1).

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод, что при добавлении в субстрат 10% пивной дробины наблюдали лучшие показатели роста и развития мицелия гриба *P. ostreatus*. Средний диаметр колоний при этом составлял 73,1 мм, что превышало этот показатель в контрольном варианте на 18%, при этом отмечали начало плодоношения и высокий ростовой коэффициент (РК 94). Несколько хуже был результат при использовании в качестве добавки 15% пивной дробины, средний диаметр колоний составлял 68,9 мм, что было выше, чем в контроле на 11%, а ростовой коэффициент был 60. Добавление в субстрат 5% пивной дробины замедляло рост мицелия, диаметр колонии достигал 47,4 мм, что составило 76% к контролю. При добавлении дробины в концентрации 25% и 30% рост мицелия также замедлялся, показатели были близки к контролю, плодоношение отсутствовало. Для гриба *F. velutipes* максимальные значения роста мицелия также были получены при добавлении 10% пивной дробины, диа-

Таблица 2. Изучение плодообразования и урожайности гриба *P. ostreatus* и гриба *F. velutipes* на субстратах с добавлением зерновой пивной дробины
 Table 2. Study of fruit formation and yield of the mushroom *P. ostreatus* and the mushroom *F. velutipes* on substrates with the addition of brewer's grains

№	Субстрат	Полное заращивание субстрата, сутки	Начало образования примордиев, сутки	Образование плодовых тел, сутки	Урожайность, г/кг субстрата
<i>P. ostreatus</i>					
1	Опилки березы + 5% пшеничных отрубей	13	16	20	142,4
2	Опилки березы + пивная дробина 5%	15	19	23	110,5
3	Опилки березы + пивная дробина 10%	10	13	15	187,5
4	Опилки березы + пивная дробина 15%	11	15	17	175,6
5	Опилки березы + пивная дробина 20%	13	17	19	146,3
<i>F. velutipes</i>					
1	Опилки яблони + 5% пшеничных отрубей	20	35	40	192,5
2	Опилки яблони + пивная дробина 5%	22	38	44	187,8
3	Опилки яблони + пивная дробина 10	18	32	37	234,2
4	Опилки яблони + пивная дробина 15%	19	34	39	220,7
5	Опилки яблони + пивная дробина 20%	19	35	40	200,4

метр колоний достигал 78,9 мм, что на 11% выше этого показателя в контроле, ростовой коэффициент был равен 68. При использовании 15% пивной дробины диаметр колоний составил 76,8 мм, что на 8% больше чем в контроле. При добавлении 5% пивной дробины диаметр колоний был 66,6 мм, что на 6% меньше, чем в контроле. При добавлении 25% и 30% зерновой пивной дробины показатель роста мицелия оставался относительно высоким – 73,4 мм и 71,6 мм соответственно, но образование плодовых тел не наблюдалось.

Далее был заложен опыт по определению времени колонизации субстрата, плодообразования и урожайности изучаемых видов грибов в субстратных блоках. В опыте использовали субстраты на основе опилок березы для гриба *P. ostreatus* и опилок яблони для гриба *F. velutipes*, к которым добавляли зерновую пивную дробину в концентрации 5%, 10%, 15% и 20%, так как именно в данном диапазоне концентраций были получены наилучшие результаты в предварительном опыте (табл. 2).

Данные, представленные в таблице показывают, что наиболее быстрое заращивание субстрата (10 суток), формирование примордиев (13 суток) и образование плодовых (15 суток) отмечали у гриба *P. ostreatus* при добавлении 10% зерновой пивной дробины в питательный субстрат из опилок березы, урожайность при этом составляла 187,5 г/кг субстрата. Использование зерновой пивной дробины больше 15% приводит к замедлению развития и снижению урожайности вешенки обыкновенной, что указывает на необходимость соблюдения соотношения компонентов в субстрате. Для гриба *F. velutipes* концентрация зерновой пивной дробины в 10%

также показала наилучшие результаты роста мицелия и образования плодовых тел. При таком количестве внесения зерновой пивной дробины в субстрат на основе опилок яблони полное заращивание субстрата происходило на 18 сутки, образование примордиев на 32 сутки, а начало плодообразования на 37 сутки, урожайность при этом составляла 234 г/кг субстрата. Схожие результаты по колонизации субстрата и образованию плодовых тел наблюдали при добавлении 15% и 20% зерновой пивной дробины, но урожайность была ниже и составляла 220,7 г/кг (при 15%) и 200,4 г/кг субстрата (при 20%). При добавлении 5% зерновой пивной дробины отмечали самое длительное прохождение всех фаз развития гриба эноки и самую низкую урожайность – 187,8 г/кг субстрата.

Обсуждение

По результатам проведенной научно-исследовательской работы можно сделать вывод, что для выращивания гриба *P. ostreatus* (вешенки обыкновенной) больше всего подходит субстрат на основе березовых опилок с добавлением 10% зерновой пивной дробины. Такой состав субстрата обеспечивает быструю колонизацию его мицелием, плодовые тела образуются раньше, что способствует более высокой урожайности (187,5 г/кг субстрата). При выращивании гриба *F. velutipes* (эноки) также рекомендуется использовать субстрат из опилок яблони с добавлением 10% зерновой пивной дробины, так как именно такой состав субстрата позволяет сократить цикл выращивания гриба эноки и увеличить урожайность до 234 г/кг субстрата.

● Литература

1. Бухало А.С., Бисько Н.А., Соломко Э.Ф., Билай В.Т., Митропольская Н.Ю., Поединок Н.Л., Гродзинская А.А., Михайлова О.Б. Культивирование съедобных и лекарственных грибов. Практические рекомендации. Киев: «Чернобыльинтеринформ»; 2004. 127 с.
2. Pashaei K.H.A., Irankhah, K., Namkhah, Z. et al. Edible mushrooms as an alternative to animal proteins for having a more sustainable diet: a review. *J Health Popul Nutr.* 2024;(43):1-13. <https://doi.org/10.1186/s41043-024-00701-5>
3. Aida F.M.N.A., Shuhaimi M., Yazid M., Maaruf A.G. Mushroom as a potential source of prebiotics: a review. *Trends in Food Science & Technology.* 2009;20(11-12):567-575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.007>
4. Анненков Б.Г., Азарова В.А. Оптимизация и использование в ДФО России европейской полустерильной технологии культивирования вешенки обыкновенной. *Достижения науки и техники АПК.* 2010;(6):40-43. <https://elibrary.ru/msrjxk>
5. Производство культивируемых грибов в России достигло рекордного показателя [сайт]. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; 2024. [обновлено 6 марта 2024; процитировано 26 марта 2025]. Доступно: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/proizvodstvo-kul'tiviruemykh-gribov-v-rossii-dostiglo-rekordnogo-pokazatelya/>
6. Виноградова В.С. Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Вып. 57. Кострома: Изд-во КГСХА; 1999.
7. Алексеева К.Л. Культивируемые грибы: научно-производственный справочник. М: Россельхозакадемия; 2000.
8. Гарибова Л.В., Колтунов Б.П. Грибная индустрия сегодняшнего дня. Биология наших дней. М. 1987. С. 115-135.
9. Вассер С.П. Высшие базидиомицеты: систематика, экология, практическое значение. Киев: Наукова думка; 1988.
10. Гусев А.М., Бессарабов В.П., Пузанов А.И. Промышленное грибоводство. М: Агропромиздат; 1996.
11. Юдин А.В. Большой определитель грибов: атлас. М: АСТ ; Астрель; 2001.
12. Промышленное культивирование съедобных грибов. Киев: Наукова думка; 1978.
13. Польских С.В. Культивирование вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*). Воронеж: ВГАУ; 2014. 123 с. <https://elibrary.ru/umasld>
14. Соломко Э.Ф. Состав плодовых тел и мицелия высшего съедобного гриба — вешенки обыкновенной. *Прикладная биохимия и микология.* 1985;23(2):230-236.
15. Химический состав пищевых продуктов. М: ВО «Агропромиздат»; 1979.
16. Алексеенко Е.Н., Полишко Т.М., Винников А.И. Пищевая, лечебная и экологическая ценность грибов *Pleurotus ostreatus*. *Вестник днепропетровского университета. биология, экология.* 2010;(1):3-9. <https://elibrary.ru/pxzgtg>
17. Бабицкая В.Г., Щерба В.В. *Pleurotus ostreatus* – продуцент комплекса биологически активных веществ. *Прикладная биохимия и микробиология.* 1996;32(2):203-210.
18. Tang C., Hoo P.C.X., Tan L.T.H., Pusparajah P., Khan T.M., Lee L.H., Goh V.H., Chan K.G. Golden Needle Mushroom: A culinary medicine with evidenced-based biological activities and health promoting properties. *Frontiers in Pharmacology.* 2016;7:474. <https://doi.org/10.3389/fphar.2016.00474>
19. Taxonomy. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/38945/> [процитировано 05 мая 2025].
20. Xie C., Gong W., Yan L. Biodegradation of ramie stalk by *Flammulina velutipes*: mushroom production and substrate utilization. *AMB Expr.* 2017;(171):1-8. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0480-4>
21. Abhishek S. Cultivation of winter Mushroom (*Flammulina velutipes*). *Indian Farmers' Digest.* 2019;(11):7-11.
22. Дыйканова М.Е., Бочарова М.А., Воробьев М.В., Терехова В.И. Культивируемые съедобные грибы. Москва: МЭСХ; 2023. <https://elibrary.ru/ewwnzc>
23. Sharma V.P., Barh A., Bairwa R.K., Annetu S.K., Kumari B., Kamal S. Enoki Mushroom (*Flammulina velutipes* (Curtis) Singer) Breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops.* 2021;(10):423-442. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66969-0_11
24. Sangkaew M., Katsuki K. The Cultivation of *Flammulina velutipes* by Using Sunflower Residues as Mushroom Substrate. *Journal of Advanced Agricultural Technologies.* 2017;(2):140-144.
25. Ли Юй, Талигуэл, Бао Хайин. Лекарственные грибы в традиционной китайской медицине и современных биотехнологиях. Киров: О-Краткое; 2009. 319 с. ISBN 9785914020528
26. Краснопольская Л.М., Шуктуева М.И., Автономова А.В., Ярина М.С., Джавахян Б.Р., Исакова Е.Б., Бухман В.М. Противоопухолевые и антиоксидантные свойства водорастворимых полисахаридов из мицелия базидиального гриба *Flammulina velutipes*. *Антибиотики и химиотерапия.* 2016;(61):11-12. <https://elibrary.ru/yjtpyx>
27. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: Санкт-Петербург: СПбЛТА; 1999.
28. Васильев В.В. Древесное сырьё и стружка для производства древесностружечных плит. Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений; 2023.
29. Naim L., Alsanad M., el Sebaaly Z., Shaban N., Abou Fayssal S., Sassine Y. Variation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. (1871) performance subjected to different doses and timings of nano-urea. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 2020;27(6):1573-1579. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.03.019>
30. Петров С.М., Филатов С.Л., Пивнова Е.П., Шибанов В.М. К вопросу о способах утилизации пивной дробины. *Пиво и напитки.* 2014;(6):32-37. <https://elibrary.ru/tkluyz>
31. Townsley P.M. Preparation of commercial products from brewer's spent grain and trub. *MBAA Technical Quarterly.* 1979;16:130-134.
32. Gregori A., Svagelj M., Pahor B., Berovic M., Pohleven F. The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production. *New Biotechnology.* 2008;25:157-161. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2008.08.003>
33. Lara M., Arias A., Villaseñor L. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *P. pulmonarius* on spent brewer's grain and tequila maguey bagasse. Proceedings IV International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products. Cuernavaca. Mexico. 2002. P.323-330.
34. Бисько Н.А., Бухало А.С., Вассер С.П. Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубоководной культуре и др. Киев: Наук. Думка; 1983.

● References

1. Buhalo A.C., Bis'ko N.A., Solomko Je.F., Bilaj V.T., Mitropol'skaja N.Ju., Poedinok N.L., Grodzinskaja A.A., Mihajlova O.B. Cultivation of edible and medicinal mushrooms. Kiev: «Chernobyl'interinform»; 2004. 127 p. (in Russ.)
2. Pashaei K.H.A., Irankhah, K., Namkhah, Z. et al. Edible mushrooms as an alternative to animal proteins for having a more sustainable diet: a review. *J Health Popul Nutr.* 2024;(43):1-13. <https://doi.org/10.1186/s41043-024-00701-5>
3. Aida F.M.N.A., Shuhaimi M., Yazid M., Maaruf A.G. Mushroom as a potential source of prebiotics: a review. *Trends in Food Science & Technology.* 2009;20(11-12):567-575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.007>

4. Annenkov B.G., Azarova V.A. Optimization and use of European semi-sterile cultivation technology for common oyster mushrooms in the Russian Far East. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2010;(6):40-43. <https://elibrary.ru/msrjxk> (in Russ.)
5. <https://mcx.gov.ru/press-service/news/proizvodstvo-kultiviruemykh-gribov-v-rossii-dostiglo-rekordnogo-pokazatelya/> (in Russ.)
6. Vinogradova V.S. Trudy Proceedings of the Kostroma State Agricultural Academy. Vyp. 57. Kostroma: Izd-vo KGSZA; 1999. (in Russ.)
7. Alekseeva K.L. Cultivated Mushrooms: Scientific and Production Handbook. M: Rossel'hozokademija; 2000. (in Russ.)
8. Garibova L.V. Koltunov B.P. The mushroom industry of today. The biology of today. M. 1987. P. 115-135. (in Russ.)
9. Vasser S.P. Higher Basidiomycetes: Systematics, Ecology, and Practical Significance. Kiev: Naukova dumka; 1988. (in Russ.)
10. Gusev A.M., Bessarabov V.P., Puzanov A.I. Industrial mushroom farming. M: Agropromizdat; 1996. (in Russ.)
11. Judin A.V. The Big Mushroom Determinant: Atlas. M: AST; Astrel'; 2001. (in Russ.)
12. Industrial cultivation of edible mushrooms. Kiev: Naukova dumka; 1978. (in Russ.)
13. Polskih S.V. Cultivation of the common oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). Voronezh: VGU; 2014. 123 p. <https://elibrary.ru/umasld> (in Russ.)
14. Solomko Je.F. Composition of the fruiting bodies and mycelium of the highest edible mushroom, the common oyster mushroom. *Prikladnaja biokhimiya i mikologija*. 1985;23(2):230-236. (in Russ.)
15. Chemical composition of food products. M: VO «Agropromizdat»; 1979. (in Russ.)
16. Alekseenko E.N., Polishko T.M., Vinnikov A.I. Nutritional, medicinal, and ecological value of *Pleurotus ostreatus* mushrooms. *Vestnik dnepropetrovskogo universiteta. biologija, jekologija*. 2010;(1):3-9. <https://elibrary.ru/pxzggt> (in Russ.)
17. Babickaja V.G., Shherba V.V. *Pleurotus ostreatus* is a producer of a complex of biologically active substances. *Applied biochemistry and microbiology*. 1996;32(2):203-210. (in Russ.)
18. Tang C., Hoo P.C.X., Tan L.T.H., Pusparajah P., Khan T.M., Lee L.H., Goh B.H., Chan K.G. Golden Needle Mushroom: A culinary medicine with evidenced-based biological activities and health promoting properties. *Frontiers in Pharmacology*. 2016;7:474. <https://doi.org/10.3389/fphar.2016.00474>
19. Taxonomy. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/38945/>
20. Xie C., Gong W., Yan L. Biodegradation of ramie stalk by *Flammulina velutipes*: mushroom production and substrate utilization. *AMB Expr*. 2017;(171):1-8. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0480-4>
21. Abhishek S. Cultivation of winter Mushroom (*Flammulina velutipes*). *Indian Farmers' Digest*. 2019;(11):7-11.
22. Dyjkanova M.E., Bocharova M.A., Vorob'ev M.V., Terehova V.I. Cultivated Edible Mushrooms. Moskva: MJeSH; 2023. (in Russ.) <https://elibrary.ru/ewwnzc>
23. Sharma V.P., Barh A., Bairwa R.K., Annepu S.K., Kumari B., Kamal S. Enoki Mushroom (*Flammulina velutipes* (Curtis) Singer) Breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. 2021;(10):423-442. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66969-0_11
24. Sangkaew M., Katsuki K. The Cultivation of *Flammulina velutipes* by Using Sunflower Residues as Mushroom Substrate. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*. 2017;(2):140-144.
25. Li Juj, Tuligujel, Bao Hajin. Medicinal Mushrooms in Traditional Chinese Medicine and Modern Biotechnology. Kirov: O-Kratkoe; 2009. 319 p. ISBN 9785914020528. (in Russ.)
26. Krasnopol'skaja L.M., Shuktueva M.I., Avtonomova A.V., Jarina M.S., Dzhavahjan B.R., Isakova E.B., Buhman V.M. Antitumor and antioxidant properties of water-soluble polysaccharides from the mycelium of the basidial fungus *Flammulina velutipes*. *Antibiotiki i himioterapija*. 2016;(61):11-12. <https://elibrary.ru/yjtpyx> (in Russ.)
27. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaja A.V. Chemistry of wood and synthetic polymers: A textbook for universities. Sankt-Peterburg: SPbLTA; 1999. 628 s. (in Russ.)
28. Vasil'ev V.V. Wood raw materials and shavings for the production of particle boards. 2nd edition, revised and supplemented. Sankt-Peterburg, 2023. 64 p. (in Russ.)
29. Naim L., Alsanad M., el Sebaaly Z., Shaban N., Abou Fayssal S., Sassine Y. Variation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. (1871) performance subjected to different doses and timings of nano-urea. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2020;27(6):1573-1579. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.03.019>
30. Petrov S.M., Filatov S.L., Pivnova E.P., Shibanov V.M. On the issue of beer dregs disposal. *Beer and beverages*. 2014;(6):32-37. <https://elibrary.ru/tkluyz> (in Russ.)
31. Townsley P.M. Preparation of commercial products from brewer's spent-grain and trub. *MBAA Technical Quarterly*. 1979;16:130-134.
32. Gregori A., Svagelj M., Pahor B., Berovic M., Pohleven F. The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production. *New Biotechnology*. 2008;25:157-161. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2008.08.003>
33. Lara M., Arias A., Villaseñor L. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *P. pulmonarius* on spent brewer's grain and tequila maguey bagasse. Proceedings IV International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products. Cuernavaca. Mexico. 2002. P.323-330.
34. Bis'ko N.A., Buhalo A.S., Vasser S.P. Higher edible basidiomycetes in surface and deep culture, etc. K'iev: Nauk. Dumka; 1983. (in Russ.)

Об авторах:

Анастасия Валерьевна Третьякова – младший научный сотрудник микробиологической лаборатории,

<https://orcid.org/0009-0004-6125-1206>,

SPIN-код: 5486-0434, glazynovaanastasiya@gmail.com

Ольга Владимировна Прокудина – младший научный сотрудник микробиологической лаборатории,

<https://orcid.org/0009-0007-0003-1092>, SPIN-код: 9582-5520,

автор для переписки, prokudinaolga11@gmail.com

Анастасия Сергеевна Мягкова – младший научный сотрудник микробиологической лаборатории,

<https://orcid.org/0009-0002-7690-2281>, SPIN-код: 6415-9331

Георгий Вячеславович Песцов – заведующий микробиологической лабораторией, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,

<https://orcid.org/0000-0002-3877-0102>, SPIN-код: 8908-7112

About the Authors:

Anastasia V. Tretyakova – Junior Researcher

at the Microbiological Laboratory,

<https://orcid.org/0009-0004-6125-1206>,

SPIN-code: 5486-0434, glazynovaanastasiya@gmail.com

Olga V. Prokudina – Junior Researcher

at the Microbiological Laboratory,

<https://orcid.org/0009-0007-0003-1092>,

SPIN-code: 9582-5520, Corresponding Author, prokudinaolga11@gmail.com

Anastasia S. Myagkova – Junior Researcher

at the Microbiological Laboratory, <https://orcid.org/0009-0002-7690-2281>,

SPIN-code: 6415-9331

Georgiy V. Pestsov – Doctor of Agricultural Sciences,

Head of the Microbiological Laboratory, Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-3877-0102>, SPIN-code: 8908-7112

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-132-140>

УДК: 004.8 338.439

Т.Ю. Шабанов, А.А. Копченов

ФГБОУ ВО Финансовый университет
при Правительстве РФ, Уральский филиал
454084, Россия, Челябинская область,
г. Челябинск, ул. Работниц, 58

*Автор для переписки: shabanovtyu@mail.ru

Вклад авторов: А.А. Копченов: методология, концептуализация, создание рукописи и ее редактирование. Т.Ю. Шабанов: концептуализация, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шабанов Т.Ю., Копченов А.А. Искусственный интеллект: риски и практика их минимизации. *Овощи России*. 2026;(1):132-140.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-132-140>

Поступила в редакцию: 26.08.2025

Принята к печати: 14.11.2025

Опубликована: 16.03.2026

Timofei Yu. Shabanov. Alexey A. Kopchenov

Ural Branch of the Financial University
58, Rabotnits Street, Chelyabinsk, 454084, Russia

*Corresponding Author: shabanovtyu@mail.ru

Authors' Contributions. A.A. Kopchenov: methodology, conceptualization, writing – review & editing. T.Yu. Shabanov: conceptualization, writing – review & editing.

Conflict of interest. The authors declare no other conflicts of interest.

For citations: Shabanov T.Yu., Kopchenov A.A. Artificial intelligence: risks and their minimization practices. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):132-140. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-132-140>

Received: 26.08.2025

Accepted for publication: 14.11.2025

Published: 16.03.2026

Искусственный интеллект: риски и практика их минимизации

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Исследование посвящено минимизации рисков применения искусственного интеллекта (ИИ) в овощеводстве, что соответствует глобальным трендам Responsible AI и AgriTech Sustainability, необходимости снижения финансовых, технических и экологических угроз, связанных с внедрением ИИ в сельское хозяйство.

Методы. Использована методика количественной оценки рисков включающая: идентификацию рисков (технические, экономические, агротехнические, социальные, юридические), оценку вероятности (P) и потенциального ущерба (L) для предприятий разного масштаба (крупные, средние, малые), расчет и ранжирование рисков по критерию $R=L \times P$, предложены методы минимизации (профилактика, страхование, резервирование средств).

Результаты. Выявлено, что крупные предприятия могут нести наибольшие потери (до 4 млн USD), особенно из-за экономических и агротехнических рисков; средние предприятия наиболее уязвимы к высоким начальным затратам и зависимости от поставщиков (примерный ущерб ~2,1 млн USD); малые предприятия подвержены рискам монополизации и банкротства, несмотря на меньший абсолютный ущерб (~952 тыс. USD). Анализ мирового опыта методов минимизации рисков выявил различие в подходах: США ориентированы на рыночные механизмы (страхование, калибровка моделей), Европейский Союз настроен на жесткое регулирование (GDPR, AI Act), в Китае преобладает госплатформы и централизация, а Россия ориентирована на пилотные проекты в рамках госпрограмм и импортозамещения. В российской практике использования методов минимизации рисков выделяют такие проблемы как: правовую неопределенность из-за отсутствия четких критериев «вины» ИИ, сложности в доказательстве страховых случаев; технологические ограничения из-за отсутствия единых методик оценки рисков, дефицита данных для актуарных расчетов; рыночные барьеры (высокие тарифы, чрезмерная осторожность страховщиков).

Заключение. Предложены рекомендации по минимизации рисков ИИ. Для крупных предприятий: внедрение резервных систем, страхование киберрисков, мониторинг экологических последствий; для средних предприятий: фокус на ROI-анализ, партнерство с надежными поставщиками, обучение персонала; для малых предприятий: использование локализованных ИИ-решений, участие в госпрограммах поддержки, кооперация для снижения зависимости; на государственном уровне: развитие нормативной базы для ИИ в сельском хозяйстве, стимулирование страхования рисков, поддержка R&D в области AgriTech.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

искусственный интеллект (ИИ), овощеводство, минимизация рисков, количественная оценка, AgriTech, Responsible AI, киберриски, страхование, международный опыт, методика оценки, устойчивое сельское хозяйство, экономические риски, технические риски



Artificial intelligence: risks and their minimization practices

ABSTRACT

Relevance. The study focuses on minimizing the risks associated with artificial intelligence (AI) application in vegetable farming, aligning with global trends such as Responsible AI and AgriTech Sustainability.

Methods. A quantitative risk assessment methodology was proposed, including: risk identification (technical, economic, agrotechnical, social, legal); probability (P) and potential damage (L) assessment for enterprises of different scales (large, medium, small); risk calculation and ranking using the criterion $R=L \times P$; proposing mitigation strategies (prevention, insurance, reserve funding).

Results. The study yielded the following conclusions. Large enterprises face the highest potential losses (up to \$4 million USD), primarily due to economic and agrotechnical risks. Medium-sized enterprises are most vulnerable to high initial costs and supplier dependency (estimated damage ~\$2.1 million USD). Small enterprises are exposed to monopolization and bankruptcy risks, despite lower absolute losses (~\$952,000 USD). An analysis of global risk mitigation approaches revealed differences in strategies. The U.S. relies on market mechanisms (insurance, model calibration). The European Union emphasizes strict regulation (GDPR, AI Act). China adopts state platforms and centralized control. Russia focuses on pilot projects under government programs and import substitution. In the Russian context, risk mitigation faces challenges such as: Legal uncertainty due to unclear AI liability criteria and difficulties in proving insurance cases. Technological limitations due to the lack of unified risk assessment methods and insufficient data for actuarial calculations. Market barriers, including high premiums and insurers' excessive caution.

Conclusion. The study summarizes key findings and provides the following recommendations for AI risk mitigation. For large enterprises: Implement backup systems, insure against cyber risks, and monitor environmental impacts. For medium enterprises: Focus on ROI analysis, partner with reliable suppliers, and train personnel. For small enterprises: Use localized AI solutions, participate in government support programs, and collaborate to reduce dependency. At the government level: Develop regulatory frameworks for AI in agriculture, incentivize risk insurance, and support AgriTech R&D.

KEYWORDS:

artificial intelligence (AI), vegetable farming, risk minimization, quantitative assessment, AgriTech, Responsible AI, cyber risks, insurance, international best practices, assessment methodology, sustainable agriculture, economic risks, technical risks.

Введение

Актуальность исследований по минимизации рисков применения искусственного интеллекта (ИИ) в овощеводстве подтверждается мировым трендом на ответственный ИИ (Responsible AI) и устойчивое сельское хозяйство (AgriTech Sustainability). Внедрение ИИ в производственные процессы сопряжено с необходимостью решения практических проблем его применения, а также с необходимостью обоснования методических подходов, обеспечивающих снижение рисков в условиях двойной неопределенности: самих результатов сельскохозяйственного производства и последствий использования ИИ.

Цель исследования – выделить приоритетные направления минимизации рисков при применении ИИ в российском овощеводстве. Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи.

- 1) анализ и классификация рисков применения ИИ в овощеводстве;
- 2) анализ стоимостной оценки рисков ИИ;
- 3) анализ опыта минимизации ИИ в овощеводстве;
- 4) ситуационный анализ рынка страховых услуг – в части страхования ущербов, связанных с искусственным интеллектом.

Методы

На основе синтеза традиционных методов оценки рисков, методов финансовой оценки инвестиционных проектов и методов оценки инновационных разработок в технологической сфере авторами была предложена методика количественной оценки финансовых последствий рисков, связанных с внедрением искусственного интеллекта в овощеводство, включающая следующие этапы.

1. Идентификация рисков. На этом этапе составляется перечень всех возможных рисков по категориям на основании анализа результатов практики. Для каждого риска определяется вероятность наступления риска (P) и потенциальный ущерб (L) в зависимости от масштаба хозяйства. В исследовании использовалась обобщенная зарубежная классификация по масштабу производства, которая имеет отличие от российской классификации (см., к примеру, Федеральный закон от 24.07.2007 № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации»). Для приложения к российскому рынку использован стоимостной рублевый эквивалент исходя из приближенного среднего курса доллара США за 9 месяцев 2025 года (1:100).

2. Оценка вероятности наступления риска (P) – это количественный или качественный анализ того, насколько вероятно возникновение неблагоприятного события в течение определенного периода времени. В контексте сельского хозяйства и агропромышленного комплекса эта оценка помогает прогнозировать потенциальные угрозы и принимать превентивные меры. Обычно используются следующие диапазоны: крайне маловероятно (0-20%); маловероятно (20-40%); средняя вероятность (40-60%); высокая вероятность (60-80%); почти гарантировано (80-100%).

3. Оценка потенциального ущерба (L) – это процесс определения возможных финансовых, материальных и нематериальных потерь в случае реализации риска. Выделяют прямые потери (например, затраты на восстановление данных после кибератаки) и косвенные потери

(например, упущенная выгода из-за простоя).

4. Расчет и ранжирование рисков. Риски сортируются по стоимости ущерба для определения приоритетов управления. Критерий приоритизации – сумма ущерба ($R=L \times P$). Например, высокий приоритет ($R > 50$ млн руб.) – требуют немедленных мер; средний приоритет ($R = 10 \dots 50$ млн руб.) – меры планируются в среднесрочной перспективе; низкий приоритет ($R < 10$ млн руб.) – принимаются стандартные меры.

5. Разработка мер по снижению рисков. Для каждого риска определяются: профилактика (снижение вероятности P); страхование (передача риска третьей стороне); резервирование средств (покрытие ущерба L). Пример мер: кибератаки (риск) – внедрение систем защиты данных (мера снижения); деградация почв (риск) – мониторинг плодородия, севооборот (мера снижения); нехватка кадров (риск) – обучение сотрудников (мера снижения) и т.д.

6. Мониторинг и пересчет рисков – это динамический процесс регулярного обновления параметров рисков (вероятности P и ущерба L) с учетом изменяющихся внутренних и внешних условий.

Для проведения ситуационного анализа рынка страховых услуг осуществлен сбор информации о страховых продуктах компаний, размещенной на их сайтах. Проанализирована информация о 203 субъектах страхового рынка, включенных в Единый государственный реестр субъектов страхового дела (ЕГРСД) по состоянию на 26.10.2025 года.

Результаты

На основе международного опыта [1-26], идентифицируем риски применения ИИ в овощеводстве и определим вероятность их наступления в зависимости от масштаба производства (табл. 1).

Критерии отнесения предприятий к различным категориям представлены в таблице 2.

Конкретные доводы в пользу выделения основных категорий рисков и их вероятности представлены ниже.

Малые предприятия: максимальные риски (80-100%) по зависимости от поставщиков, начальным затратам, нехватке кадров и монополизации; минимальные риски кибератак (20-40%) из-за меньшей привлекательности для хакеров.

Крупные предприятия: высокие риски кибератак (60-80%) и сокращения штата (60-80%); относительно меньшие риски по автоматизации (20-40%) и ошибкам ИИ (20-40%).

Общие высокие риски: нехватка квалифицированных кадров для всех типов предприятий, чрезмерное использование химикатов в средних и малых хозяйствах.

Отметим погрешность в определении вероятности рисков, которая определена как спецификой выращиваемой культуры, так и природно-климатической зоной земледелия и прочими факторами. Вероятность риска может отличаться у аналогичных по специализации и масштабам предприятий, располагающихся в разных регионах страны.

Уровень потенциального ущерба от конкретных рисков оценен на основе использования данных источников [1-26] (табл. 3). Величина ущерба носит справочный характер, и призвана демонстрировать различие уровней рисков, например, между уязвимостью к кибератакам и сокращением рабочих мест для крупного предприятия.

Таблица 1. Вероятности наступления рисков для предприятий разного масштаба
Table 1. Probabilities of risk occurrence for enterprises of different sizes

Категория риска	Описание рисков	Категория предприятий			Обоснование различий
		крупные	средние	малые	
Технические риски	Низкое качество данных	40-60%	60-80%	60-80%	У мелких предприятий меньше ресурсов для контроля данных
	Зависимость от оборудования	40-60%	60-80%	80-100%	Малые предприятия сильнее зависят от внешних поставщиков
	Уязвимость к кибератакам	60-80%	40-60%	20-40%	Крупные предприятия – более привлекательная цель
	Ограниченная адаптивность ИИ	40-60%	40-60%	60-80%	Малые предприятия хуже адаптируются
Экономические риски	Высокие начальные затраты	60-80%	80-100%	80-100%	Для малых/средних предприятий затраты более чувствительны
	Зависимость от поставщиков	40-60%	60-80%	80-100%	Малые предприятия имеют меньше альтернатив
	Риск недостаточной окупаемости	40-60%	60-80%	60-80%	Средние/малые предприятия менее устойчивы
Агротехнические и экологические риски	Чрезмерная автоматизация	20-40%	40-60%	40-60%	Малые предприятия чаще ошибаются при автоматизации
	Недооценка локальных условий	40-60%	40-60%	60-80%	Малые предприятия менее изучают локальные особенности
	Чрезмерное использование химикатов	40-60%	60-80%	60-80%	Меньший контроль за нормами
	Деградация почв	40-60%	40-60%	60-80%	Меньше инвестиций в восстановление
Социальные и трудовые риски	Сокращение рабочих мест	60-80%	40-60%	20-40%	Крупные предприятия чаще оптимизируют штат
	Нехватка квалифицированных кадров	60-80%	80-100%	80-100%	Малые/средние предприятия менее привлекательны
	Сопrotивление внедрению	40-60%	60-80%	60-80%	В малых предприятиях выше сопротивление
Юридические и этические риски	Вопросы владения данными	40-60%	40-60%	20-40%	Крупные предприятия
	Ответственность за ошибки ИИ	20-40%	40-60%	40-60%	Средние предприятия чаще используют ИИ без контроля
	Усиление монополизации	60-80%	60-80%	80-100%	Малые предприятия наиболее уязвимы

Таблица 2. Критерии отнесения предприятий к группам
Table 2. Criteria for classifying enterprises into groups

Критерий	Крупные предприятия	Средние предприятия	Малые предприятия
Посевные площади	>1000 га	100-1000 га	<100 га
Количество сотрудников	Более 250	50–250	До 50
Годовой оборот (выручка)	Более 5 млрд руб.	1...5 млрд руб.	До 1 млрд руб.
Балансовая стоимость активов	Более 5 млрд руб.	1...5 млрд руб.	До 1 млрд руб.
Рыночная доля	Доминирование на национальном/ международном рынке	Заметная доля, региональный/ национальный рынок	Небольшая доля, локальный рынок
Уровень автоматизации	Высокая, ИИ, IoT, робототехника	Частичная, базовые технологии	Минимальная, ручной труд
Бюджет на ИТ и инновации	Значительные инвестиции, собственные разработки	Умеренные инвестиции, современные технологии	Ограниченные инвестиции, базовые решения
Организационная структура	Очень сложная, множество отделов и филиалов	Сложная, специализированные отделы	Простая, минимальное количество отделов
Примеры отраслей	Крупные корпорации, международные холдинги	Средние производственные компании, региональные сети	Малое сельское хозяйство, локальные услуги

Таблица 3. Уровень потенциального ущерба применения ИИ, млн руб.
Table 3. Level of potential damage from AI use, million rubles

Категория риска	Конкретные риски	Крупные предприятия	Средние предприятия	Малые предприятия	Возможные последствия
Технические риски	Низкое качество данных (в течении года)	5-20	2-10	0,5-3	Ошибочные рекомендации, снижение урожайности
	Зависимость от оборудования	10-50	3-20	1-5	Сбои в автоматизированных процессах
	Уязвимость к кибератакам	20-100	5-30	1-10	Потеря данных, нарушение работы систем
	Ограниченная адаптивность ИИ	10-30	3-15	0,5-5	Неправильные решения при изменении условий
Экономические риски	Высокие начальные затраты	50-500	10-80	2-20	Долгий срок окупаемости
	Зависимость от поставщиков (в течении года)	5-30	2-15	0,5-5	Рост эксплуатационных расходов
	Риск недостаточной окупаемости	30-200	5-50	1-10	Финансовые потери
Агротехнические и экологические риски	Чрезмерная автоматизация	10-50	3-20	0,5-5	Потери урожая
	Недооценка локальных условий	20-80	5-30	1-10	Снижение эффективности
	Чрезмерное использование химикатов	10-40	3-15	0,5-5	Загрязнение почвы
	Деградация почв	50-300	100-60	2-20	Падение плодородия
Социальные и трудовые риски	Сокращение рабочих мест	5-20	2-10	0,5-3	Конфликты с персоналом
	Нехватка квалифицированных кадров	10-30	3-15	0,5-5	Задержки внедрения
	Сопrotивление внедрению	5-20	2-10	0,5-3	Замедление цифровизации
Юридические и этические риски	Вопросы владения данными	10-50	3-20	0,5-5	Конфликты с поставщиками
	Ответственность за ошибки ИИ	30-200	5-50	1-10	Репутационные потери
	Усиление монополизации	Косвенные потери	Косвенные потери	Риск банкротства	Вытеснение с рынка

На следующем этапе исследования проведен расчет и ранжирование рисков по данным таблиц 1 и 3. Для каждого риска берется среднее значение ущерба из диапазона, затем умножается на вероятность (в %). Пример расчета для крупных предприятий: низкое качество данных: $(5+20)/2=12,5$ млн руб.; $12,5$ млн руб. $\times 50\%=6,25$ млн руб. Результаты расчетов сведены в таблицу 4.

Анализ полученных результатов (таблица 4) позволяет сделать следующие выводы.

Крупные предприятия несут наибольший ущерб (402,50 млн руб.), преимущественно вследствие экономических и агротехнических рисков.

Средние предприятия уязвимы к высоким начальным затратам и зависимости от поставщиков (общий ущерб ~210 млн руб.).

Таблица 4. Итоговый ущерб по категориям рисков, млн руб.
Table 4. Total damage by risk category, million rubles

Категория риска	Крупные предприятия	Средние предприятия	Малые предприятия
Технические	33,25	19,25	9,45
Экономические	192,50	108,50	53,55
Агротехнические	105,00	43,75	19,25
Социальные	21,00	12,25	4,73
Юридические	50,75	26,25	8,25
Всего	402,50	210,00	95,23

Таблица 5. Методы минимизации рисков ИИ в овощеводстве
 Table 5. Methods for minimizing the risks of artificial infestation in vegetable growing

Наименование риска	США	Европейский Союз	Китай	Россия
Неверные прогнозы, ложные рекомендации	-Калибровка моделей (Agribile) Human-in-the-loop (John Deere)	Валидация по GDPR Open-source AgriTech	Госплатформы (Alibaba AgriBrain) Сертификация алгоритмов	Локализация моделей (Сберагро, Ростех) Ведомственный контроль (Минсельхоз)
Взлом систем, утечка данных	AWS GovCloud IBM Food Trust	GDPR Блокчейн (Нидерланды)	Национальные облака (Huawei Cloud)	Отечественные облака (СберОблако, VK Cloud)
Ответственность за ущерб	Страхование (Lloyd's) SLA с вендорами	AI Act Обязательное страхование	Госгарантии проектов	Закон об экспериментальных ИИ- режимах Страхование через банки (ВЭБ.РФ)
Сбои ИИ, потеря управления	Резервные системы (Plenty) Обучение фермеров	FarmOS Программы EC Digital Strategy	Господдержка аналоговых методов	Импортозамещение (ОС «Аврора» для агроботов) Курсы цифровизации РСХБ
Перерасход ресурсов	IoT-датчики (Climate Corp) Точное земледелие	Farm to Fork Copernicus	«Зелёные» госпрограммы	Госпрограмма «Цифровое сельское хозяйство» Экостандарты для ИИ

Малые предприятия удалить слово несут меньший абсолютный ущерб (95,23 млн руб.), но критически зависимы от монополизации (риск банкротства).

На основе данных, представленных в источниках [1-26], были сформулированы общие рекомендации по снижению рисков.

1. Технические риски: регулярное техническое обслуживание и резервное копирование данных.
2. Экономические риски: тщательное планирование бюджета и расчет ROI.
3. Экологические риски: использование устойчивых методов и мониторинг экологического воздействия.
4. Социальные риски: переобучение сотрудников и создание новых рабочих мест.
5. Этические риски: обеспечение прозрачности алгоритмов и справедливости решений.
6. Юридические риски: соблюдение нормативных требований и консультации с юристами.
7. Риски, связанные с данными: использование качественных данных и защита от кибератак.
8. Агротехнические риски: адаптация ИИ под конкретные условия хозяйства.
9. Риски, связанные с изменением климата: интеграция данных о климатических изменениях в алгоритмы.
10. Риски, связанные с внедрением: поэтапное внедрение и обучение персонала.

На следующем этапе исследования был проанализирован международный опыт минимизации рисков использования ИИ в овощеводстве (табл. 5).

Анализ показал, что в разных странах используются различные методы минимизации рисков. Наиболее распространенные подходы:

США: Гибкие рыночные продукты (NIST + частные страховщики).

ЕС: Жесткое регулирование через AI Act + GDPR.

Китай: Господдержка + централизованные платформы.

Россия: Пилотные проекты в рамках госпрограмм + импортозамещение.

В отношении российского страхового рынка был проведен анализ информации о страховых продуктах компаний, размещенной на их сайтах. Предпринята попытка анализа

203 субъектов страхового рынка. Именно столько компаний включено в Единый государственный реестр субъектов страхового дела (ЕГРССД) по состоянию на 26.10.2025 года.

Из анализа компаний были исключены страховые брокеры, поскольку они самостоятельно не разрабатывают и не предлагают собственные страховые продукты. В ЕГРССД таковых 59.

На период проведения исследования сайты отдельных страховых компаний были недоступны для просмотра. Основные причины: браузер расценивает сайт как потенциальную угрозу (4 сайта), сайт находится в разработке (1), компания не осуществляет деятельности либо находится в процессе ликвидации или реорганизации (2), сайт не обновлялся более года (1), сайт не работает (8), компания не размещает информацию для сторонних пользователей (характерно для потребительских обществ взаимного кредитования; 2).

Таким образом, была проанализирована информация с сайтов 126 страховых компаний. Поиск информации осуществлялся через опцию поиска, имеющуюся на большинстве сайтов. В том случае, если меню поиска недоступно (опция отсутствует) – таковых 7 компаний, последовательно анализировались страховые продукты компаний, представленные на их сайтах.

Результаты исследования

Нормативно-правовой базой регулирования отношений, связанных с искусственным интеллектом и страхованием данных отношений, выступает Федеральный закон от 31 июля 2020 г. №258-ФЗ «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых и технологических инноваций в Российской Федерации» [27], его дополнения и нормативные акты Банка России [28, 29, 30, 31]. Экспериментальные правовые режимы в сфере цифровых и технологических инноваций предусмотрены, в том числе и в отрасли сельского хозяйства (Статья 1 ФЗ). В этих документах содержится положения о страховании гражданской ответственности ..., «в том числе в результате использования решений, разработанных с применением технологий искусственного интеллекта, требования к условиям такого страхования, в том числе минимальному размеру страховой суммы, перечню страховых рисков и страховых случаев» [27]. В частности, в данных документах

специально оговорены вопросы порядка ведения реестра результатов интеллектуальной деятельности, создаваемых в том числе с применением технологий искусственного интеллекта, в том числе и сведений о результатах интеллектуальной деятельности, создаваемых с применением технологий искусственного интеллекта, порядка рассмотрения случаев причинения вреда жизни, здоровью или имуществу человека либо имуществу юридического лица в результате использования решений, разработанных с применением технологий искусственного интеллекта, формирования комиссии для установления обстоятельств, при которых причинен вред, его характере, принятых мерах по минимизации рисков.

Согласно Федеральному закону «О внесении изменений в Федеральный закон «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации» [29], обязанность страховать ответственность за возможный вред жизни, здоровью или имуществу, вызванный разработками с использованием ИИ возлагается на всех, работающих в экспериментальных правовых режимах. По мнению экспертов страхового рынка, это должно стимулировать развитие специализированных страховых продуктов [32].

Большая часть страховых компаний не только не страхует риски, связанные с воздействием искусственного интеллекта, но и не использует ИИ в процессе оказания страховых услуг (по крайней мере, информация о фактах использования ИИ в страховании на сайтах страховщиков отсутствует).

Причина заключается в том, что Всероссийскому союзу страховщиков на октябрь 2024 года не было известно о страховых случаях или инцидентах в связи с причинением вреда в результате действий ИИ [32], следовательно, нет и универсальных страховых продуктов для ИИ на российском рынке [33]. Однако, с января 2025 года разработчики обязаны страховать ответственность за вред жизни, здоровью, имуществу от применения технологий ИИ. Роль страховщиков, при этом, расширяется до помощи «разработчикам систем на базе искусственного интеллекта сформировать сценарии причинения вреда» [33]. В то же время, по результатам опроса, проведенного структурой Совкомбанка Совкомбанк Страхование и Всероссийским Бизнес Центром в августе 2025 года, каждый шестой (17%) из опрошенных 2600 предпринимателей уже сталкивался с серьезными последствиями ошибок ИИ, а 69% предпринимателей готовы застраховать бизнес от ошибок ИИ [34]. Таким образом, запрос со стороны бизнес-сообщества на страхование имеется.

Однако отдельные страховые компании распространяют защиту на некоторые факторы, связанные прямо или косвенно с искусственным интеллектом, стремясь сыграть на опережение.

В частности, к таковым относятся компания ВСК. Страховой Дом ВСК в продукте «Компакт фикс» с 20 октября 2025 года включил во все новые полисы защиту от повреждений, вызванных беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) [35].

Если говорить о рисках, связанных с ИИ, то основными, по мнению экспертов – представителей страховых компаний, являются:

- возможности ИИ самостоятельно изменять свои решения на основе новых данных, что делает их поведение менее предсказуемым по сравнению с традиционным программным обеспечением (по данным Д. Ищенко, Ассоциация «ФинТех»);
- возможности ИИ совершать все те ошибки или умышленные деяния, которые может совершить человек, случайно

или умышленно, непрозрачность внутренней логики работы моделей ИИ (работа по принципу черного ящика), что затрудняет аудит/контроль бизнеса, использование моделей ИИ не по назначению, вырождение и устаревание моделей (И. Лаппи, «Совкомбанк страхование»);

- сложность контроля убытков, вызванных нарушениями в работе информационных систем (А. Бахшалиев, СОГАЗ) [32].

По мнению экспертов, основными направлениями развития страховых продуктов являются киберстрахование, страхование профессиональной ответственности и страхование технологических рисков [32]. К последним можно отнести страхование беспилотных летательных аппаратов, в котором страхуется как сам аппарат, так и ответственность перед третьими лицами, страхование беспилотных автомобилей и др.

Страхование киберрисков предусмотрено в страховых продуктах компаний ГАРДИЯ (риски утечки корпоративных и личных данных, перерыв в производстве, кибервымогательство и др.) и СОГАЗ (покрывает страхование киберрисков: страхование на случай кибератак, вредоносного ПО, ошибок интеграции ПО и др.), Ингосстах (продукт Кибер-Инго – Страхование информационных рисков для юридических лиц, защита на случай хакерских атак и внедрения вредоносных программ (вирусов).

Гораздо шире возможности использования искусственного интеллекта непосредственно в деятельности страховых компаний. В частности, Ренессанс Страхование в продукте HR 360 использует персонализированные рекомендации, а именно, подбор активностей на базе аналитики и с помощью ИИ сервисов [36].

По данным СК «Абсолют страхование», ИИ используется страховыми компаниями для целей борьбы с мошенничеством, что служит интересам защиты самих страховых компаний, с другой стороны, для клиентов страховых компаний также возникает риск «алгоритмической предвзятости» – дискриминации ИИ по отношению к людям из-за ошибок в его обучении и настройке [32].

По мнению Генерального директора ООО «СК СОГАЗ-ЖИЗНЬ» М. Проворова, ИИ в страховании может быть использован для обработки бумажных документов, в частности, заявлений, для проверки полноты, корректности заполнения и комплектности пакетов документов, выверки персональных данных клиентов, для коммуникаций с клиентом [37].

В сельскохозяйственном страховании, по мнению С. Простатина, ИИ сможет более точно для каждого клиента просчитать риски, определяя наиболее подверженные риску зоны и предложить оптимальный уровень страховой защиты, а также ускорить процесс проверки заявленных страховых случаев и осуществления страховых выплат, а также позволит вести более точный учет продукции, в том числе и по качеству [38].

«АльфаСтрахование-Жизнь» еще в 2019 году совместно с «Альфа-Банком» и «Альфа-Капиталом» запустила «умную» программу инвестиционного страхования «Искусственный интеллект», в которой алгоритм на основе ИИ меняет структуру продукта в зависимости от текущего состояния рынка [39]. Кроме того, компания с 2020 года запустила проект по автоматизации обработки электронных обращений клиентов на основе искусственного интеллекта (ИИ) [40], с 2022 года с помощью системы Qapter's Visual Intelligence в процессе оценки убытков по ОСАГО определяет повреждения и стои-

мость восстановительного ремонта, что минимизирует возможность человеческого фактора и делает процесс оценки более оперативным и более объективным [41].

ЭНЕРГОГАРАНТ использует внутренний Искусственный интеллект для повышения эффективности работы пользователей и автоматизации повседневных задач, что освобождает работников от рутинных задач [42].

РСХБ-Страхование использует алгоритмы искусственного интеллекта в системе речевой аналитики (DO Speech) для анализа обращений в реальном времени, для выявления причин удовлетворенности/неудовлетворенности и точек роста сервиса, интеллектуального цифрового помощника (DO RoBot) на основе искусственного интеллекта для автоматизации ответов на частые вопросы через голосовые сообщения и чаты [43].

Группа страховых компаний Югория использует искусственный интеллект для предстраховых проверок [44].

Анализ, проведенный компанией Капитал Life позволил выделить следующие два основных направления использования ИИ в страховании: анализ рисков и персонализация страховых продуктов. В частности, по данным компании, искусственный интеллект анализирует сведения о клиентах, экономические показатели и внешние факторы: в автостраховании ИИ оценивает стиль вождения на основе данных с телематических устройств, в медицинском страховании – генетические и поведенческие факторы, в страховании недвижимости помогает осуществить анализ климатических данных, геологических факторов, уровня преступности региона, что повышает точность расчёта вероятности стихийных бедствий, пожаров или затоплений. В целях выявления случаев мошенничества ИИ анализирует миллионы транзакций и заявок, обнаруживая шаблоны мошеннических схем и распознавая подозрительные действия клиентов [45]. Сама компания Капитал Лайф использует ИИ для повышения качества дистанционного обслуживания, ускорения процессов урегулирования убытков и осуществления страховых выплат [46].

С точки зрения директора по рискам СберСтрахования Владимира Новикова, ИИ в страховании может помогать специалистам по оценке рисков с обработкой больших массивов информации для расчёта тарифа, и использоваться как цифровой агент для определения стоимости страхуемого объекта недвижимости [47].

Несмотря на очевидные преимущества использования ИИ в страховании, ряд специалистов указывают на потенциальные проблемы, связанные с его использованием, такие как необходимость ввода исходных данных в сторонние нейросети, особенно в зарубежные, что может привести к утечке таких данных [48], необходимость введения новых требований со стороны регулятора и усиления надзора в целях борьбы с мошенничеством [49].

Таким образом, страхование рисков, связанных с искусственным интеллектом, на российском рынке находится в зачаточном состоянии, несмотря на то, что ИИ активно вторгается в повседневную деятельность бизнеса, и страхового в частности. Учитывая возможные угрозы, перед субъектами рынка стоит задача своевременно идентифицировать данные риски и включать их покрытие в условия договоров страхования.

Среди проблем в страховании рисков можно также выделить:

1) правовую неопределенность из-за отсутствия четких критериев "вины" ИИ, сложности в доказательстве страховых случаев;

2) технологические ограничения из-за отсутствия единых методик оценки рисков, дефицита данных для актуарных расчетов;

3) рыночные барьеры: высокие тарифы (на 20-30% выше, чем для традиционных рисков), чрезмерную осторожность страховщиков.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило актуальность минимизации рисков, связанных с применением искусственного интеллекта в овощеводстве, что соответствует глобальным трендам Responsible AI и AgriTech Sustainability.

В ходе исследования получены следующие результаты.

Классификация и оценка рисков – выявлены ключевые категории рисков (технические, экономические, агротехнические, социальные, юридические) и проведена их стоимостная оценка в зависимости от масштаба предприятия. Установлено, что: крупные предприятия сталкиваются с наибольшими финансовыми потерями (до 4 млн USD), особенно в экономической и агротехнической сферах; средние предприятия наиболее уязвимы к высоким начальным затратам и зависимости от поставщиков; малые предприятия подвержены рискам монополизации и банкротства, несмотря на меньший абсолютный ущерб.

Анализ мирового опыта – выявлены различия в подходах к минимизации рисков:

США: рыночные механизмы (страхование, калибровка моделей); ЕС: жесткое регулирование (GDPR, AI Act); Китай: госплатформы и централизованный контроль; Россия: госпрограммы, импортозамещение и пилотные проекты.

Российская практика страхования рисков ИИ – проанализированы существующие страховые продукты, покрывающие часть рисков ИИ (кибератаки, сбои оборудования, ответственность за ошибки). Выделены ключевые проблемы: правовая неопределенность в определении вины ИИ; дефицит данных для актуарных расчетов, высокие страховые тарифы и ограниченное предложение.

Предложены следующие рекомендации по минимизации рисков ИИ.

Для крупных предприятий: внедрение резервных систем, страхование киберрисков, мониторинг экологических последствий.

Для средних предприятий: фокус на ROI-анализ, партнерство с надежными поставщиками, обучение персонала.

Для малых предприятий: использование локализованных ИИ-решений, участие в госпрограммах поддержки, кооперация для снижения зависимости.

На государственном уровне: развитие нормативной базы для ИИ в сельском хозяйстве, стимулирование страхования рисков, поддержка R&D в области AgriTech.

Выявлены перспективы дальнейших исследований по данной тематике: углубленный анализ региональной специфики рисков, разработка адаптивных моделей оценки для динамично меняющихся условий. Изучение возможностей блокчейна и других технологий для повышения прозрачности и снижения рисков.

Таким образом, предложенная методика количественной оценки рисков и меры по их минимизации позволяют повысить эффективность внедрения ИИ в овощеводстве, снижая потенциальные потери и способствуя устойчивому развитию отрасли.

• Литература

1. AgriTech Solutions. <https://agritech-solutions.com> (дата обращения: 10.10.2024).
2. GreenSense. <https://greensense.ag> (дата обращения: 10.10.2024).
3. FarmLogs. <https://farmlogs.com> (дата обращения: 10.10.2024).
4. Netafim. <https://netafim.com> (дата обращения: 10.10.2024).
5. Yara. <https://yara.com> (дата обращения: 10.10.2024).
6. EcoRobotix. <https://ecorobotix.com> (дата обращения: 10.10.2024).
7. Agrobot. <https://agrobot.com> (дата обращения: 10.10.2024).
8. Naio Technologies. <https://naio-technologies.com> (дата обращения: 10.10.2024).
9. The Climate Corporation. <https://climate.com> (дата обращения: 10.10.2024).
10. Granular. <https://granular.ag> (дата обращения: 10.10.2024).
11. Plantix. <https://plantix.net> (дата обращения: 10.10.2024).
12. Blue River Technology. <https://bluerivertechnology.com> (дата обращения: 10.10.2024).
13. Priva. <https://priva.com> (дата обращения: 10.10.2024).
14. Growlink. <https://growlink.com> (дата обращения: 10.10.2024).
15. SoilCares. <https://soilcares.com> (дата обращения: 10.10.2024).
16. Teralytic. <https://teralytic.com> (дата обращения: 10.10.2024).
17. Zest Labs. <https://zestlabs.com> (дата обращения: 10.10.2024).
18. AgriChain. <https://agrichain.com> (дата обращения: 10.10.2024).
19. Farmobile. <https://farmobile.com> (дата обращения: 10.10.2024).
20. Cropio. <https://cropio.com> (дата обращения: 10.10.2024).
21. Benson Hill. <https://bensonhill.com> (дата обращения: 10.10.2024).
22. KeyGene. <https://keygene.com> (дата обращения: 10.10.2024).
23. Brownsword R. Regulating AI in Insurance: An 'All-Risks' Approach. *Emerging Risks Insurance*, 2025. 81-102 p. <https://doi.org/10.5040/9781509978748.ch-004>
24. Hendrycks D. Overview of Catastrophic AI Risks. *Introduction to AI Safety, Ethics, and Society*. 2024. 48 p. <https://doi.org/10.1201/9781003530336-1>
25. Yudin N. Risks of Using AI Technologies in Solving Civilizational Development Challenges. 2024. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5019615>
26. Страхование продуктов искусственного интеллекта. Киберриски и страхование: правовые принципы. 2021. <https://doi.org/10.5040/9781526514165.chapter-004>
27. Федеральный закон от 31 июля 2020 г. N 258-ФЗ "Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых и технологических инноваций в Российской Федерации". <https://ivo.garant.ru/#/document/74451176/entry/0:2> (дата обращения: 25.10.2025).
28. Федеральный закон от 8 июля 2024 г. N 169-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации". <https://ivo.garant.ru/#/document/409323710/paragraph/1:1> (дата обращения: 25.10.2025).
29. Указание Банка России от 30 июня 2025 г. N 7121-У "О порядке ведения субъектом экспериментального правового режима реестра лиц, вступивших с ним в правоотношения в рамках экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций на финансовом рынке, реестра результатов интеллектуальной деятельности, создаваемых в том числе с применением технологий искусственного интеллекта при реализации экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций на финансовом рынке, и обеспечения доступа к ним третьих лиц" Зарегистрировано в Минюсте России 10 октября 2025 г. Регистрационный N 83808. <https://ivo.garant.ru/#/document/412870693/paragraph/1:1> (дата обращения: 25.10.2025).
30. Указание Банка России от 30 июня 2025 г. N 7120-У "О порядке формирования комиссии для установления обстоятельств, при которых при реализации экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций на финансовом рынке в результате использования решений, разработанных с применением технологий искусственного интеллекта, причинен вред жизни, здоровью или имуществу человека либо имуществу юридического лица, порядке рассмотрения комиссией случаев причинения вреда жизни, здоровью или имуществу человека либо имуществу юридического лица при реализации экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций на финансовом рынке в результате использования решений, разработанных с применением технологий искусственного интеллекта, порядке подготовки и форме заключения комиссии" Зарегистрировано в Минюсте России 14 октября 2025 г. Регистрационный N 83832. <https://ivo.garant.ru/#/document/412881089/paragraph/1:2> (дата обращения: 25.10.2025).
31. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 19 ноября 2024 г. N 725 "Об утверждении Порядка ведения реестра результатов интеллектуальной деятельности, создаваемых в том числе с применением технологий искусственного интеллекта при реализации экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций, с указанием их правообладателей и обеспечения доступа к нему третьих лиц". Зарегистрировано в Минюсте России 20 декабря 2024 г. Регистрационный N 80673. <https://ivo.garant.ru/#/document/411175217/paragraph/1:1> (дата обращения: 25.10.2025).
32. Охлопков А. Как будет развиваться страхование искусственного интеллекта. И кто заплатит за его ошибки. *Ведомости*. 16 октября 2024. <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2024/10/16/1068039-strahovanie-intellekta> (дата обращения: 25.10.2025).
33. Комсомольская правда: «Российские банки готовятся к трансформации офисов и цифровому рублю, а страховщики готовы покрывать риски от угроз ИИ». 02.11.2024. <https://www.komsomolskaya-pravda.ru/news/rossijskie-banki-gotovjatsya-k-transformatsii-ofisov-i-tsifrovomu-rublyu/> (дата обращения: 7.11.2025).
34. 69% российских предпринимателей готовы застраховать бизнес от ошибок ИИ / Совкомбанк Страхование. 20 августа 2025 г. <https://sovcomins.ru/about/news/69-rossiiskix-predprinimatelei-gotovy-zastraxovat-biznes-ot-osibok-ii/> (дата обращения: 25.10.2025).
35. ВСК усилила программу каско «Компакт фикс» защитой от дронов // Пресс-служба ВСК, 22 октября 2025. <https://www.vsk.ru/biznesu/corp/#products> (дата обращения: 25.10.2025).
36. HR 360: Экосистема благополучия для ваших сотрудников. <https://www.renins.ru/insurance/staff/hr360/> (дата обращения: 25.10.2025).
37. Проворов М. Цель – лидерство. Современные страховые технологии. 2024, №3, май.
38. Узбекова А. Агрострахование поддержат искусственным интеллектом и космическим мониторингом. Интервью "РГ" генерального директора АО СК "РСХБ-Страхование" Сергея Простатина. *Российская газета – Спецвыпуск: Инновации* №284 (9229). 14.12.2023. <https://rg.ru/gazeta/rg-spec/2023/12/14/1.html> (дата обращения: 7.11.2025).
39. «АльфаСтрахование-Жизнь» запустила «умную» программу инвестиционного страхования «Искусственный интеллект». *АльфаСтрахование-Жизнь*. Новости. 12 августа 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://aslife.ru/news/alfastrakhovanie-zhizn-zapustila-umnuyu-programmu-investitsionnogo-strakhovaniya-iskusstvennyu-intel.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 7.11.2025).
40. «АльфаСтрахование» внедрила искусственный интеллект для обработки обращений клиентов. *Новости компании «АльфаСтрахование»*. 3 февраля 2020. https://www.alfastrah.ru/news/11510016/?sphrase_id=3465910 (дата обращения: 7.11.2025).
41. Искусственный интеллект оценит ущерб по ОСАГО за 3 минуты. *Новости компании «АльфаСтрахование»*. 30 ноября 2022. https://www.alfastrah.ru/news/15499815/?sphrase_id=3465910 (дата обращения: 27.10.2025).
42. ЭНЕРГОГАРАНТ запустил внутренний Искусственный интеллект. 10.03.2025. <https://energogarant.ru/news/energogarant-zapustil-vnutrenniy-iskusstvennyu-intellekt/> (дата обращения: 7.11.2025).
43. РСХБ-Страхование жизни запускает масштабную цифровизацию клиентского сервиса при поддержке «Ростелеком Контакт-центра». 02 сентября 2025. [https://rshbins-life.ru/news/presscenter/pcxb-strakhovanie-zhizni-zapuskayet-masshtabnyu-tsifrovizatsiyu-klientskogo-servisa-pri-podderzhke/?sphrase_id=167983](https://rshbins-life.ru/news/presscenter/pcxb-strakhovanie-zhizni-zapuskayet-masshtabnyu-tsifrovizatsiyu-klientskogo-servisa-pri-podderzhke/) (дата обращения: 1.11.2025).
44. Михаил Косенко специально для Ведомостей: «В 2022 году Югория перейдет к автоматизированному принятию решений». 22 сентября 2021. [https://ugsk.ru/blog/news/mikhail-kosenko-spetsialno-dlya-vedomostey-v-2022-godu-yugoriya-pereydet-k-avtomatizirovanomu-prinyatiyu/?sphrase_id=50313](https://ugsk.ru/blog/news/mikhail-kosenko-spetsialno-dlya-vedomostey-v-2022-godu-yugoriya-pereydet-k-avtomatizirovanomu-prinyatiyu/) (дата обращения: 1.11.2025).
45. Роль искусственного интеллекта в оценке рисков и разработке страховых продуктов. 28 Мая 2025. <https://kaplife.ru/company/articles/ii-v-ocenke-riskov-i-strahovykh-produktov/> (дата обращения: 7.11.2025).
46. КАПИТАЛ LIFE стала лауреатом премии «AI-Олимп» за трансформацию страхования жизни с использованием ИИ. 04.06.2025. <https://kaplife.ru/news/kompaniya-kapital-life-stala-obladatelem-premii-evrika-za-vnedrenie-iskusstvennogo-intellekta/> (дата обращения: 7.11.2025).
47. В СберСтраховании рассказали, как страховщики внедряют ИИ в свою работу. 21.02.2025. <https://sberbankins.ru/about/news/v-sberstrakhovanii-rasskazali-kak-strakhovshchiki-vnedryayut-ii-v-svoyu-rabotu/> (дата обращения: 5.11.2025).
48. ЭНЕРГОГАРАНТ – участник 31-й конференции "Информационные технологии в страховании". Дата публикации: 31.03.2025. <https://energogarant.ru/news/energogarant-uchastnik-31-y-konferentsii-informatsionnyetekhnologii-v-strakhovanii/> (дата обращения: 5.11.2025).
49. Андрей Чуйко принял участие в Форуме страховых инноваций InnoIns-2023. РСХБ-Страхование жизни. 04 июля 2023. *Общие новости*. https://rshbins-life.ru/news/presscenter/7179/?sphrase_id=167983 (дата обращения: 7.11.2025).

• References

1. AgriTech Solutions. <https://agritech-solutions.com> (accessed: 10.10.2024).
2. GreenSense. <https://greensense.ag> (accessed: 10.10.2024).

3. FarmLogs. <https://farmlogs.com> (accessed: 10.10.2024).
4. Netafim]. <https://netafim.com> (accessed: 10.10.2024).
5. Yara. <https://yara.com> (accessed: 10.10.2024).
6. EcoRobotix. <https://ecorobotix.com> (accessed: 10.10.2024).
7. Agrobot. <https://agrobot.com> (accessed: 10.10.2024).
8. Naio Technologies. <https://naio-technologies.com> (accessed: 10.10.2024).
9. The Climate Corporation. <https://climate.com> (accessed: 10.10.2024).
10. Granular. <https://granular.ag> (accessed: 10.10.2024).
11. Plantix. <https://plantix.net> (accessed: 10.10.2024).
12. Blue River Technology. <https://bluerivertechnology.com> (accessed: 10.10.2024).
13. Priva. <https://priva.com> (accessed: 10.10.2024).
14. Growlink. <https://growlink.com> (accessed: 10.10.2024).
15. SoilCares. <https://soilcares.com> (accessed: 10.10.2024).
16. Teralytic. <https://teralytic.com> (accessed: 10.10.2024).
17. Zest Labs. <https://zestlabs.com> (accessed: 10.10.2024).
18. AgriChain. <https://agrichain.com> (accessed: 10.10.2024).
19. Farmobile. <https://farmobile.com> (accessed: 10.10.2024).
20. Cropio. <https://cropio.com> (accessed: 10.10.2024).
21. Benson Hill. <https://bensonhill.com> (accessed: 10.10.2024).
22. KeyGene. <https://keygene.com> (accessed: 10.10.2024).
23. Brownsword R. Regulating AI in Insurance: An 'All-Risks' Approach. *Emerging Risks Insurance*, 2025. 81-102 p. <https://doi.org/10.5040/9781509978748.ch-004>
24. Hendrycks D. Overview of Catastrophic AI Risks. Introduction to AI Safety, Ethics, and Society. 2024. 48 p. <https://doi.org/10.1201/9781003530336-1>
25. Yudin N. Risks of Using AI Technologies in Solving Civilizational Development Challenges. 2024. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5019615>
26. Insuring AI Products. Cyber Risks and Insurance: Legal Principles, 2021. <https://doi.org/10.5040/9781526514165.chapter-004>.
27. Federal Law No. 258-FZ of July 31, 2020 "On Experimental Legal Regimes in the Field of Digital and Technological Innovations in the Russian Federation". <https://ivo.garant.ru/#/document/74451176/entry/0:2> (accessed: 25.10.2025).
28. Federal Law No. 169-FZ of July 8, 2024 On Amendments to the Federal Law On Experimental Legal Regimes in the Field of Digital Innovation in the Russian Federation." <https://ivo.garant.ru/#/document/409323710/paragraph/1:1> (accessed: 25.10.2025).
29. Instruction of the Bank of Russia dated June 30, 2025 No. 7121-U "On the procedure for Maintaining by a Subject of an experimental legal regime a Register of persons who have entered into legal relations with him within the framework of an experimental legal regime in the field of digital innovations in the financial market, a register of intellectual activity results created, including using artificial intelligence technologies in the implementation of an experimental the legal regime in the field of digital innovations in the financial market, and ensuring access to them by third parties" Was registered with the Ministry of Justice of Russia on October 10, 2025. Registration Number 83808. <https://ivo.garant.ru/#/document/412870693/paragraph/1:1> (accessed: 25.10.2025).
30. Instruction of the Bank of Russia dated June 30, 2025 No. 7120-U "On the procedure for Forming a commission to establish the circumstances in which, during the implementation of an Experimental Legal regime in the field of digital innovations in the Financial Market, as a result of using Solutions Developed using Artificial Intelligence technologies, harm was caused to the life, health or property of a person or Property of a Legal entity, the procedure for consideration by the commission of cases of harm to life, to the health or property of a person or the property of a legal entity during the implementation of an experimental legal regime in the field of digital innovations in the financial market as a result of the use of solutions developed using artificial intelligence technologies, the procedure for preparing and the form of the commission's conclusion" Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on October 14, 2025. Registration Number 83832. <https://ivo.garant.ru/#/document/412881089/paragraph/1:2> (accessed: 25.10.2025).
31. Order No. 725 of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated November 19, 2024 "On Approval of the Procedure for Maintaining a Register of intellectual Property Results, including those Created using Artificial Intelligence Technologies in the implementation of an experimental legal regime in the field of digital innovations, indicating their rightholders and ensuring access to it by third Parties." Registered with the Ministry of Justice of Russia on December 20, 2024. Registration Number 80673. <https://ivo.garant.ru/#/document/41175217/paragraph/1:1> (accessed: 25.10.2025).
32. Okhlopov A. How artificial intelligence insurance will develop. And who will pay for his mistakes. *Vedomosti*. October 16, 2024. <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2024/10/16/1068039-strahovanie-intellekta> (accessed: 25.10.2025).
33. Komsomolskaya Pravda: "Russian banks are preparing for the transformation of offices and the digital ruble, and insurers are ready to cover the risks from AI threats." 02.11.2024. <https://kaplife.ru/news/komsomolskaya-pravda-rossiyskie-banki-gotovyatsya-k-transformatsii-ofisov-i-tsirovomu-rublyu/> (accessed: 7.11.2025).
34. 69% of Russian entrepreneurs are ready to insure their business against AI errors / Sovcombank Insurance. August 20, 2025. <https://sovcamins.ru/about/news/69-rossiiskix-predprinimatelei-gotovy-zastraxovat-biznes-ot-osibok-ii/> (accessed: 25.10.2025).
35. VSK has strengthened the Compact Fix casco program with drone protection // VSK Press Service, October 22, 2025. <https://www.vsk.ru/biznesu/corp/#products> (accessed: 25.10.2025).
36. HR 360: An ecosystem of well-being for your employees. [Electronic resource]. – Available at: <https://www.renins.ru/insurance/staff/hr360/> (accessed: 25.10.2025).
37. Provorov M. The goal is leadership. *Modern Insurance Technologies*. 2024, No. 3, May.
38. Uzbekova A. Agricultural insurance will be supported by artificial intelligence and space monitoring. Interview with "RG" Sergey Prostatin, General Director of JSC IC RSHB-Insurance. *Rossiyskaya Gazeta – Special Issue: Innovations No. 284 (9229)*. 12/14/2023. <https://rg.ru/gazeta/rg-spec/2023/12/14/1.html> (accessed: 7.11.2025).
39. AlfaStrakhovanie-Zhizn has launched the "smart" investment insurance program "Artificial Intelligence". AlfaStrakhovanie-Life. News. August 12, 2019. https://aslife.ru/news/alfastrakhovanie-zhizn-zapustila-umnuyu-programmu-investitsionnogo-strakhovaniya-iskusstvenny-intel.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (accessed: 7.11.2025).
40. AlfaStrakhovanie has implemented artificial intelligence to process customer requests. Alfastrakhovanie company news. February 3, 2020. https://www.alfastrah.ru/news/11510016/?sphrase_id=3465910 (accessed: 7.11.2025).
41. Artificial intelligence will assess the damage for CTP in 3 minutes. Alfastrakhovanie company news. November 30, 2022. https://www.alfastrah.ru/news/15499815/?sphrase_id=3465910 (accessed: 27.10.2025).
42. ENERGOGARANT has launched an internal Artificial intelligence. 10.03.2025. <https://energogarant.ru/news/energogarant-zapustil-vnutrenniy-iskusstvenny-intellekt> (accessed: 7.11.2025).
43. RSHB-Life Insurance launches large-scale digitalization of customer service with the support of Rostelecom Contact Center. September 02, 2025. https://rshbins-life.ru/news/presscenter/pcxb-strakhovanie-zhizni-zapuskaet-masshtabnuyu-tsirovizatsiyu-klientskogo-servisa-pri-podderzhke-r/?sphrase_id=167983 (accessed: 1.11.2025).
44. Mikhail Kosenko especially for Vedomosti: "In 2022, Yugoria will switch to automated decision-making." September 22, 2021. https://ugsk.ru/blog/news/mikhail-kosenko-spetsialno-dlya-vedomostey-v-2022-godu-yugoriya-pereydet-k-avtomatizirovannomu-prinyatiu/?sphrase_id=50313 (accessed: 1.11.2025).
45. The role of artificial intelligence in risk assessment and insurance product development. May 28, 2025. <https://kaplife.ru/company/articles/ii-v-ocenkeriskov-i-strahovyh-produktov/> (accessed: 7.11.2025).
46. CAPITAL LIFE became the winner of the AI-Olympus Award for the transformation of life insurance using AI. 06/04/2025. <https://kaplife.ru/news/kompaniya-kapital-life-stala-obladatelem-premii-evrika-za-vnedrenie-iskusstvennogo-intellekta/> (accessed: 7.11.2025).
47. Sberbank Insurance explained how insurers are implementing AI in their work. 21.02.2025. <https://sberbankins.ru/about/news/v-sberstrakhovaniirasskazali-kak-strakhovshchiki-vnedryayut-ii-v-svoyu-rabotu/> (accessed: 5.11.2025).
48. ENERGOGARANT is a participant of the 31st conference "Information Technologies in Insurance". Date of publication: 03/31/2025. <https://energogarant.ru/news/energogarant-uchastnik-31-y-konferentsii-informatsionnyetehnologii-v-strakhovanii> (accessed: 5.11.2025).
49. Andrey Chuiko took part in the Insurance Innovation Forum InnoIns-2023. RSHB-Life Insurance. July 04, 2023. General news. https://rshbins-life.ru/news/presscenter/7179/?sphrase_id=167983 (accessed: 7.11.2025).

Об авторах:

Тимофей Юрьевич Шабанов – кандидат экономических наук, <https://orcid.org/0000-0003-1778-5310>, SPIN-код: 6245-9009, автор для переписки, shabanovtyu@mail.ru
Алексей Александрович Копченев – доктор экономических наук, <https://orcid.org/0000-0002-4477-2710>, SPIN-код: 7126-8640, a.a.kopchenov@yandex.ru

About the Authors:

Timofei Yu. Shabanov – Cand. Sci. (Economic), <https://orcid.org/0000-0003-1778-5310>, SPIN-code: 6245-9009, Corresponding Author, shabanovtyu@mail.ru
Alexey A. Kopchenov – Dr. Sci. (Economic), <https://orcid.org/0000-0002-4477-2710>, SPIN-code: 7126-8640, a.a.kopchenov@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-141-153
УДК: 631.529:551.58(63)

Endihnew Gibtan Demeke¹,
Mehari Hadush Girmay^{2*}, Biniam Assefa²,
Dessalegn Obsi Gemed³

¹Department of Natural Resource,
MizanTeferi ATVET college

²Ethiopian forestry development, Mekelle center,
Natural Forest and Climate Change Research
Program, Mizan-Tepi University, College of Agriculture

³Jimma University College of Agriculture
and Veterinary Medicine
dasoobsi@gmail.com

*Correspondence: meharigis2008@gmail.com

Authors' Contributions. Endihnew Gibtan Demeke: writing – original draft, formal analysis, writing – review & editing, investigation. Mehari Hadush Girmay: writing – original draft, methodology, writing – review & editing, visualization. Biniam Assefa: validations, methodology, writing – review & editing. Dessalegn Obsi Gemed: supervision, resources, project administration, writing – review & editing.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citations: Demeke E.G., Girmay M.H., Assefa B., Gemed D.O. Determinants of farmers' choice of adaptation strategies to climate change in Semen Bench District, Southwest Regional State, Ethiopia. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):141-153.
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-141-153

Received: 22.10.2025

Accepted for publication: 18.12.2025

Published: 16.03.2026

Эндихнев Гибтан Демеке¹,
Мехари Хадуш Гирмай^{2*},
Биниам Ассефа², Дессалегн Обси Гемед³

¹Department of Natural Resource,
MizanTeferi ATVET college

²Ethiopian forestry development, Mekelle center,
Natural Forest and Climate Change Research
Program, Mizan-Tepi University, College of Agriculture

³Jimma University College of Agriculture
and Veterinary Medicine
dasoobsi@gmail.com

*Авторы для переписки:
meharigis2008@gmail.com

Вклад авторов: Эндихнев Гибтан Демеке: создание черновика рукописи, формальный анализ, создание рукописи и ее редактирование, проведение исследования. Мехари Хадуш Гирмай: создание черновика рукописи, методология, создание рукописи и ее редактирование, визуализация. Биниам Ассефа: верификация данных, методология, создание рукописи и ее редактирование. Дессалегн Обси Гемед: научное руководство, ресурсы, администрирование проекта, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтах интересов.

Для цитирования: Demeke E.G., Girmay M.H., Assefa B., Gemed D.O. Determinants of farmers' choice of adaptation strategies to climate change in Semen Bench District, Southwest Regional State, Ethiopia. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):141-153.
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-141-153

Поступила в редакцию: 22.10.2025

Принята к печати: 18.12.2025

Опубликована: 16.03.2026

Determinants of farmers' choice of adaptation strategies to climate change in Semen Bench District, Southwest Regional State, Ethiopia

Check for updates



ABSTRACT

Relevance. Climate change is a severe problem in Ethiopia as a whole, but especially in the study area, where people rely on subsistence rain-fed farming. Effective adaptation changes in climatic conditions are critical to securing resilient farmers' livelihoods.

Methodology. As a result, this study investigated farmers' choices and factors influencing their adaptation strategies to climate change in Semen Bench District, Southwest Ethiopia, which is heavily impacted by climate change pressure. This study utilized a cross-sectional survey and time series data research design. A multistage stratified random sampling procedure collected from 216 randomly selected sample households using a pretested questionnaire survey. The supplementary data were collected from purposely-selected fifteen key informants; (twenty) focus group participants. Farmers' climate change adaptation techniques were described using descriptive statistics and an econometric model. To determine the characteristics influencing household adaptation methods to climate change, a multivariate probit model was used.

Results. The model results showed that the likelihood of families employing soil and water conservation (SWC), enhanced and diversified crops, tree planting and agroforestry, irrigation, and organic fertilizers were 47.8%, 38.9%, 54.1%, 63.4%, and 59.6%, respectively. Multivariate probit model were applied to identify factors that influence the farmer's decision to adapt to climate change. The MVP model confirmed that the factors had statistically significant ($P < 0.01$, 0.05, and 0.1) effects on the choice of adaptation responses such as the household head's sex, age, education level, household size, farm size, farm income, ownership of tropical livestock, access to credit, extension visit, farmer-to-farmer extension, access to climate information, farmer experience, and the average distance from home to the farm.

KEYWORDS:

Climate change, Adaptation strategies, Multivariate probit model, Ethiopia

Факторы, определяющие выбор фермерами стратегий адаптации к изменению климата в районе Семен Бенч, Юго-Западный региональный штат, Эфиопия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Изменение климата является серьезной проблемой в Эфиопии в целом, но особенно в исследуемом районе, где люди зависят от натурального хозяйства, основанного на дождевом орошении. Эффективная адаптация к климатическим изменениям имеет решающее значение для обеспечения устойчивого жизнеобеспечения фермеров.

Материал и методы. В связи с этим в данном исследовании изучали предпочтения фермеров и факторы, влияющие на их стратегии адаптации к изменению климата в районе Семен Бенч, Юго-Западной Эфиопия, который сильно пострадал от давления изменения климата. В исследовании использовали метод поперечного обследования и метод анализа временных рядов. Многоступенчатая стратифицированная случайная выборка была проведена на основе данных 216 случайно выбранных домохозяйств с использованием предварительно протестированного опросника. Дополнительные данные были собраны у пятнадцати специально отобранных ключевых информаторов (двадцати) участников фокус-группы. Методы адаптации фермеров к изменению климата были описаны с использованием описательной статистики и эконометрической модели. Для определения характеристик, влияющих на методы адаптации домохозяйств к изменению климата, использовали многомерную пробит-модель.

Результаты. Результаты модели показали, что вероятность использования семьями методов сохранения почвы и воды (SWC), улучшенных и диверсифицированных культур, посадки деревьев и агролесоводства, орошения и органических удобрений составила 47,8%, 38,9%, 54,1%, 63,4% и 59,6% соответственно. Многомерная пробит-модель была применена для выявления факторов, влияющих на решение фермера адаптироваться к изменению климата. Модель MVP подтвердила, что факторы, оказывающие статистически значимое ($P < 0,01$, 0,05 и 0,1) влияние на выбор мер адаптации, такие как пол главы домохозяйства, возраст, уровень образования, размер домохозяйства, размер фермы, доход от фермы, владение тропическим скотом, доступ к кредитам, визиты специалистов по распространению сельскохозяйственных знаний, консультации между фермерами, доступ к климатической информации, опыт фермера и среднее расстояние от дома до фермы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Изменение климата, стратегии адаптации, многомерная пробит-модель, Эфиопия

1. Introduction

Climate change adversely affects the environment, human health, food security, economic activities, resources, and physical infrastructures in the world [1]. The impact of climate change on the different sectors varies in degrees, the worst hit is supposed to be rain-fed agriculture due to its high sensitivity to climate stimuli. The impacts of climate change unevenly vary spatially in magnitudes. The developing countries and the poorest peoples will suffer more than the others will, even though their contribution to the change is minimal. Because the economic activities of these countries mostly depend on rain-fed agriculture and natural resources which are susceptible to climate change [2,3].

Climate change has a direct and indirect impact on agricultural production and productivity in rural areas. It has a direct impact on agriculture by affecting weather variables such as temperature, solar radiation, rainfall, wind speed, and humidity [4], as well as indirectly through disease and pest outbreaks and the development of climate-related diseases such as malaria, which affect the labor force [5]. According to Newton et al. [6] climate change alters the complex connections between crops and pathogens, resulting in more pest and disease outbreaks. Ethiopia is an agrarian country, with agriculture accounting for 43% of total GDP [7].

Agriculture in Ethiopia is marked by a lack of modern inputs, low outputs, and reliance on rainfall. According to the CSA's (2008) farm management practices study, smallholders account for 96.3% of total cultivated land and 95% of total crop production. Irrigation accounts for only approximately 1.5% of farmed land. Ethiopian agriculture is one of the most sensitive industries to current climatic variability and future climate change, potentially exposing millions of people to recurring food shortages and famines. Climate change and variability's negative influence on crop and livestock output could lead to a statewide food crisis and significantly harm the economy [8].

Adaptation is an important technique for farmers to deal with the negative effects of climate change and variability, which increases agricultural productivity in impoverished farm households [9]. Similarly, understanding adaptation methods on the part of smallholder farmers may help to address the challenge of climate change [10]. When bad conditions prevail, adaptation can be considered as lowering the severity of various impacts. That is, adaptability minimizes the extent of potential injury. The fact that climate has changed in the past and will continue to change in the future

highlights the need of understanding how farmers perceive climate change and adjust in order to guide future adaptation initiatives.

Climate change and fluctuation have had the greatest impact on the rural parts of Ethiopia's Semen Bench District. The region's natural resource base is severely damaged, and present global warming exacerbates the people's vulnerability to climate change impacts. Several studies concur that the district has been enduring droughts that have happened in the country, showing the susceptibility of the region's response to climate change revealed that the most important climate change was in temperature and rainfall variability, which caused drought and flooding in the districts

In previous studies, there was a gap in the methodology used to identify the factors that influence the choice of adaptation strategies. Previous studies have mainly relied on the multinomial logit (MNL) model, which assumes that farmers select only one adaptation strategy from a set of discrete options. However, in reality, farmers may choose multiple strategies simultaneously, and these strategies can be interdependent [11]. Therefore, it was necessary to conduct research at the household or farm level in different areas of Ethiopia to understand the climate trend, identify adaptation strategies, and determine the factors influencing these choices using the multivariate probit (MVP) model.

To the best of the researcher's knowledge, little empirical study has been conducted in the study area to determine the factors influencing these choices. Therefore, it is crucial to analyze and identify the factors that affect their choice of adaptation strategies.

2. Materials and Methods

2.1. Study area

The study was conducted at Semen Bench district, Bench Sheko zone in southwest National regional state, Ethiopia (Figure 1). It is about 583 km southwest of Addis Ababa and 17 km far from Mizan town. Geographically, it is located between 6°55'00" to 7°07'30" N latitude and 35°032'30"-35°045'00" E longitude (SBDADO). In its relative location, Semen Bench district is bounded on the North by the Sheka Zone, on the Northeast by Kaffa Zone, on the Southeast by Shey Bench district, on the South by Mizan Aman town and on the West direction by Sheko District. In the Semen Bench district there are 21 Kebeles and cover a total area of 60,254.173 ha.

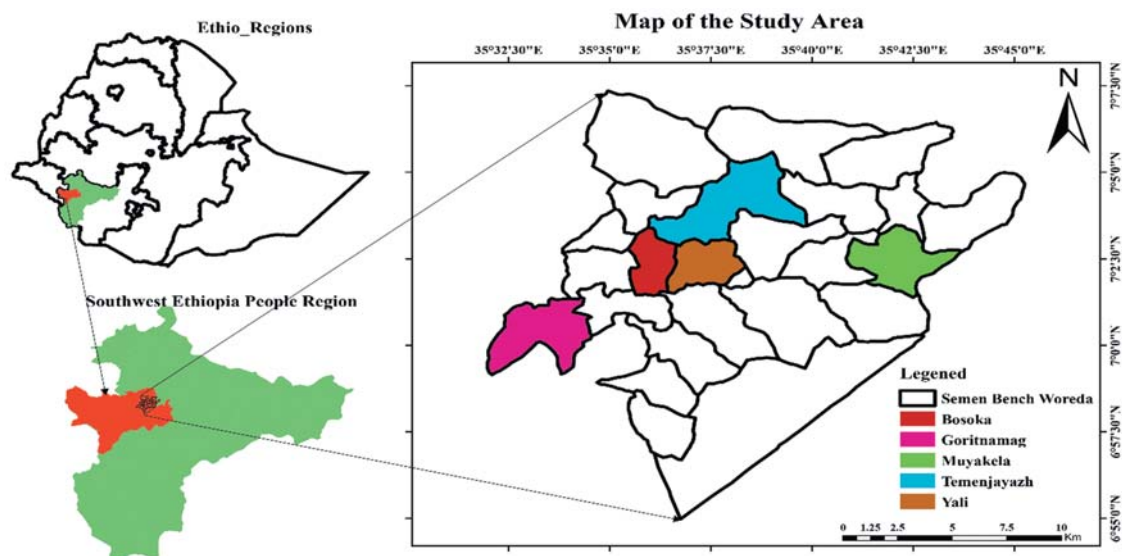


Figure 1. Location of the Study Area

2.1.1. Topography and climate characteristics of the study area

The Semen Bench district is categorized into three agro ecological zones based on altitude: Weyna Dega, Dega, and Kola. The area's topography includes flat terrain, rugged landscapes, plateaus, and steep slopes. Altitudes range from 1400 to 2500 meters above sea level (Masl). Mean annual rainfall ranges from 400 to 2000 mm, and temperatures range from 15°C to 27°C.

2.1.2. Population and socio-economic activities

The district is home to various ethnic communities, including Kaffa, Bench, Amhara, Oromo, Wolayita, and others. According to the 2019 population projection by the Central Statistics Agency in Mizan Teferi, the total population is estimated at 137,407, with 66,902 males and 70,505 females. The Semen Bench District features a mixed farming system. Dominant crops include cereals like maize, barley, wheat, teff, sorghum, rice, sesame, fava beans, and common beans, which account for 26% of cultivation. Tree crops such as coffee, mango, papaya, banana, and avocado represent 65%, while root and tuber crops like potatoes, sweet potatoes, carrots, inset, and taro make up 9%. Livestock, including cattle, sheep, goats, poultry, and donkeys, are vital for income and livelihoods.

2.2. Research Design and Approach

This study employed a cross-sectional survey and time series data research design, integrating both quantitative and qualitative approaches. These methods were selected to comprehensively gather and analyze data on climate perception and farmer adaptation strategies, including socioeconomic household characteristics. Data collection tools included questionnaires and structured interviews for quantitative data, along with interviews, focus group discussions, and key informant interviews for qualitative insights. Additionally, temperature and rainfall data from the Ethiopia Meteorological Institute (EMI) were used to enhance the climate change analysis.

2.3. Sampling technique and sample size determination

Multi-stage random sampling technique was used for this study. among six districts of the Bench Sheko zone, Semen Bench District was selected purposively, because the district is more constrained by environmental factors (rainfall variability, temperature variability, excessive runoff, and local flood) as well as socioeconomic factors (scarcity of water, improper land use and lack of infrastructures) than other districts, also, which are more vulnerable to climate change and prone to risks and the climate trends and local climate change adaptation strategies and factors affecting the choice of climate change adaptation strategies were very limited studied before, even in the neighboring district also there was not a lot of studies.

In the second step, stratified random sampling was used because the district is heterogonous in agroecology. The entire population that is number of households within the district is divided into three strata considering the agro ecological zones. Because agro ecological variation creates heterogeneity in the adaptation strategies of the farm-

ers. Therefore, the entire district was stratified into three classes based on data of agroecological zones.

The agroecological zones were Woyna Dega (midland), Kola (lowland), and Dega (highland). In the third step, five sample kebeles were selected randomly (lottery) method (three kebeles from Woyna Dega, one kebele from Kola, and one kebele from Dega) then households randomly selected from the three agroecological zones of five sampled kebeles using probability proportional to size. Finally, due to time constraints to cover the vast and very difficult geographical extents having an extremely dispersed settlement of the household heads and budget limitations, from the total of 2978 household heads, 216 were selected using simple random sampling (SRS). This method of sample selection gave each kebele and every household head in each kebele an equal chance of being included in the sample. The probability proportional to size technique was applied to determine the number of samples required at each stage of disaggregation. So, finally, the household sample sizes were determined by using the Cochran&Talwani [12] sampling formula with 95% confidence level and at 7% precision level to determine the required sample size.

$$n = \frac{z^2 \cdot P(1 - P)}{(e)^2} \dots\dots\dots eq1.$$

Where *n* is required sample size (when the population is >10,000), *P* is the approximate proportion of people having the basic knowledge attitude, and behavior of local adaptation strategies. Since there is no data on the local adaptation strategies of in the target regions (50%).

Z is the value of 1.96 to achieve the level of confidence of 95%; *e* is the tolerable error margin, as defined in 0.07 (i.e., 7% maximum discrepancy between the sample and the general population).

Then 1.962*0.5(1-0.5)/0.072=196 an additional 10% contingency was added to compensate possible non-response rate; therefore the total sampled size is 216.

$$ni = \frac{n \cdot Ni}{\sum Ni} \dots\dots\dots eq2.$$

Where *n* = determined sample size the research paper was used

ni = households of the *i*th kebele, and

Ni = total households of the *i*th kebele.

2.4. Sources of data

This study used both primary and secondary data sources. Primary data were collected via household surveys, focus group discussions, key informant interviews, and direct observations with farm households, kebele agricultural experts, and development agents.

Table 1. Distribution of Sampled households by sample kebeles

Agro-ecology Total	Kebeles	Total population	Total household (Ni)	Sample household (ni)
Woyna Dega	Temenj yezh	4361	976	71
	Yali	2563	720	52
	Boseka	2092	300	22
Dega	Moyakela	4220	495	36
Kola	Goritina mag	3031	487	35
Grand total		16267	2978	216

Secondary data were obtained from published and unpublished sources, including government offices, the NMI, the Central Statistical Agency, online sources, universities, public libraries, and local offices related to agriculture, water development, and health in the Semen Bench district.

2.5. Data collection tools

A survey with structured, semi-structured, and unstructured questionnaires was conducted among 216 households to understand the determinants of farmers' climate change adaptation strategies. Focus group discussions (FGDs) with eight members from different kebeles included long-term residents, local elders, religious leaders, women, extension agents, and young farmers. Informal interviews with 20 key informants from agriculture, livestock, natural resources, forestry, environmental protection, and water sectors were conducted to validate and expand on the collected information. Additionally, secondary data were reviewed from district and kebeles documents, including census reports, activity progress reports, archived data, and economic information.

2.6. Method of Data Analysis

The result of the study was analyzed and presented by using; descriptive statistics and Multivariate Probit model. The collected data were analyzed using both qualitative and quantitative methods. Descriptive statistics (mean, standard deviation, percentages, and graphs) were used to present socio-economic characteristics, perceptions of climate change, and adaptation strategies. The chi-square test measured associations between categorical variables and agroecology zones, while the F-test assessed mean differences in continuous variables among these zones. Qualitative data from focus group discussions, field observations, and key informant interviews were presented through simple narrations.

The present study aimed to identify the factors that determine climate change adaptation strategies in the study area. Many studies on farmers' adaptation decisions commonly use analytical approaches such as multinomial logit (MNL) and multinomial probit (MNP). These approaches are suitable for evaluating different combinations of adaptation strategies, including individual strategies [13].

In the MNL model, it is assumed that each farmer faces a set of discrete and mutually exclusive choices of adaptation measures, and they choose exactly one adaptation strategy. The model also assumes the independence of irrelevant alternatives (IIA) property, which means that the ratio of probabilities of choosing any two alternatives is independent of the attributes of any other alternative in the choice set [14]. However, in real situations, farmers may choose more than one adaptation strategy simultaneously, and each strategy are interdependent with others. Therefore, the MNL model may not be suitable for such cases, and an alternative model that can address these limitations is needed.

However, this study was employed a multivariate probit (MVP) model and this is an appealing model of choice behavior because it allows a flexible correlation structure for the unobservable variables because farmers who choose more than one adaptation strategy at once are so-called mutually inclusive [11]. It is a generalization of the probit model used to estimate several correlated binary outcomes jointly. The MVP is one form of a correlated binary response regression model that can simultaneously estimate the influence of the set of explanatory variables on each of the different practices, while allowing for the potential correlation between unobserved disturbances as well as the relationship between the adoptions of different practices [15].

The model is based on the multivariate normal distribution and is recommended in cases of interdependence among the irrelevant alternatives [16].

The judgment of whether or not to use any adaptation option could fall under the general framework of its value and production improvement capacity. Consider a rational farmer who pursues to improve agricultural productions over a specific time and must choose among a set of 'j' adaptation options. Hence, the farmer 'i' decides to use 'j' adaptation options if the perceived benefit from option 'j' is greater than the utility from other options (say, 'k') stated as:

$$U_{ij}(\beta_j X_i + \varepsilon) > U_{ik}(\beta_k X_i + \varepsilon_k), k \neq j \dots \dots \dots eq3$$

Where U_{ij} and U_{ik} are the perceived values by farmer i of adaptation options j and k , respectively; X_i is a vector of explanatory variables that influence the choice of the adaptation option; β_j and β_k are parameters to be estimated and ε_j ε_k are the error terms.

Under the revealed preference assumptions, the farmer practices an adaptation option that generates net benefits and does not practice an adaptation option otherwise; we can relate the observable discrete choice of practices to the unobservable continuous net gain variable as $Y_{ij}=1$ if $U_{ij}>0$ and $Y_{ij}=0$ if $U_{ij}<0$. In this formation, Y is a dichotomous dependent variable taking the value of 1 when the farmer chooses an adaptation option in question and 0 otherwise [17].

According to [18] and [17], the MVP econometric approach that was used for this study is characterized by a set of five binary dependent variables like Improved crop and Crop diversification, using Soil and Water conservation, using Tree planting and Agroforestry, using Irrigation and water harvesting, and using fertilizer such that: $Y_{ij}^* \beta_j + \varepsilon_{ij}$

$$(j=Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, \dots) \dots \dots \dots eq4$$

Thus, the econometric approach for this study is by using the indicator function; the unobserved preferences in Eq. (4) translate into the observed binary outcome equation for each choice as follow

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } Y_{ij}^* > 0 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (j=Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, \dots) \dots \dots \dots eq5$$

Where Y_1 = Improved crop and Crop diversification, Y_2 = Soil and Water conservation, Y_3 = Tree planting and Agroforestry, Y_4 = Irrigation and water harvesting, and Y_5 = using organic Fertilizer, X is a vector of explanatory variables, $\beta_1 \beta_2, \dots, \beta_5$, are conformable parameter vectors, and random error terms $\varepsilon_1 \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_5$ are distributed as multivariate normal distribution with zero means, unitary variance and an contemporaneous correlation matrix $R=[\rho_{ij}]$, with density $\phi(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_5; R)$. The likelihood contribution for an observation is the 5-variate standard normal probability:

$$Pr(y_1, y_2, \dots, \beta y_5 x) = \int_{-\infty}^{(2y_1-1)x\beta_1} \int_{-\infty}^{(2y_2-1)x\beta_2} \dots \int_{-\infty}^{(2y_5-1)x\beta_5} \phi(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_5; ZRZ) d\varepsilon_5 \dots d\varepsilon_2 d\varepsilon_1$$

Where $Z = \text{diag}$

$$[2y_1 - 1, \dots, 2y_2 - 1] \dots \dots \dots eq6$$

The maximum likelihood estimation maximizes the sample likelihood function, which is a product of probabilities across sample observations as shown above [17].

2.7. Model Specification and test

Variance Inflation Factor (VIF) was checked for the existence of multicollinearity between all the explanatory variables included in the model using SPSS - version 26.

2.8. Basic definition of dependent and explanatory variables

Dependent variables: The dependent variables of the present study were the adaptation options that the farmers employ in response to climate change. The most common adaptation methods cited in the literature include different crop varieties, mixed crop and livestock farming, soil conservation, tree planting, changing planting dates, diversifying from farm to nonfarm activity, and irrigation [10]. Based on the literature and the researcher's knowledge in the area, the study uses the following adaptation strategies improved crop and crop varieties, tree planting, soil and water conservation, irrigation, and no adaptation.

Improved crop and Crop diversification (Y1): This implies planting of duration crop; and drought-tolerant crops and farmers could change the date of planting crops concerning the change in the climate (early or late planting) that survive in adverse atmospheric conditions [19].

Soil and Water Conservation (Y2): Include soil erosion preservation, management and care of the soil to make it suitable for their crops, dam construction, conservation of rainwater for watering the crops in times of deficient rain, groundwater harvesting, and agro forestry [19].

Tree planting and agroforestry (Y3): planting trees for shading, fuel woods, construction, fruit, preventing erosion, carbon sink, and economic purpose.

Irrigation and water harvesting (Y4): Includes irrigation development from rivers or lakes and dams to cope with the challenges of climate change [19]. It involves the adoption of farmers to build water, harvesting schemes such as traditional hand-dug or shallow open wells for the abstraction of groundwater for irrigation, and diversion, and pumping of spring water to practice irrigation. Solomon et al. [20] identified the use of irrigation as one strategy for climate change adaptation

Use of organic fertilizer (Y5): including animal manure, mulching, green manure, and waste materials (compost) that enhance/ improve soil fertility and increase productivity as well as production and this is also important to reduce soil erosion and climate change impacts.

Explanatory variables: The independent variables were the factors that affect the choice of adaptation methods to climate change. Different literature was reviewed on the factors that affect farmers' choice of adaptation method to climate change. The majority of them have been focused on household characteristics, farm characteristics, institutional factors, and environmental factors. Accordingly, the researcher conceded the following as exogenous variables i.e., factors that influence farmers' choice of adaptation strategies to climate change.

Age of the household head (AGE): This is a Categorical variable, and this variable was predicted to possess a positive sign. Obayelu et al. [21] stated that age will influence farmers' efforts to adapt to climate change. The variable was hypothesized to have either a positive or a negative effect on the choice of adaptation strategy.

Gender of the household head (SEX): Gender is a dummy variable that indicates zero if the male household head and one otherwise. The expected sign of this variable was indeterminate. Hassan&Nhemacjena [22] reported that female-headed households are more likely to take up climate change adaptation methods.

Education level of the household head (EDU): Education level increases farmer's ability to induce process and use information and increases farmers' willingness to adopt a new technology. According to Addisu et al. [23] education improves the level of understanding about climate change adaptation which increases the likelihood of using drought-tolerant varieties. Therefore, it was hypothesized that education influences adaptation strategies positively.

Farming experience (FAREX): it is a continuous variable, and it is assumed that farmers who have more farming experience can adopt agricultural adaptations earlier than farmers with shorter farming experience can. Thus, farmers with longer farming experience are expected to be more knowledgeable and skillful. Hassan&Nhemacjena [22] reported that more farming experience increases the probability of a farmer adapting to climate change. Therefore, this variable was assumed to positively influence adaptation.

Household size (HHS): it is a continuous variable. Household size is the total number of family members in the household. A sizable amount of family members can adapt to the effects of climate change easily [24]. Research done by Abid et al.[25] also revealed that the increase in family size increases the likelihood of using SWC practice and agro-forestry. Therefore, it is expected that household size was a positive sign for the farmers' who will be using adaptation methods to climate change.

Farm income (FARM): farm income is an income return to the household from farming activities. This will be measured in the form of Ethiopian Birr. Deressa et al.[10] asserted that as farm income increases the probability of adopting irrigation, adjusting planting dates, and using drought-tolerant varieties increases. This is a continuous variable and is expected a positive sign for the farmers who used adaptation methods to climate change.

Access to credit service (CREDIT): The availability of credit is important for the farmers to make adaptation strategies. Credit can be used for the farmers to introduce new technology, to buy modern crops, fertilizers, and oxen. The study by Nhemacjena&Hassan [17] demonstrated that access to credit improves the probability of adopting irrigation, adjusting planting dates, using different crop varieties, and SWC practices in response to climate change. Therefore, thus was expected a positive sign for the farmers' who used the adaptation method to climate change and is a dummy variable indicating 1 if the farmers have access to credit and 0 otherwise.

Agricultural extension service (AGRIEXS): This is a formal service and plays a great role that affecting farmers to adopt strategies in response to climate change. Deressa et al. [10] disclosed that extension contact enhances the likelihood of using irrigation, SWC practices, planting trees, and improved variety in response to climate change. The expected sign was a positive.

Farmer-to-farmer extension service (FFEXTS): This variable is a dummy variable that indicates one if the farmer has available farm-to-farm extension service zero otherwise. It serves as a source of information and exchange and sharing of experience among farmers. Deressa et al. [10] found that access to farmer-to-farmers" extension services positively affected adjusting planting date, planting trees, using improved variety, SWC practices, and irrigation in response to climate change. This variable is a dummy variable that indicates 1 if the farmer has available farm-to-farm extension service and 0 otherwise. The expected sign was a positive

Farm size (FARMSZ): - The farm household withholding big farmland has more to use adopted and the farm size is measured in terms of hectares. Tesfoye&Seifu [26] also found that large landholding increases the use of SWC practice. Therefore, the variable is continuous, and it was expected a positive sign for

Table 2. Summary of explanatory variable descriptions

Variable Code	Type	Description	Value	Expected sign
AGE	Categorical	Age of HH head	1= 20-40, 2, 41-60, 3,>60	±
DMKT	Continuous	Market distance	Kilometer	-
SEX	Dummy	Sex of HH Head	1 if male 0 female	±
CREDIT	Dummy	Access to Credit	1 = yes, 2 = No	±
CLIMINFOR	Dummy	Access to climate	1 = yes, 2 = No	+
DFARM	Continuous	Distance from home to farm	Kilometer	-
EDU	Categorical	Educational Level of HH	0 for illiterate,1= read and write, 2=primary school,3 secondary and above	+
FARM	Continuous	Farmer's income	ETB	+
TLU	Continuous	Livestock holding	Tropical-Livestock-Unit	±
AGRIEXS	Dummy	Extension contacts	1=yes, 2= No	+
FARMSZ	Continuous	The area of farmer farm	Hectare	±
HHS	Continuous	Farm size of household	Years	+
FFEXTS	Dummy	Farmers to contact	1, yes 0 no	+
FAREX	Continuous	Year of farmer experience	Years	+

the farmers' who will be using adaptation methods to climate change.

Livestock holding (TLU): - Livestock is a vital instrument in the case of climatic change to adopt. This is because livestock is essential for farm households to use as for harvesting, transportation and also for financial purposes by selling them. This implies that farmers with more numbers of livestock is the richer and can respond to the adverse impact of climate change through adaptation method. Belay et al. [13] revealed that owning large number of livestock in tropical livestock unit increases farmers' likelihood of planting trees, adjusting planting dates, and use of SWC practices. This is a continuous variable and is expected a positive sign for the farmers' who will be using adaptation method to climate change.

Distance from home to the farm (DFARM): This variable is a continuous variable represented by walking time (in minutes) from farmers' residence/home to their farming place. This value also expected that the farmer whose farm is far from his residence is less likely to continuously follow up on his farm as compared to those whose farm is nearer to their home. Thus, it is expected that farmers who live near their farms are likely to have regular follow-up of their farms, hence motivated to respond to the impact of climate change on their agricultural activities. According to Gizaw et al. [27] distance from home to farm decreases the probability of using improved variety and agroforestry. Therefore, it was expected to negatively affect choice of adaptation strategy.

Distance to the market (DMKT): - This is a continuous variable that measures in terms of time spent from the residence of farm households to the market area. The residences of farmers are nearest to the market they get many opportunities as compared to the far ones. Because the nearest one obtains agricultural inputs, information, and experiences. According to Addisu et al. [23] that distances to the market negatively affected the use of irrigation. Therefore, this variable was expected a negative sign for the farmers' who will be using adaptation methods to climate change.

Access to climate information (CLIMINFOR): This is a dummy variable indicating 1 if the household head has access to climate change and 0 otherwise. Belay et al. [13] also revealed that the use of SWC practices, adjusting planting dates, and

planting trees in response to climate change is enhanced by access to climate information. This variable a positive sign for the farmers' who will be using adaptation methods to climate change.

3. Results

3.1. Descriptive summary of a categorical variable

The majority (68%) of respondents were aged 41-60, while 31% were aged 20-40, and 1% were over 60. In both agro ecological zones, most respondents aged 41-60 were in the active labor force. Specifically, 20% of those aged 20-40, 71% of those aged 41-60, and 5.6% of those over 60 lived in the Kola, Woyna Dega, and Dega agro-climatic zones, respectively. The results showed that there is no statistically significant association between respondents' ages and agro ecological zones at the $p < 0.01$ level.

Most respondents, 188 (87.0%), were male-headed households, while 28 (13.0%) were female-headed. Results show that 86.1% of male-headed households were in highland (Dega) zones, whereas 14.3% of female-headed households were in lowland (Kola) zones. A results show that there is a statistically significant association between respondents' gender and agro-climatic zones at $p < 0.01$ (Table 2). Similarly, Minwuye [28] found significant gender differences between agro ecological zones using χ^2 and t-tests.

Most respondents (80.6%) were illiterate, while 17.6% could read and write, and 1.5% had attended primary school, with no secondary education represented. Cross-tabulation by agro-climatic zone showed that 85.7% of illiterate household heads were in the Kola zone, whereas 5.6% of literate heads were in the highland zone. A chi-square test indicated a significant association between education status and agro-climatic zones at the $p < 0.05$ level. Most respondents (88.5%) were married, 3.2% were divorced or widowed, and 5.1% were single. Additionally, 78.7% of respondents used extension services, while 21.3% did not. Most extension service users (50.5%) and non-users (16.2%) were in the Dega and Woyna Dega agro-climatic zones, respectively. A chi-square test indicated a significant association between extension service use and agro-climatic zones at the $p < 0.01$ level. This aligns with Ojo&Baiyegunhi [29] who found that access to

extension services significantly influences farmers' decisions to participate.

Similarly, the study questions the respondents about the accessibility of weather information to the farmers. Over two-thirds (69.4%) of the respondents had access to weather information, according to the assessment, while the remaining samples (30.6%) said that they were unable to obtain the information. Many of the accessible respondents (88.9%) are found in a Dega agroclimatic, while the remaining 85.5% and 72.4% are found in Kolla and Woyna agroclimatics, respectively, according to the poll, which shows that weather information is available in practically all agro-ecologies. The respondents with access to weather information, as well as those without, are found across all three agroecological zones. However, most of the respondents are taken from the Woyna dega agro-climatic zones (26.9%) and the other 14.3% and 11.1% of them are found in Kola and Dega agro climates, respectively.

As a result shows the accessibility of weather information and the existence of the diverse agro climate as Kola, Woyna dega, and Dega areas in the same livelihood source has a significant association at $P < 0.01$ probability level. A study of Deressa et al. [10] underlined that access to extension and weather information is indispensable to making the right decision to adapt to climate change and variability. Therefore, the chi-square test result is consistent with previous studies

3.1.2. Descriptive summary of continuous variables

The survey findings indicated that the average household size among the respondents was 5.11. Furthermore, when examining the data based on different agro-climatic zones, it was observed that the average household size in the lowland zone was 4.7, while in the Woyna Dega and Dega zones, it was 5.2 and 5.22, respectively. This suggests that the average

household size in the lowland zone was smaller compared to the overall observation, whereas in the Woyna Dega and Dega zones, it was larger. An F-test was conducted to assess the differences in average household size among the agro-climatic zones, and the results confirmed that these differences were statistically significant at a significance level of $p < 0.01$. This finding aligns with the conclusion reached by Deressa et al. [10] which states that a larger household size significantly enhances households' capacity and options to cope with climate change.

The study also calculates the average land holding of the respondents. It is estimated to be an average of 1.2 hectare in the study area. It shows there are much higher (1.32 hectare) and much lower (0.95 hectare) land holding than the average (1.23 hectare) in the lowland and mid land agro ecologies respectively. Kola ecological zone has higher in small land holding size of the household followed by Woyna Dega household and the high land holding size is highest in Dega agro ecological zone. Furthermore, the applications F- test with the three groups of agro-climatic showed there are highly significant mean differences in farm size of the households in between Kola, Woyna Dega and Dega agro-climatic agro ecologies at $P < 0.01$ probability level This result is parallel with previous study [28].

The average agricultural experience of the selected households was 74.4, according to the survey results. According to the current study, the average farm experience of the Kola, Woyna Dega, and Dega agro-climatic zones was 25.1, 22.7, and 26.9, respectively. This revealed that the Dega agro-climatic zones average agricultural experience was greater than the other two agro-climatic zone. Furthermore, the Woyna Dega agro-climatic was less typical agricultural experience than the kola kebele. According to Hassan&Nhemachena [22] more farming experi-

Table 3. Characteristics of categorical variables of sample respondents

Variables		Kola		Woyna dega		Dega		Total (%)	P-value	X2
		Freq	%	Freq	%	Freq	%			
Age	20-40	14	40.0	62	42.8	10	27.8	36.9	0.46ns	4.79
	41-60	21	60.0	80	55.2	24	66.7	60.6		
	>60	0	0.0	3	8.0	2	5.6	4.5		
Sex	Female	5	14.3	38	17.6	5	13.5	13.3	0.00***	6.05
	Male	30	85.7	6	2.8	31	86.1	88.7		
Educational status	Illiterate	30	85.7	119	82.3	28	77.7	81.9	0.00***	8.73
	Read & write	5	14.3	25	17.2	6	16.7	17.6		
	Primary school	0	0.0	1	0.7	2	5.6	1.9		
	Secondary school	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0		
Marital status	Single	2	0.9	4	1.9	11	5.1	7.9	0.00***	16.01
	Married	53	24.5	34	15.7	98	45.4	85.6		
	Divorced	1	0.5	4	1.9	2	0.9	3.2		
	Widowed	1	0.5	2	0.9	4	1.9	3.2		
Extension service	No	8	23.9	46	31.7	13	36.1	30.6	0.01***	5.29
	Yes	27	77.1	98	67.6	23	63.9	69.4		
Access to weather information	No	5	14.3	39	26.9	4	11.1	17.6	0.00***	5.68
	Yes	30	85.8	105	72.4	32	88.9	82.4		

Note: *** refers to significant at $p < 0.01$, ns= non-significant

ence enhances the likelihood of a farmer adjusting to climate change.

The present study revealed that the average on farm income of the respondents is 58, 381.35 Birr. The study found that the lowland agro-climatic had the highest on farm income (92,663 Birr) and the Woyna Dega agro-climatic had the lowest on farm income (17,063.10 Birr), while the Dega agro-climatic farmers had an average on farm income of 57,198.30 Birr. Similarly, the study found that the Kola agro-climatic ecology has the greatest on-farm income earning of 10,047 Birr and the maximum earning of 3,838.00 Birr, with an average earning of 9,273.00 Birr in the Woyna Dega region.

Hence, the table shows there are a lower on farm income than the average in the midland and in the Dega agro-climatic. Additionally, the F-test checked the existence of a highly significant mean difference in the three dis aggregated groups of agro-climatic for on farm income earnings in Semen Bench district households at $P < 0.01$ probability level. Studies in Ethiopia by

Table 5. Variance Inflation Factor (VIF) for continuous variable

Variable	VIF	1/VIF
AGEHH	1.80	0.56
EDULHH	1.51	0.66
HHS	1.18	0.84
FAMSHH	1.33	0.75
FINCOM	1.19	0.84
TLU	1.10	0.91
DFARM	1.31	0.77

Mean VIF 1.35

Table 4. Characteristics of continuous variables of sample respondents

Variables	Kola	Woyna Dega	Dega	Total	F-value	P-value
Household size	4.7	5.2	5.2	5.11	7.69	0.000***
Farm size	0.95	1.23	1.32	1.20	52.3	0.000***
Farm Experience	25.16	22.69	26.89	74.73	43.2	0.967ns
Farm income	92663	17063.10	57198.30	58381.35	19.38	0.001***

*** refers to significant at $p < 0.01$, respectively

(30) show that an increase in farm income increases the financial capacity of rural households to adopt climate change and variability strategies. Therefore, the F-test result of this study was similar with the findings of previous studies.

3.2. Determinants of smallholder Farmer's Adaptation Strategies to climate change in the study area Model Specification and Test

Before estimating the multinomial probit model, it was important to look for outliers and determine whether the explanatory variables under consideration were multicollinear. The reason for this is that multicollinearity has a significant impact on parameter estimates. If multicollinearity is shown to be significant, the presence of both variables at the same time will either weaken or strengthen their respective impacts. In summary, the coefficients of variable interaction indicate whether or not one of the two linked variables should be removed from model analysis [31].

Thus, before estimating the model's parameters, regression diagnostics were performed to ensure that the regression assumption was met. The Variance Inflation Factor (VIF) was examined for the presence of multicollinearity among all explanatory variables included in the model and was determined using SPSS – version 26. The variance inflation factor for all explanatory variables was less than 10, indicating that multicollinearity is not a major issue in the model (Table 5).

Furthermore, there was interaction between dummy variables, which may contribute to multicollinearity. To detect this issue, coefficients of contingency were calculated from survey data. The con-

Table 6. Contingency Coefficients (CC) for Dummy Variables

Variable	Contingency Coefficient (CC)
SEXHH	0.2
CRAHH	0.16
CLIMINF	0.15
AEXCHH	0.1
FFEXTS	0.04

tingency coefficients (CC) were calculated using SPSS version 26, and the results indicated that there was no strong link between the various discrete explanatory variables, as the respective coefficients were very low (less than 0.75) (Table 6).

Correlation coefficients

According our finding, farmers utilized various climate change adaptation practices such as soil and water conservation, crop diversification, improved crop variety, planting trees and agroforestry, organic fertilizer, and irrigation. The success rate of farmers in implementing adaptation strategies was approximately 8.2%, while the failure rate was around 0.042% (Table 7). Adaptation measures protect farmers from losses caused by temperature and rainfall changes.

The correlation coefficients of the error terms for each pair of equations should be significant to employ the MVP model. At the 5% significance level, the likelihood ratio test of $Rho_{ij} = 0$ is significant, suggesting that at least one pair of adaptation tech-

Table 7. Correlation matrix of adaptation strategies from the MVP model

	Tree planting and agroforestry	Improved crop and crops diversified	SWC practices	Irrigation and-water harvesting	Organic fertilizer
	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
	(Std. error)	(Std. error)	(Std. error)	(Std. error)	(Std. error)
Rho1	1.000				
Rho2	0.0505* (0.4606)	1.000			
Rho3	0.0551* (0.4207)	0.0332** (0.6280)	1.000		
Rho4	0.0563* (0.3396)	0.0580* (0.3961)	(0.0372* (0.1547)	1.000	
Rho5	0.0431** (0.5284)	0.1092 (0.1094)	-0.0203** (0.7664)	0.0000*** (1.000)	1.000
Predicted probability	0.541	0.389	0.478	0.634	0.596
Joint probability success					0.082
Joint probability failure					0.00042

Likelihood ratio test of rho21 = rho31 = rho41 = rho51 = rho32 = rho42 = rho52 = rho43 = rho53 = rho54 = 0 $\chi^2(10) = 19.710^*$
 ***, **and*significant at 1%, 5% and 10% probability respectively.

niques has a correlation coefficient that is statistically different from zero.

As a result, the five combinations' correlation coefficients are statistically different from zero, indicating that the MVP model specification is suitable and that the solutions for adapting to climate change are mutually inclusive (Table 7). This indicates that the various adaptation strategies employed by farmers have complementarities (positive correlations) and substitutability (negative correla-

tions). The many options for adaptation are interdependent. Planting trees and improved crops, agroforestry and the use of organic fertilizer, agroforestry and irrigation, and the use of improved crops and irrigation all have a positive link (complementarity). This suggests that several adaptation option combinations can be applied simultaneously. Additionally, these combinations can support one another. Additionally, there is a negative association (substitutability) between organic fertilizer and SWC practice utilization.

Table 8. Multivariate probit results of farmers' climate change adaptation decisions

Variables	Climate change adaptation strategy									
	Tree planting and Agroforestry		Improved crop and crop diversification		SWC practices		Irrigation and water harvesting		Organic fertilizer	
	Coef.	p>z	Coef.	p>z	Coef.	p>z	Coef.	p>z	Coef.	p>z
SEXHH	-.432	0.046**	.686	0.000***	-.091	0.673	-.025	0.903	-.229	0.310
AGEHH	-.0158	0.099*	-.011	0.259	-.001	0.919	-.018	0.053*	-.009	0.395
EDULHH	-.0173	0.919	.344	0.056*	.348	0.033**	-.002	0.991	-.031	0.866
HHS	.0420	0.337	-.0145	0.723	.091	0.043**	.056	0.191	.083	0.081*
FAMSHH	.0150	0.092*	.177	0.214	.210	0.173	.242	0.001**	.148	0.311
FINCOM	-.182	0.277	.075	0.062*	.295	0.049 **	.212	0.161	.340	0.030**
TLU	.0986	0.074*	.051	0.277	.0249	0.626	.098	0.055*	.109	0.034**
CRAHH	.152	0.496	.389	0.077*	.212	0.345	.491	0.019**	.340	0.030**
AEXCHH	.167	0.054*	.535	0.025**	.034	0.089*	.257	0.321	.001	0.996
FFEXTS	.340	0.132	.082	0.044**	.097	0.042**	.249	0.254	.319	0.185
CLIMINF	.004	0.984	.331	0.104	.320	0.015**	.478	0.034**	.200	0.375
DFARM	-.365	0.094*	.118	0.581	-.426	0.061*	.141	0.509	.317	0.195
FAEXP	.0029	0.662	.0199	0.011**	.003	0.656	.003	0.585	.013	0.046**
_cons	.424	0.634	1.128	0.168	0.209	0.014	.964	0.249	.868	0.336

Number of Observations

Log-likelihood

Wald $\chi^2(70)$

Prob.> χ^2

***, **and*significant at 1%, 5% and 10% probability respectively

216
 -546.344
 107.25
 0.000***

3.2.1. Determinants of Farmers' Choice of Adaptation Strategies

The MVP results showed that the correlation coefficients of error terms are statistically significant at a 1% significance level, indicating that climate change adaptation strategies were complementary. Table (8) displayed the MVP model estimation results as well as the levels of statistical significance of the components.

At a 1% significance level, the Wald $\chi^2(70)$ and $p < 0.000$ are statistically significant, indicating that the model's subset of coefficients is jointly significant and that the explanatory power of the factors included in the model is satisfactory; thus, the MVP model fits the data reasonably well. Similarly, the model is significant because the null hypothesis that the five-climate change adaptation strategy choice decision is independent was rejected at the 1% significant level. The findings suggested that diverse household and institutional variables influenced their choice significantly.

Sex of the household head: Sex of the household head affects the choice of climate change adaptation strategies, where the sex head of the household was positively associated with the probability of choosing improved crop and crop diversification and negative influence on the use of tree planting and agroforestry practice to adapt climate change generating strategy at less than 1% and 5% level of significance respectively. It indicates that males are more highly engaged in farm activities than females and have better farm experience and information in the study area. It also implied that males are more likely to use improved crop and crop diversification practices than females while females are more likely to adopt home garden agroforestry practices than males to adapt to climate change.

The reason behind that home garden agroforestry practices are generally undertaken near home and women are more readily responsible. The other reason is that they invest more time in domestic roles such as childcare, cooking, washing cloth, gathering firewood, and fetching water with high participation in low economic value and time-consuming agricultural activities like weeding and harvesting, so account for this women are less likely to use improved crop and crop diversification than male. This finding aligns with the research conducted by Abraham et al. [32] that women have less access to different farm activities due to different factors such as culture, energy, and lack of raw materials in this case they have little bit of contribution to agricultural work, whereas males are more likely to plant diversified crops and adjust planting date to adapt to climate change.

Age of the household head: The result of the MVP model showed that the age of the household head was negative significant with the probability of choosing tree planting and agroforestry and irrigation and water harvesting as an adaptation strategy to climate change both at a 10% level of significance. It implies that young household heads were more perform and participated in climate change adaptation strategies. Due to the reason of young household heads were more energetic, closest to information technology, and could afford to take the risks associated with climate change adaptation strategies. In supporting this Onubuogu et al. [33] also confirmed that younger farmers are more inclined to actively seek out new technologies and information, thereby they apply different climate change and variability adaptation strategies.

In contrary to this finding, the study by Atinkut&Mebrat [34] shows that the age of the respondents had a positive and statistically significant relation with climate change adaptation strategies. This implies that old-aged household heads apply different climate change and variability adaptation strategies more than those young-aged household heads because old-aged household heads confront an active labor force to apply and manage different adaptation strategies. This reflects that old-aged household heads most of time come up with their

previous knowledge and they are not keen to adopt new and most recent demonstrate.

Education levels of the household head: The result of the MVP model showed that the education level of the household head was found to be significantly and positively related to using improved crops and diversified crops and SWC practice. This indicates that those farmers who have more educational levels were more likely to adapt to climate change using SWC and improved crops and diversified crops by acquiring high self-employment activities than those do have lower educational levels. The reason is that the household head who attends education can more likely choose climate change adaptation strategies as education equips them with more skills and knowledge about different drought-resistant and pest and diseases-resistant crops and SWC practices activities.

This result was consistence with the finding of (20) who found that the highest level of education in the household head was more likely to understanding climate change adaptation strategy, so the likelihood of using drought tolerant and short-season variety crops increases. A study by Abraham et al. [32] also confirmed that education has a positive significance on the use of SWC practices because it is likely to increase farmers' ability to receive, understand, and gather information important to make innovative and investigative decisions in the farms. Moreover, the educational level of the household head increases the knowledge of smallholder farmers about the adverse effects of climate change and climate change adaptation strategies [35].

Household size: The households that have large family sizes have a probability of choosing farm SWC practices and use of organic fertilizer as climate adaptation strategy less than 5% and 10% significance levels respectively. This indicated that when family size increases the household labor increases proportionally. This also leads that a higher demand for special needs in the household which implies that an additional member to the household increases the probability to participate in climate change adaptation i.e., SWC practice and use of organic fertilizers as climate change adaptation activities in order to meet basic needs to the family. The reason for this trend is that larger family sizes provide more labor resources, which can be utilized to carry out adaptation practices. This, in turn, reduces the labor costs associated with implementing these practices.

The result strongly agrees with Onubuogu et al. [33] that farmers with larger family sizes are more likely to adopt soil and water conservation practices and use organic fertilizer than farmers having small family sizes. This finding contradicts the research conducted by Obayelu et al [20] who found that farmers with larger family sizes might allocate some of their labor to non-farm economic activities to generate additional income.

Landholding size: The MVP model revealed that the farm size of the household was found to be significant and positively related to the use of tree planting and agro-forestry and irrigation and water harvesting. This implies that households who have more hectares of land are more likely to join agroforestry and tree-planting activities and irrigation. As a result, those farmers who have relatively larger areas of farm size tend to involve more in farming activities than those households who have smaller areas of land to cultivate. The reason is that households that have large farm size enable the farmer to adopt different tree planting and agro-forestry and irrigation and water harvesting activities. According to the focus group discussions, the other reason is that farmers with very limited land area cannot use agro-forestry. It is primarily because they generate consumer goods on their farms. Furthermore, farms of some households with limited landholdings are less well suited for the use of irrigation and agroforestry practices.

This result agrees with the study of Nhemachena&Hassan [17] who noted an increase in landholding increases the likelihood of

applying irrigation in response to climate change. The findings of Marie et al. [3] also found that farmers who have a large farm size are more likely to apply any adaptation decisions because they have the resources to implement new agricultural technology. The findings of this study are also confirmed by Pello et al. [36] who reported that an increase in farmers' farm size led to a rise in the adoption of AF among contact farmers.

This finding contradicts the previous research conducted by Amare&Simane [37] who found that farmers with large farms were more inclined to take on the risk of climate change and invest in adaptation practices. The researchers suggested that farmers with large plots of land may have more confidence in their ability to handle the impacts of climate change and therefore may not worry as much about implementing adaptation practices. It is also contrary to Shiferaw [30] that large landholding size decreases the use of irrigation while it is similar with the same author regarding the positive effect of landholding size on the use of agro-forestry in response to climate change.

Farm income: Farm income has a positive and significant influence on the likelihood of choosing improved crops and crop diversification, SWC practices, and use of organic fertilizers at less than 10%, 5%, and 5% levels of significance respectively. This result implies that households having large farm incomes are more likely to diversify the use of their adaptation strategy to climate change. This result showed that those farmers with low farm income are less likely to participate in adaptation strategies for climate change. Those farmers who have adequate farm income can overcome financial constraints to engage in alternative adaptation strategy activities. On the other hand, on-farm income strengthens the financial capacity of smallholder farmers to adopt climate change adaptation strategies by investing more money in technology procurement and implementation.

Additionally, farmers that have better farm income have more chance to adopt climate change adaptation strategies than farmers with less income. Farm income enables the farmer to perceive and adapt to climate change by devoting more money for the purchase of seeds and seedlings whenever rain comes, buying a drought tolerant variety and apparatus for the use of SWC practice and irrigation at a higher price. Contentedly, Deressa et al. [10] support a result who confirmed that as farm income increases the probability of choosing improved crops and crop diversification, SWC practices, and use of inorganic fertilizers increases. The findings of Marie et al. [3] revealed that a unit increase in total annual farm income increased farmers' probability to adopt a climate change adaptation strategy by a factor of one.

Livestock ownership: Ownership of livestock was statistically significant and positively influenced the probability of choosing agroforestry, irrigation, and use of organic fertilizers to adapt to climate changes less at 10%, 10%, and 5% levels of significance respectively. This implies that households that have a greater number of livestock in tropical livestock units are more likely to adapt to climate change. The reason behind this is that households that have a greater number of livestock enable them to earn more income from livestock production, therefore, they highly participate in climate change adaptation activities, this also can be attributed to the fact that farmers who own large livestock can invest their income from livestock into purchasing agroforestry materials, irrigation facilities, animal manure and agricultural inputs. This is consistent with the study of Abraham et al. [32] who reported that households with more livestock holding can participate in climate change adaptation activities putting them in a better position than those households with a small size of livestock hold.

Access to credit: Access to credit was statistically significant and had a positive effect on choosing improved crops, irrigation, and organic fertilizer as an adaptation strategy to climate change at less than 10%, 5%, and 5% levels of significance respectively. Farmers who have credit accessibility were more likely to adopt those climate change adaptation strategies. Also, this indicated that affordable credit increases the financial resources of farmers and their ability to meet transaction costs associated with various adaptation options they might want to take. It enables farmers to change their management practices in response to changing climatic factors and to buy drought-tolerant varieties of crops, irrigation technologies like water pumps, and other inputs to smoothen production and reduce the negative impact of climate change.

This finding is aligned with Gadedjisso-Tossow et al. [38] study which indicates that farmers who have access to credit are more inclined to embrace the cultivation of short-season varieties. It is also consistent with the work of Nhemachena&Hassan [17] who strongly advocated the positive effect of access to credit on the probability of adopting irrigation, use of fertilizer, and using different crop varieties in response to climate change by strengthening their financial capacity.

Extension visits: The model results show that access to extension service had positive and statistical associations on choosing agroforestry, improved crop, and SWC practices at less than 10%, 5%, and 10% significance levels respectively. This entails that having extension service access increases the probability of adopting climate change adaptation strategies. The reason is that the extension service provides the necessary information so that farmers are able to acquire new skills and knowledge that help to adapt different adaptation strategies to improve their living standards and to improve climate-smart. In this case extension service users could adopt climate change adaptation strategies, and have the better technical skills to manipulate improved technologies and the opportunity cost of not adopting climate change adaptation strategies.

In addition to this, extension service providers give training for farm households about climate change, its effect on farm production and productivity, possible measures to cope with climate change adverse effects, and the advantages of climate change adaptation strategies that would increase their awareness of adaptation strategies. Therefore, extension service acts as a bridge to fill the gap in farm households' perception of climate change and its effect on farm production and productivity and remedial measures.

In line with this as discussed by Pello et al. [36] access to extension services increases farmers' knowledge of climate change adaptation strategies through field visits, experience sharing, and practical application of best practices. This implies that extension service users have a higher probability of adopting climate change adaptation strategies than extension service non-users. This finding contradicts other studies, such as the one conducted by Tesfaye&Seifu [26] which suggested that farmers who have contact with extension services and cultivate different crops are more likely to prioritize profitability over climate change risk adaptation practices.

Farmer-to-Farmer extension: Farmer-to-farmer extension has a statistically significant and positive influence on choosing improved crops and SWC practice both at less than 5% of significant level. This indicates that farmers who have access to farm-to-farm extension services were more likely to adapt to climate change through improved crop and diversification crops and SWC practices. The reason is that farmers have a high chance to meet and communicate with their friends that have to enable them to share experiences about and collectively apply SWC practices. Further, it serves as a source of information and experience sharing among the farmers

about the selection of improved and diversified crops and SWC practices. This result is supported by Deressa et al. [10] who found that accessibility to farmers-to-farmers extension services has positively influenced improved crop and SWC practices in response to climate change.

Access to climate information: Access to weather information had positive and statistical affected using improved crop and SWC practices both at $p < 0.05$ significance level. This implies that access to weather and climate information is crucial to easily introduce and implement climate change adaptation strategies. The reason is farmers who have access to climate-related information from different media like newspapers, manganese radio, and television are more likely to use improved crop varieties and SWC practices as an adaptation strategy in response to climate change. This awareness poses a question of how to respond adverse effects of climate change. Most likely, the reason is that access to climate information permits one to perceive the change and choose appropriate strategies in response to climate change. Therefore, weather and climate information users have a better understanding of climate change and its effect on crop and livestock production and productivity.

Farmers who have access to up-to-date climate information are more likely to be motivated and make informed decisions to adopt adaptation practices to mitigate the risks associated with climate change, compared to farmers who do not have access to such information. [39] that confirmed access to climate information increases the use of irrigation supported this finding. From the focus group discussion, radio is the major source from which farmers obtain climate-related information. It is also supported by Destaw&Fenta [40] that access to climate information improves rural households' awareness and knowledge of the climate and variability besides the role of adaptation measures.

The average distance from home to the farm: The average distance of the farm from farmers' homes was statistically significant and negatively influenced by the use of agroforestry and SWC practices, both at less than 10% of the significant level. This implies that since the farm of the farmer is located far from her or his house, he or she is less likely to use agroforestry and SWC practices as an adaptation option to climate change. The reason is that farmers whose farms are far from their homes cannot frequently follow up on their farms as compared to those whose farms are nearer to their homes. In support of this, a study by Geremew et al. [41] found that agroforestry practices need due management and more follow-up. Therefore, those farmers whose farm is on average far from their home are less likely to use agroforestry as an adaptation strategy because they cannot easily manage these investments.

Farmer experience: The MVP result indicated that farming experience has positive and significant effects on improved crops and diversified crops, and the use of organic fertilizer by farmers with much farming experience can increase the probability of using adaptation strategies. This indicated that farmers who had

more farming experience were more likely to adapt to climate change. The reason is that farming experience increases, farmers' ability to understand the climate and weather conditions, crop types, and the value of organic materials like manure and compost. This result agrees with the result of [42] and [43], who stated that an increase in farming experience is more likely to adapt to climate strategy than lower farming experience.

Conclusion

Cross-sectional data obtained from five kebeles in the Semen Bench Districts was used to analyze climate trend analysis and farmers' adaption techniques to climate change. The core data for this study was acquired using structured and semi-structured questionnaires from 216 randomly selected sample households. The data collected were analyzed using descriptive statistics and a multivariate probit model, which was employed to the parameters of the explanatory variables expected to determine farmer's choice of adaptation strategies to climate change.

The present study revealed that there are five major adaptation strategies: SWC, using improved and diversified crops, using tree planting and agroforestry, using irrigation, and using organic fertilizers. An MVP was estimated to identify the explanatory variables that affect the farmer's choice of climate change adaptation strategies. The choice of adaptation strategy by farmers has also been affected by different factors. Accordingly, the result of the MVP model verified that sex of the household head, age of the household head, education level of the household head, household size, farm size, farm income, tropical livestock ownership, access to credit, extension visit, farmer-to-farmer extension, access to climate information, farmer experience, and the average distance from home to the farm are statistically significant determinants of farmers choice of adaptation strategies.

Age, farm size, tropical livestock units, and agricultural extension service all had a positive impact on agroforestry practice, but the average distance from home to farm and the gender of the household head had a negative impact. Sex, education level, farm income, access to credit, farmer experience, extension services, and farm-to-farm extension services all had a beneficial impact on the usage of enhanced crops and crop diversity. Education level, family size, farm income, extension services, access to climatic information, and farm-to-farm extension services all had a positive impact on SWC practice, while the average distance from home to farm had a negative impact. Finally, age, landholding size, tropical livestock unit, availability of credit, and access to climatic information all had a significant positive impact on irrigation harvesting utilization.

Generally, the result of this study provides applicable information for policymakers and other stakeholders about the perception level of farmers toward climate change. It also identifies the principal choice of adaptation strategies used by farmers that need to best respond to existing climate change.

• Литература / References

1. Seles B.M.R.P., de Sousa Jabbour A.B.L., Jabbour C.J.C., de Camargo Fiorini P., Mohd-Yusoff Y., Thomé A.M.T. Business opportunities and challenges as the two sides of the climate change: Corporate responses and potential implications for big data management towards a low carbon society. *Journal of Cleaner Production*. 2018;(189):763-774.
2. Dube T., Moyo P., Mpofo M., Nyathi D. The impact of climate change on agro-ecological based livelihoods in Africa: A review. *Journal of Sustainable Development*. 2016;9(1):256-267. <https://doi.org/10.5539/jsd.v9n1p256>
3. Marie M., Yirga F., Haile M., Tquabo F. Farmers' choices and factors affecting adoption of climate change adaptation strategies: evidence from northwest

ern Ethiopia. *Heliyon*. 2020;6(4):e03867.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03867>

4. Eti-Ukwu A.I., Ibitoye S.J., Haruna E.O. Effect of climate change on fish production in Nigeria. *Journal of Agriculture, Environmental Resource Management*. 2020;5(2):530-540.
5. Oloo G.I., Ngigi M., Mshenga P. Evaluation of climate change adaptation strategies among smallholder farmers in Bungoma County, Kenya. *Journal of Science and Applied Technology*. 2013. 76 p.
6. Newton A.C., Johnson S.N., Gregory P.J. Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. *Euphytica*. 2011;179(1):3-18. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0359-4>
7. Teshome A., Lupi A. Determinants of agricultural gross domestic product in

- Ethiopia. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*. 2018;4(2):12-20.
8. Assefa D., Haile, F. Climate Change Induced Shocks, Consequent Impacts, Vulnerability and Farmers Endeavor to Adapt in Northern Highland: Implication for Designing Household and Community Level Strategies. 2021.
9. Yesuf M., Di Falco S., Deressa T.T., Ringler C., Kohlin G. How can African agriculture adapt to climate change: The impact of climate change and adaptation on food production in low-income countries: Evidence from the Nile Basin, Ethiopia. 2008.
10. Deressa T.T., Hassan R.M., Ringler C., Alemu T., Yesuf M. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global environmental change*. 2009;19(2):248-255.
11. Jacques H., Florian P., Alberto H. Estimation of multivariate probit models by exact maximum likelihood. Working Papers 0902, University of Lausanne, Institute of Health Economics and Management (IEMS). 2009.
12. Cochran J.R., Talwani M. Free-air gravity anomalies in the world's oceans and their relationship to residual elevation. *Geophysical Journal International*. 1977;50(3):495-552.
13. Belay A., Recha J.W., Woldeamanuel T., Morton J.F. Smallholder farmers' adaptation to climate change and determinants of their adaptation decisions in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Agriculture & Food Security*. 2017;6(1):24. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0100-1>
14. Tse W.S.F. Linear equivalents of nonlinear systems (Doctoral dissertation, University of British Columbia). 1987.
15. Belderbos R., Carree M., Lokshin B. Cooperative R&D and firm performance. *Research policy*. 2004;33(10):1477-1492.
16. Greene J. From neural'is' to moral'ought': what are the moral implications of neuroscientific moral psychology?. *Nature reviews neuroscience*. 2003;4(10):846-850.
17. Nhemachena C., Hassan R. Micro-level analysis of farmers adaption to climate change in Southern Africa. Intl Food Policy Res Inst. 2007.
18. Lin C., Chow W.S., Madu C.N., Kuei C.H., Yu P.P. A structural equation model of supply chain quality management and organizational performance. *International journal of production economics*. 2005;96(3):355-365.
19. Kide G.T. Smallholder farmers' adaptation strategies to climate change in Ethiopia: evidence from Adwa Woreda of Tigray region (Doctoral dissertation, The Institute of Development Studies and Partner Organisations). 2014.
20. Solomon S.C., Liu H.L., Marsh D.R., McInerney J.M., Qian L., Vitt F.M. Whole atmosphere climate change: Dependence on solar activity. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2019;124(5):3799-3809.
21. Obayelu O.A., Adepoju A.O., Idowu T. Factors influencing farmers' choices of adaptation to climate change in Ekiti State, Nigeria. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*. 2014;108(1):3-16. <https://doi.org/10.12895/jaeid.2014.140>
22. Hassan R.M., Nhemachena C. Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: Multinomial choice analysis. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*. 2008;2(1):83-104.
23. Addisu S., Fissaha G., Gedif B., Asmelash Y. Perception and adaptation models of climate change by the rural people of lake Tana Sub-Basin, Ethiopia. *Environmental Systems Research*. 2016;5(1):7.
24. Gbetiboubo G.A., Hassan R.M., Ringler C. Modelling farmers' adaptation strategies for climate change and variability: The case of the Limpopo Basin, South Africa. *Agrekon*. 2010;49(2):217-234.
25. Abid M., Scheffran J., Schneider U.A., Ashfaq M.J.E.S.D. Farmers' perceptions of and adaptation strategies to climate change and their determinants: the case of Punjab province, Pakistan. *Earth System Dynamics*. 2015;6(1):225-243.
26. Tesfaye W., Seifu L. Climate change perception and choice of adaptation strategies: Empirical evidence from smallholder farmers in east Ethiopia. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2016;8(2):253-270. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-01-2014-0017>
27. Gizaw W., Mengistu M., Aschalew A., Jibril A. Effects of Climate Change and Variability on Coffee Yield in Deder Woreda, Eastern Oromia, Ethiopia. *Forestry & Agriculture Review*. 2020;1(1):1-6.
28. Minwuye B. Farmers' perception and adaptation strategies to climate change: the case of Woreilla district of Amhara region, northeastern Ethiopia. 2017.
29. Ojo T.O., Baiyegunhi L.J.S. Determinants of climate change adaptation strategies and its impact on the net farm income of rice farmers in south-west Nigeria. *Land Use Policy*. 2020;(95):103946. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.04.007>
30. Shiferaw A. Smallholder farmers adaptation strategies to climate change in Ethiopia: Evidence from Adola Rede Woreda, Oromia region. *Journal of economics and sustainable development*. 2014;5(7):162-182.
31. Kothari S.P. Price-earnings regressions in the presence of prices leading earnings: Earnings level versus change specifications and alternative deflators. *Journal of Accounting and Economics*. 1992;15(2-3):173-202.
32. Abraham J., Cheng L., Mann M.E., Trenberth K., von Schuckmann K. The ocean response to climate change guides both adaptation and mitigation efforts. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*. 2022;15(4):100221. <https://doi.org/10.1016/j.aosl.2022.100221>
33. Onuobuogu G.C., Esiobu N.S. Trends, perceptions and adaptation options of arable crop farmers to climate change in Imo State, Nigeria: A logit multinomial model approach. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2014;2(5):108-122.
34. Atinkut B., Mebrat A. Determinants of farmers choice of adaptation to climate variability in Dera woreda, south Gondar zone, Ethiopia. *Environmental Systems Research*. 2016;5(1):6. <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0046-x>
35. Asfaw A., Simane B., Bantider A., Hassen A. Determinants in the adoption of climate change adaptation strategies: evidence from rainfed-dependent smallholder farmers in north-central Ethiopia (Woleka sub-basin). *Environment, Development and Sustainability*, 2019;21(5):2535-2565. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0150-y>
36. Pello K., Okinda C., Liu A., Njagi T. Factors affecting adaptation to climate change through agroforestry in Kenya. *Land*. 2021;10(4):371. <https://doi.org/10.3390/land10040371>
37. Amare A., Simane B. Determinants of smallholder farmers' decision to adopt adaptation options to climate change and variability in the Muger Sub basin of the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Agriculture & food security*. 2017;6(1):64.
38. Gadéjisso-Tossou A. Understanding farmers' perceptions of and adaptations to climate change and variability: The case of the Maritime, Plateau and Savannah Regions of Togo. 2015.
39. Gebru T A. Rainfall intensity-duration-frequency relations under changing climate for selected stations in the Tigray Region, Ethiopia. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2020;25(11):05020041. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001999](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001999)
40. Destaw F., Fenta M.M. Climate change adaptation strategies and their predictors amongst rural farmers in Ambassel district, Northern Ethiopia. *Jamba: Journal of Disaster Risk Studies*. 2021;13(1):1-11. <https://doi.org/10.4102/jamba.v13i1.974>
41. Geremew B., Tadesse, T., Bedadi B., Gollany H.T., Tesfaye K., Aschalew A. Impact of land use/cover change and slope gradient on soil organic carbon stock in Anjeni watershed, Northwest Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023;195(8):971.
42. Zizinga A., Kangelawe R.Y., Ainslie A., Tenywa M.M., Majaliwa J., Saronga N.J., Amoako E.E. Analysis of farmer's choices for climate change adaptation practices in South-Western Uganda, 1980–2009. *Climate*. 2017;5(4):89. <https://doi.org/10.3390/cli5040089>
43. Abaha M.G., Simhadri S. Local climate trends and farmers' perceptions in Southern Tigray, Northern Ethiopia. *American Journal of Environmental Sciences*. 2015;11(4):262-277. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2015.262.277>

About the Authors:

Endihnew Gibtan Demeke – Researcher,
endihnewgibtan2112@gmail.com

Mehari Hadush Girmay – Researcher,
Corresponding Author, meharigis2008@gmail.com

Biniam Assefa – Researcher,
neverwalkalonebn@gmail.com

Dessalegn Obsi Gameda – Researcher, dasoobsi@gmail.com

Об авторах:

Эндихнев Гибтан Демеке – исследователь,
endihnewgibtan2112@gmail.com

Мехари Хадуш Гирмай – исследователь,
автор для переписки, meharigis2008@gmail.com

Биниам Ассефа – исследователь,
Neverwalkalonebn@gmail.com

Дессалегн Обси Гемеда – исследователь, dasoobsi@gmail.com



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН СЕМЯН
ФГБНУ ФНЦО

Наши сорта и технологии - гарантия урожая и качества

БОЛЬШОЙ ВЫБОР СЕМЯН от ведущего производителя в России

КОНТАКТЫ:

Отдел продаж ФГБНУ ФНЦО: +7(495)594-77-17, +7(903)190-46-55

E-mail: info@vniissok.com

Интернет-магазин: www.vniissok.com

Магазин "Семена ВНИССОК":

Адрес: 143080, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИССОК, ул. Липовая, д.2

График работы: понедельник-пятница 9.00-18.00, суббота 9.00-17.00, воскресенье 9.00-14.00

В нашем магазине Вы всегда можете самостоятельно купить семена, свежие овощи, рассаду, цветы, а также сопутствующие товары.



на правах рекламы

МАСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

www.vniissok.com