12+

ISSN 2500-0047

НАУЧНО-АГРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC AGRONOMY JOURNAL

(1) 202

Волгоград
202

Научно-агрономический
журнал
Научно-практический журнал

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)
Главный редактор: **Кулик К. Н.**, д. с.-х. н., профессор, академик РАН
Зам. главного редактора: **Федотова А. В.**, д. б. н., профессор
Журнал с 25.05.2022 г. включен в «Перечень рецензируемых научных изданий ВАК», К-3
по следующим научным специальностям и отраслям науки:
1.5.15. – Экология (сельскохозяйственные науки);
4.1.1. – Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки);
4.1.2. – Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки);
4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение;
лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки).
**Включен в актуальную версию Единого государственного перечня научных изданий —
«Белого списка» научных журналов (4 уровень, протокол № ДС/122-пр от 09.09.2025).**

Редакционный совет:

Беляев А. И., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Беленков А. И., д. с.-х. н., «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», Москва
Дубенок Н. Н., д. с.-х. н., академик РАН, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва
Еремин Г. В., д. с.-х. н., академик РАН, Крымская ОСС – филиал ВИР, г. Крымск Краснодарского края
Кружилин И. П., д. с.-х. н., академик РАН, ВНИИОЗ, Волгоград
Лихацевич А. П., д. т. н., член-корреспондент НАН Беларуси, Минск
Прянишников А. И., д. с.-х. н., член-корреспондент РАН, АО «Щелково Агрохим», Москва
Муканов Б. М., д. с.-х. н., КазНИИЛХА, Республика Казахстан
Новиков А. Е., д. т. н., член-корреспондент РАН, ВНИИОЗ, Волгоград
Свинцов И. П., д. с.-х. н., академик РАН, Москва
Сложенкина М. И., д. б. н., член-корреспондент РАН, «Поволжский НИИММП», Волгоград
Турусов В. И., д. с.-х. н., академик РАН, «Воронежский ФАНЦ им. В. В. Докучаева», Воронеж
Чекмарев П. А., д. с.-х. н., академик РАН, заместитель президента РАН, Москва

Редакционная коллегия:

Бакинова Т. И., д. э. н., КалмГУ, Республика Калмыкия
Барабанов А. Т., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Батаева Ю. В., д. б. н., ФБУН «ГНЦ ПМБ» Роспотребнадзора
Беляков А. М., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Борисенко И. Б., д. т. н., ВолГАУ, Волгоград
Воронина В. П., д. с.-х. н., к. б. н., ВолГАУ, Волгоград
Зеленев А. В., д. с.-х. н., ФИЦ «Немчиновка», Москва
Зеленская Г. М., д. с.-х. н., Донской ГАУ, Ростовская
Иванцова Е. А., д. с.-х. н., ВолГУ, Волгоград
Калмыкова Е. В., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Колесников С. И., д. с.-х. н., Южный ФУ, Ростов-на-Дону
Крючков С. Н., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Манаенков А. С., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Мазиров М. А., д. б. н., МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва
Нефедьева Е. Э., д. б. н., ВолгГТУ, Волгоград
Новочадов В. В., д. м. н., ВолГУ, Волгоград
Оконов М. М., д. с.-х. н., КалмГУ, Республика Калмыкия
Петров Н. Ю., д. с.-х. н., ВолГАУ, Волгоград
Рахимжанов А. Н., к. с.-х. н., ТОО «КазНИИЛХА им. А. Н. Букейхана», Республика Казахстан
Салугин А. Н., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Сарычев А. Н., к. с.-х. н., ВолГАУ, Волгоград
Солодовников Д. А., к. г. н., ВолГУ, Волгоград
Солонкин А. В., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград
Срослова Г. А., к. б. н., ВолГУ, Волгоград
Трещевская Э. И., д. с.-х. н., Воронежский ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, Воронеж
Турчин Т. Я., д. с.-х. н., филиал ВНИИЛМ, Ростовская область
Тютюма Н. В., д. с.-х. н., «ПАФНЦ РАН», Астрахань
Фомин С. Д., д. т. н., ВолГАУ, Волгоград
Юферев В. Г., д. с.-х. н., ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград

Ответственный редактор: Крылов П. А.
Верстка: Гирявенко В. Г.
Перевод на английский: Третьякова А. В.
Адрес издателя и редакции: 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97
E-mail: info@vfanc.ru https://vfanc.ru

© ФНЦ агроэкологии РАН
©Научно-агрономический журнал

Регистрационный номер ПИ № ФС77-76293 от 12 июля 2019 г. присвоен Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
ISSN 2500-0047 DOI: 10.34736/FNC.2026.133.2.000
Печатается в копировально-множительном секторе ФНЦ агроэкологии РАН
Адрес: 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97
Тираж 500 экз. Заказ 7, подписано в печать 11 сентября 2026 г. Дата выпуска 14 сентября 2026 г.
Журнал выходит 4 раза в год и распространяется по адресной рассылке,
а также на выставках и ярмарках агропромышленной тематики. Цена свободная.
Подписной индекс ПР354

Издатель не несет ответственности за достоверность данных, предоставленных в опубликованных материалах.
При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Scientific Agronomy Journal

Research and Practice Journal

Founder and publisher: «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»
(FSC of Agroecology RAS)
Editor-in-Chief: **Kulik K. N.**, Dr. Sci. (Agr.Sci.), Professor, Academician of RAS
Deputy Editor-in-Chief: **Fedotova A. V.**, Dr. Sci. (Biol.), Professor
Since May 25, 2022, the journal has been included in the "List of Peer-Reviewed Scientific Journals of the Higher Attestation Commission (VAK)", K-3, for the following scientific specialties and fields:
1.5.15. – Ecology (agricultural sciences);
4.1.1. – General agriculture and crop production (agricultural sciences);
4.1.2. – Breeding, seed production and plant biotechnology (agricultural sciences);
4.1.6. – Forest science, forestry, forest cultures, agroforestry melioration, greening, forest pyrology and taxation (agricultural sciences).
The journal included in the current version of the Unified State List of Scientific Publications – the "White List" of scientific journals (Level 4, Protocol No. DS/122-pr dated September 9, 2025).

Editorial Council:

Belyaev A. I., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Belenkov A. I., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Federal Scientific Center for Forage Production and Agroecology named after V. R. Williams, Moscow
Dubenok N. N., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Academician of RAS, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow
Eremin G. V., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Academician of RAS, Krymsk experimental breeding station – branch of the VIR, Krymsk, Krasnodar Region
Kruzhilin I. P., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Academician of RAS, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd
Likhatsevich A. P., Dr. Sci. (Tech. Sci.), Corresponding member of NAS of Belarus, Minsk
Pryanishnikov A. I, Dr. Sci. (Agr. Sci.), RAS corr. member, JSC «Schelkovo Agrochim» in the Moscow region, Moscow
Mukanov B. M., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Republic of Kazakhstan
Novikov A. E., Dr. Sci. (Tech. Sci.), Corr. member of RAS, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd
Svintsov I. P., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Academician of RAS, Moscow
Slozhenkina M. I., Dr. Sci. (Biol.**),** Corresponding member of RAS, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd
Turusov V. I., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Academician of RAS, Voronezh Federal Agriculture Scientific Center named after V. V. Dokuchaev, Voronezh
Chekmarev P. A., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Academician of RAS, Deputy President of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Editorial Board:

Bakinova T. I., Dr. Sci. (Econ.), Kalmyk State University, Republik of Kalmyk
Barabanov A. T., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Bataeva Yu. V., Dr. Sci. (Biol.), FBIS «SRCAMB», Moscow
Belyakov A. M., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Borisenko I. B., Dr. Sci. (Tech. Sci.), Volgograd State Agriculture University
Voronina V. P., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Volgograd State Agriculture University
Zelenev A.V., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Nemchinovka Southern RC, Moscow
Zelenskaya G. M., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Don State Agriculture University, Rostov
Ivantsova E. A., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Volgograd State University, Volgograd
Kalmykova E. V., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Kolesnikov S. I., Dr. Sci. (Agr. Sci.), SFEDU, Rostov-on-Don
Kryuchkov S. N., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Manayenkov A. S., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Mazirov M. A., Dr. Sci. (Biol.), Russian State Agriculture University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow
Nefed'eva E. E., Dr. Sci. (Biol.), Volgograd State Technical University
Novochadov V. V., Dr. Sci. (Med.), Volgograd State University
Okonov M. M., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Kalmyk State University, Republik of Kalmyk
Petrov N. Yu., Dr. Sci. (Agr. Sci.), **V**olgograd State Agriculture University
Rakhimzhanov A. N., Cand. Sci. (Agr. Sci.), Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry, Republik of Kazakhstan
Salugin A. N., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Sarychev A. N., Cand. Sci. (Agr. Sci.), Volgograd State Agriculture University
Solodovnikov D. A., Cand. Sci. (Geogr.), Volgograd State University
Solonkin A. V., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd
Sroslova G. A., Cand. Sci. (Biol.), Volgograd State University
Treshchevskaya E. I., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh
Turchin T. Ya., Dr. Sci. (Agr. Sci.), branch of All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Rostov region
Tyutyuma N. V., Dr. Sci. (Agr. Sci.), Caspian Agriculture FSC of RAS Astrakhan
Fomin S. D., Dr. Sci. (Tech. Sci.), Volgograd State Agriculture University
Yuferev V. G., Dr. Sci. (Agr. Sci.), FSC of Agroecology RAS, Volgograd

Responsible Editor: P. A. Krylov
Layout Designer: V. G. Giryavenko
Translation into English: A. V. Tretyakova
Publisher's Address: 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97
e-mail: info@vfanc.ru https://vfanc.ru
© FSC of Agroecology RAS
© Scientific Agronomy Journal
In the registration of registers, the entry PI number FS77-76293 dated July 12, 2019.
Registration number: PI No. FS77-76293, issued on July 12, 2019, by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (Roskomnadzor).
ISSN 2500-0047 DOI: 10.34736/FNC.2026.133.2.000
Published by FSC of Agroecology RAS
Address: 400062, Volgograd, Universitetsky Prospekt, 97
Print run: 500 copies. Order No. 7, signed for print on September 11, 2026. Release date: J September 14, 2026.
The journal is published quarterly and is distributed by direct mailing, as well as at agricultural exhibitions and fairs
The price is free. Subscription index ПР354.
The publisher is not responsible for the accuracy of the data provided in published materials.
When reprinting materials, a reference to the journal is mandatory.

Содержание

Колонка редактора……5

Экология……8

Никитенко В. В., Шешницан С. С., Царегородцев А. В., Карташова Н. П. Особенности формирования подроста и запасов углерода в его фитомассе в дубовых насаждениях Воронежской области……8

Архипов А. Е.; Могилевская И. В.; Федотова А. В. Пространственно-временная изменчивость при оценке микробиологической активности почв прибрежной зоны Цимлянского водохранилища…..23

Илюшкина О. В. Влияние адаптивных технологий на содержание подвижных соединений калия в условиях степной зоны Республики Крым……34

Яковенко Н. В., Подласкина С. Ю. Многокритериальная оценка санитарного состояния интродуцированных древесных пород для озеленения теннисной академии в субтропической зоне……47

Онистратенко Н. В., Холоденко А. В., Баранов В. С. Биоиндикация факторов антропогенного стресса с применением насекомых-вредителей хвойного леса……58

Федотова А. В., Тимофеев Е. П. Влияние опустынивания и деградации земель на углеродный баланс наземных экосистем……71

Земледелие, растениеводство……88

Энхбат Мэнд-Амар, Мижидсурэн, Бэгз Дорж. Реакция пшеницы на инокуляцию коммерческим препаратом «жидкая микориза»……88

Зайнуллин В. Г., Пожирицкая А. Н., Кожевников С. Ю., Дурягина В. М., Коковкина С. В. Юдин А. А. Влияние предпосевной обработки семян селекционного картофеля электромагнитным излучением (ЭМИ) в условиях севера России (Республика Коми)……98

Агролесомелиорация……110

Мартынова М. В., Здоровец А. В., Султаньярова А. О., Одинцов Г. Е., Гарфутдинова С. И. Структура и динамика аренды лесных участков по данным регионального реестра……110

Крючков С. Н., Солонкин А. В., Третьякова А. В., Соломенцева А. С., Егоров С. А., Романенко А. К., Горбушова Д. А. Оценка солеустойчивости сеянцев *Robinia pseudo-acacia* в засушливых условиях г. Волгограда……118

Калмыкова Е. В., Мельник К. А. Технологическое решение доброкачественных и жизнеспособных семян……129

Касьянова Г. В., Никольская О. А., Куликова Н. А. Использование вишни сорта Лозновская в садово-парковом дизайне……138

Целуйко О. А., Парамонов А. В. Направления изменений тепло- и влагообеспеченности растений в Приазовской зоне Ростовской обл...146

Content

Editorial Column……5

Ecology……8

Nikitenko V. V., Sheshnitsan S. S., Tsaregorodtsev A. V., Kartashova N. P. Characteristics of tree regeneration and carbon stocks in regenerating-tree biomass in oak stands of the Voronezh Region……8

Arkhipov A. E., Mogilevskaya I. V., Fedotova A. V. Spatiotemporal variability of soil microbial activity indicators in the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir……23

Ilyushkina O. V. Effects of adaptive farming practices on plant-available potassium in the steppe zone of the Republic of Crimea……34

Yakovenko N. V., Podlaskina S. Yu. Multi-criteria assessment of the health condition of introduced tree species for l andscaping a tennis academy in a subtropical zone……47

Onistratenko N. V., Kholodenko A. V., Baranov V. S. Bioindication of anthropogenic stress using insect pests of coniferous forests……58

Fedotova A. V., Timofeev E. P. Effects of desertification and land degradation on the carbon balance of terrestrial ecosystems……71

Land cultivatijn, crop production……88

Enkhbat Mend-Amar, Mijidsuren Byambasuren, Begz Dorj. Response of spring wheat to inoculation with the commercial product "Liquid Mycorrhiza"….88

Zainullin V. G., Pozhiritskaya A. N., Kozhevnikov S. Yu., Duryagina V. M., Kokovkina S. V., Yudin A. A. Effects of preplant electromagnetic radiation treatment of seed tubers from locally bred potato cultivars under northern Russian conditions (Komi Republic)……98

Agroforestry……110

Martynova M. V., Zdorovets A. V., Sultanyarova A. O., Odintsov G. E., Garfutdinova S. I. Structure and dynamics of forest plot leasing based on a regional register data ……110

Kryuchkov S. N., Solonkin A. V., Tretyakova A. V., Solomentseva A. S., Egorov S. A., Romanenko A. K., Gorbushova D. A. Evaluation of salt tolerance of *Robinia pseudoacacia* seedlings in the arid conditions of Volgograd……118

Kalmykova E. V., Melnik K. A. Technological solution for obtaining high-quality and viable seeds of *Gleditsia triacanthos*……129

Kasyanova G. V., Nikolskaya O. A., Kulikova N. A. Using the Loznovskaya cherry cultivar in landscape and garden design……138

Tseluiko O. A., Paramonov A. V. Trends in heat and moisture availability to plants in the Azov zone of the Rostov Region……146

Международная научная конференция
«Восстановление земель и устойчивость к засухе:
от стратегических решений
к практическим результатам»
28-30 октября 2025 г.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

ГЛУБОКОУВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем вас принять участие в работе Международной научной конференции ***«Восстановление земель и устойчивость к засухе: от стратегических решений к практическим результатам»,*** посвященной 95-летию ВНИАЛМИ – ФНЦ агроэкологии РАН *(Россия, г. Волгоград, 28-30 октября 2026 г.)*

На конференции планируются доклады ведущих специалистов и обсуждение актуальных вопросов климатических изменений, деградации земель и опустынивания территорий, сохранения биоразнообразия и восстановления сельскохозяйственных угодий.

Предполагается работа по следующим трекам:

1. Глобальные и региональные проблемы опустынивания.
2. Селекция, семеноводство, питомниководство и биотехнология растений: методы, технологии, перспективы развития.
3. Комплексное использование и охрана водных ресурсов в современных условиях. проблемы и пути решения.

В рамках конференции также будет проведена Школа молодых ученых и специалистов ***«Агроэкологические проблемы и междисциплинарный подход к их решению»***.

Конференция будет проходить в здании ФНЦ агроэкологии РАН (г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 97).

Планируются пленарные и секционные доклады.

Форма участия – очная, заочная. Рабочие языки конференции – русский, английский.

ОРГАНИЗАТОРЫ

Министерство науки и высшего образования РФ,
Министерство сельского хозяйства РФ,
Отделение сельскохозяйственных наук РАН,
Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН,
Всероссийское общество почвоведов им. В. В. Докучаева.

Международная научная конференция
«Восстановление земель и устойчивость к засухе: от стратегических решений к практическим результатам»
28-30 октября 2025 г.

Для участия в работе конференции необходимо прислать **материалы** и **анкету-заявку** (форма прилагается) на e-mail: **plankonf@vfanc.ru.**

Заявки **и публикационные материалы принимаются до 15 сентября 2026 года.**

Программа конференции формируется на основе заявленных докладов. По результатам конференции будет издан электронный сборник материалов с размещением в РИНЦ. Лучшие доклады будут представлены для опубликования в Научно-агрономическом журнале (ВАК, БС4, CAS) бесплатно.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Содержание должно соответствовать основным научным направлениям конференции. Текст может быть подготовлен на русском или английском языках (не более 4 страниц).

2. Формат листа А4, текстовый редактор Microsoft Office Word. При наборе текста использовать следующие установки: шрифт Times New Roman; кегль шрифта: текст – 14, аннотации – 12, таблицы, подписи к рисункам и список литературы – 13; межстрочный интервал – 1,0; абзацный отступ – 1,25; поля – все по 2 см.

3. Рисунки вставляются в текст в формате JPEG, TIFF или JPG.

4. В верхнем левом углу – УДК (прописными буквами), ниже по центру НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (прописными буквами, жирным шрифтом), через один интервал по центру инициалы и фамилии авторов (жирным шрифтом, строчными буквами), ученая степень (обычным шрифтом), строкой ниже курсивом по центру полное название организации, город, страна (обычным шрифтом). Через один интервал ниже размещается аннотация – 3-4 строки на русском и английском языках. Ниже через один интервал – текст статьи.

ЛИТЕРАТУРА

Список литературы составляется в **алфавитном порядке**, по фамилиям первых авторов и названиям работ и нумеруется. В списке приводится литература сначала на русском языке, затем на иностранном. Список оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008, не более 5 источников. Примеры:

Для монографий:

Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): Национальный доклад / Р. С. Х. Эдельгериев, А. Л. Иванов, И. М. Донник [и др.]. Т. 3. – М.: ООО "Изд.-во МБА", 2021. – 700 с. – ISBN 978-5-6045103-9-1. – DOI 10.52479/978-5-6045103-9-1.

Для журналов:

Резервы увеличения урожайности полевых культур на каштановых почвах сухой степи Западной Сибири / К. Н. Кулик, А. А. Гаркуша, В. И. Усенко [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2024. – № 5. – С. 3-7. – DOI 10.31857/S2500262724050018.

Kulik, K. N. Experience in implementing major national projects to combat degradation and desertification in Russia / K. N. Kulik, M. V. Vlasenko // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2024. – Vol. 9. – P. 100583. – DOI 10.1016/j.cscee.2023.100583.

Для сборников, тезисов:

Кулик, К. Н. Роль агролесомелиорации в реабилитации нарушенных агроландшафтов Российской Федерации / К. Н. Кулик // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Международ. науч.-практ. конф., Волгоград, 10-12 февр. 2021 г. Т. I. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. – С. 20-24.

Международная научная конференция
«Восстановление земель и устойчивость к засухе: от стратегических решений к практическим результатам»
28-30 октября 2025 г.

Анкета-заявка участника конференции

Фамилия, имя, отчество (полностью)	
Тематическое направление	
Название доклада	
Организация (полное название)	
Должность	
Ученая степень, ученое звание (при наличии)	
Контактная информация (телефон, адрес электронной почты)	
Форма участия:	Устный доклад (очно, ВКС); слушатель (очно, ВКС)
Необходимость бронирования гостиницы	Да/нет
Дата приезда, дата отъезда	
Необходимость в экскурсии	Да/нет

Публикация материалов – **бесплатная**. Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание несут авторы. Электронный вариант сборника будет размещен в РИНЦ постатейно.

Название файлов должно содержать фамилию и инициалы автора (первого автора, если авторов несколько), например: «Петров_ИИ – статья», «Петров_ИИ – анкета». Анкеты предоставляются на **каждого автора отдельно** с указанием полного имени и отчества.

Оргкомитет оставляет за собой право не принимать статьи, которые оформлены не по правилам и не соответствуют тематике конференции.

За дополнительной информацией обращаться: e-mail: **plankonf@vfanc.ru**

Оплата проезда и проживания производятся участниками самостоятельно. На период Конференции оргкомитет оказывает участникам содействие в бронировании гостиницы, а также в случае самостоятельно бронирования просим сообщить по электронной почте fomenko-y@vfanc.ru или по номеру телефона 8-902-383-24-41 Фоменко Юлия Петровна.

Рекомендуемые гостиницы для бронирования:

«Hampton by Hilton». Адрес: Волгоград, ул. Профсоюзная, 13.
Телефон: +7 (8442) 52-50-50, +7 (8442) 52-52-30,

«Южный». Адрес: г. Волгоград, ул. Рабоче-Крестьянская, 18.
Телефон: +7 (8442) 435-435,

«Семь королей» (рядом с ФНЦ агроэкологии РАН). Адрес: г. Волгоград, ул. Электролесовская, 74. Телефон: +7 (8442) 78-14-00.

КОНТАКТЫ
plankonf@vfanc.ru

Просим участников сразу сообщать в Оргкомитет о всех изменениях формата своего участия в работе научно-практической конференции.

Оргкомитет конференции будет очень благодарен вам за дальнейшее распространение этой информации, как в электронном, так и в печатном виде.

УДК 630*161.32 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.001.08-22

Особенности формирования подроста и запасов углерода в его фитомассе в дубовых насаждениях Воронежской области

Никитенко В. В.✉; Шешницан С. С.; Царегородцев А. В.; Карташова Н. П.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация. Дубовые насаждения в малолесных регионах лесостепной зоны играют ключевую роль в депонировании углерода в условиях глобального изменения климата. В связи с деградацией дубовых насаждений и недостаточным естественным восстановлением дуба, требуется детальное изучение характеристик подроста и его углеродного потенциала. Целью исследования является сравнительная оценка видовой структуры и запасов углерода в фитомассе подроста дубовых насаждений Воронежской обл. Исследование проведено в 2023-2025 гг. на постоянных пробных площадях (4 – в защитных лесных полосах, 4 – в нагорной дубраве). Учет подроста выполнен методом учетных площадок 5 × 5 м. Были отобраны модельные растения каждого вида и высушены до постоянной массы с разделением на фракционные составляющие фитомассы. Пересчет фитомассы подроста в запасы углерода проведен с использованием коэффициента МГЭИК (0,48). Установлено, что в защитных агролесомелиоративных насаждениях густота подроста выше (в среднем 10,26 тыс. шт./га), чем в нагорной дубраве (4,19 тыс. шт./га). Доминирующим видом в подросте исследуемых экосистем является клен остролистный, на долю которого приходится до 86,4 % от общего запаса углерода в фитомассе. Средние показатели общего запаса углерода в фитомассе подроста в лесных полосах (174,5 кг С/га) более чем в три раза превышают показатели нагорной дубравы (56,3 кг С/га). Запасы углерода в фитомассе дуба черешчатого незначительны во всех типах насаждений. Таким образом, подрост является одним из индикаторов устойчивости и направленности смены древесных пород в дубовых насаждениях и формирует дополнительный, но недоучтенный пул углерода.

Ключевые слова. Подрост; фитомасса; запас углерода; нагорная дубрава; агролесомелиоративные насаждения; лесостепная зона.

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).

Цитирование. Никитенко В. В., Шешницан С. С., Царегородцев А. В., Карташова Н. П. Особенности формирования подроста и запасов углерода в его фитомассе в дубовых насаждениях Воронежской области // Научно-агрономический журнал. 2026; 3(134):08-22. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.001.08-22.

Поступила в редакцию: 18.07.2026 Принята к печати: 20.08.2026

UDC 630*161.32 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.001.08-22

Characteristics of tree regeneration and carbon stocks in regenerating-tree biomass in oak stands of the Voronezh Region

Nikitenko V. V.✉; Sheshnitsan S. S.; Tsaregorodtsev A. V.; Kartashova N. P.
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia.

Abstract. Oak stands in sparsely forested regions of the forest-steppe zone play a key role in carbon storage in the context of global climate change. Owing to the degradation of oak stands and in-

✉ – Для контактов/Corresponding author

sufficient natural oak regeneration, a detailed investigation of tree-regeneration characteristics and carbon potential is required. The aim of this study was to compare the species composition and carbon stocks in the biomass of regenerating trees in oak stands of the Voronezh Region. The study was conducted in 2023-2025 on eight permanent sample plots, including four in protective agroforestry shelterbelts and four in an upland oak forest. Tree regeneration was inventoried using 5 × 5 m subplots. Representative individuals of each species were collected, separated into biomass fractions, and dried to constant mass. Tree-regeneration biomass was converted to carbon stocks using the IPCC coefficient of 0.48. Regeneration density was higher in the protective agroforestry stands, averaging 10.26 thousand individuals ha^{-1}, than in the upland oak forest, where it averaged 4.19 thousand individuals ha^{-1}. Norway maple was the dominant species in the regeneration layer and accounted for up to 86.4% of the total biomass carbon stock. The mean total carbon stock in tree-regeneration biomass in the shelterbelts was 174.5 kg C ha^{-1}, more than three times the value recorded in the upland oak forest, 56.3 kg C ha^{-1}. Carbon stocks in the biomass of pedunculate oak regeneration were negligible in both stand types. Thus, tree regeneration is an indicator of stand stability and the direction of tree-species replacement in oak stands and constitutes an additional but under accounted-for carbon pool.

Keywords. Tree regeneration; biomass; carbon stock; upland oak forest; protective agroforestry shelterbelts; forest-steppe zone.

Funding. This work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 1025032000060-3-1.5.1 "Biogeochemical patterns of the dynamics of carbon pools and fluxes in representative ecosystems of the Central Forest-Steppe under conditions of climate change and anthropogenic impacts" (FZUR-2026-0004).

For citation. Nikitenko V. V., Sheshnitsan S. S., Tsaregorodtsev A. V., Kartashova N. P. Characteristics of tree regeneration and carbon stocks in re-generating-tree biomass in oak stands of the Voronezh Region // Scientific Agronomy Journal. 2026; 3(134):08-22. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.001.08-22.

Received: 18.07.2026 Accepted: 20.08.2026

Введение. Леса играют ключевую роль в биогеохимическом цикле углерода, поглощая CO_2 в процессе фотосинтеза и тем самым способствуя смягчению последствий глобального изменения климата. В условиях увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере управление лесными экосистемами и оценка их способности к накоплению углерода приобретают особую значимость (Лукина и др., 2023; Клевцов, Тюкавина, 2023; Harris et al., 2021; Daigneault et al., 2022).

В малолесных регионах лесостепной зоны важную роль в накоплении и долгосрочном депонировании углерода играют дубовые насаждения, представленные как коренными нагорными и пойменными дубравами, так и защитными агролесомелиоративными полосами с преобладанием в породном составе дуба черешчатого. Данный вид обладает выраженной способностью к аккумуляции углерода благодаря высокой плотности древесины, долговечности, значительному объему надземной фитомассы и медленной скорости ее разложения, что обеспечивает стабильное связывание углерода на протяжении длительного периода времени (Горичев и др., 2015; Усольцев, 2019; Enescu et al., 2026; Giagli et al., 2017).

Исследования лесостепных дубовых насаждений показывают, что под пологом сомкнутых лиственных древостоев дуб часто плохо формирует жизнеспособное естественное возобновление, тогда как подрост ясеня, клена, липы и вяза может в дальнейшем определять состав будущего древостоя (Стороженко и др., 2018). В ряде лесостепных дубовых сообществ естественное возобновление дуба оценивается как ограниченное или недостаточное, что связывается с повышенной засушливостью местообитаний и структурой древостоя (Кулагин, Шаяхметов, 2007; Смирнов, 2013; Клыш, Шиман, 2017; Parobeková et al., 2024). Данная проблема затрагивает и дубовые агролесомелиоративные полосы, которые характеризуются линейной структурой, повышенным краевым эффектом, что усиливает воздействие биотических и абиотических факторов и тем самым лимитирует естественное возобновление дуба (Тунякин, 2018; Рыбалкина и др., 2019; Галстян, 2020; Ziegler, 2016). Поскольку различные виды древесных пород различаются по темпам накопления биомассы, смена дуба другими породами в насаждении неизбежно приведет к изменению потенциала депонирования углерода в экосистеме в будущем.

Несмотря на значительный объем исследований, посвященных углеродному балансу древостоев и почвенным пулам углерода, запасы углерода в фитомассе подроста дубовых насаждений лесостепной зоны изучены недостаточно. Особенно ограничены сравнительные данные для естественных дубрав и искусственно созданных защитных лесных насаждений, различающихся структурой древостоя, световым режимом и условиями естественного возобновления.

Комплексная оценка подроста в дубовых насаждениях имеет высокую значимость, поскольку позволяет выявить риск смены дубовых древостоев кленово-липовыми, ясеневыми или смешанными сообществами, обосновать меры содействия естественному возобновлению и оценить долгосрочную устойчивость и углеродный потенциал экосистем лесостепной зоны в условиях глобального изменения климата.

Целью настоящего исследования является сравнительная оценка особенностей формирования подроста и запасов углерода в его фитомассе в дубовых насаждениях Воронежской обл.

Материалы и методы. Объектом исследования были выбраны защитные агролесомелиоративные насаждения № 37, 45, 76, 124 Природного заказника «Каменная степь» Таловского р-на Воронежской обл. и Воронежская нагорная дубрава в границах Правобережного участкового лесничества Пригородного лесничества Воронежской обл.

Исследуемые лесные полосы (ЛП) различаются по времени создания (1898, 1901, 1902 и 1941 гг. соответственно), первоначальному целевому назначению (ЛП № 37, 45, 124 – полезащитные, № 76 – прибалочная), особенностям формирования древостоя, но при этом выполняют общие функции: способствуют предотвращению эрозии почвы, улучшению микроклимата сельскохозяйственных угодий. Лесные полосы имеют многоярусную структуру. Первый ярус состоит в основном из дуба черешчатого (*Quercus robur*), семенного происхождения, в нижних ярусах встречается клен остролистный (*Acer platanoides*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*), ясень обыкновенный и пушистый (*Fraxinus excelsior, F. pennsylvanica*), клен ясенелистный (*A. negundo*), липа мелколистная (*Tilia cordata*) и груша обыкновенная (*Pyrus communis*).

Нагорная дубрава характеризуется разнообразием типов лесорастительных условий и представлена одноярусной структурой древостоя с преобладанием дуба черешчатого (*Q. robur*) порослевого происхождения, клена остролистного (*A. platanoides*), липы мелколистной (*T. cordata*), осины или тополя дрожащего (*Populus tremula*), также единично встречается ясень обыкновенный (*F. excelsior*) и груша обыкновенная (*P. communis*).

В 2023-2025 гг. в исследуемых насаждениях были устроены постоянные пробные площади (ППП) в соответствии с общепринятыми методами лесной таксации (ОСТ 56-69-83[1]). Таксационные характеристики древостоев ППП (высота, диаметр на уровне груди, категория состояния) обобщены в табл. 1. В Каменной степи в лесных полосах № 37 и 76 размер ППП (№ 25 и 8, соответственно) составил 0,25 га, в ЛП № 45 и 124 площадь ППП (№ 10 и 9, соответственно) – 0,5 га. В нагорной дубраве было заложено четыре ППП (№ 11, 12, 13, 14) площадью 1 га каждая в различных типах лесорастительных условий.

Учет подроста проводился под пологом древостоя методом учетных площадок размером 5 × 5 м в соответствии с методическими рекомендациями (Уткин и др., 1996). В Каменной степи на ППП № 8 и 25 было заложено по 3 учетных площадки, на ППП № 9 и 10 – по 5, в дубраве на каждой ППП – по 9. На основе сплошного перечета древесных растений подроста определялся вид, происхождение (семенное/ порослевое), категория состояния, жизнеспособность, возраст, измерялись высота и диаметр у шейки корня, ширина кроны.

Для каждой учетной площадки выбирали средние по всем основным морфологическим показателям модельные экземпляры подроста каждого вида, которые выкапывали за пределами ППП, разделяли на фракционные составляющие фитомассы (корни, стволы, ветви с указанием прироста текущего года, листья) (Методические указания…, 1968[2]; Методика полевых работ…, 2023[3]), взвешивали в сыром виде и сушили в лаборатории для определения влажности при темпе-

[1]ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. Введен 1983-23-05. 60 с.

[2]Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н .И. Ленинград: Наука, 1968. 145 с.

[3]Методика полевых работ по таксации леса на постоянных пробных площадях в рамках реализации инновационного проекта государственного значения «Углерод в экосистемах: мониторинг». Консорциум № 4 (рукопись). М.: ЦЭПЛ РАН, 2023.

ратуре 70 °С до достижения постоянной массы. Полученные значения общей фитомассы и фракционных составляющих модельных растений пересчитывали на число экземпляров данного вида на площадь 1 га (Методы определения…, 2005[1]; Уткин и др., 1997). Оценку запасов углерода проводили методом модельных растений с последующим пересчетом сухой фитомассы на единицу площади с использованием коэффициента 0,48, рекомендованного МГЭИК для умеренной зоны лиственных пород (Руководящие принципы…, 2006[2]). Общий запас углерода на ППП определяли суммированием запасов углерода по всем видам подроста.

Таблица 1

Таксационные характеристики древостоев дубовых насаждений на пробных площадях

Биогеоценоз	№ ППП	Ярус	Породный состав	А, лет	$D_{ср}$, см	$H_{ср}$, м	Запас, $м^3$/га	Сумма площадей сечений, $м^2$	N шт./га	Бонитет	Полнота	ТЛУ
Лесные полосы	25	1	10Д	128	42,3	22,6	169	16,3	112	III	0,5	-
		2	9Кло1Гр+Лп, В, Я	80	20,2	16,3	198	22,0	528		0,9	
	8	1	10Д+Лп	124	44,5	26,1	242	20,9	212	II	0,6	-
		2	10Кло	80	19,2	15,0	155	19,9	588		0,9	
	9	1	10Д	85	32,6	19,3	191	19,4	218	IV	0,7	-
		2	4Кяс3Яп2Кло1В	50	14,8	11,9	61	9,0	534		0,5	
	10	1	10Д	125	53,0	25,7	498	42,2	100	II	1,3	-
		2	5Кло3В2Гр, ед. Яп	80	16,3	11,7	53	7,5	306		0,2	
Дубрава	11	1	9Д1Ос+Я, Гр.	120	37,6	16,9	179	17,8	215	IV	0,7	Д1
	12	1	3Д3Кло3Лп1Я	120	26,9	20,9	286	27,2	517	III	0,9	Д2
	13	1	6Д2Кло2Лп	110	31,6	22,2	357	33,4	559	II	1,0	Д2
	14	1	5Д3Ос1Кло1Лп	110	31,0	22,0	307	29,5	586	III	0,9	С2Д

Примечание: Кло – клен остролистный, Кяс – клен ясенелистный, Д – дуб черешчатый, В – вяз гладкий, Гр – груша лесная, Ос – осина обыкновенная, Я – ясень обыкновенный, Яп – ясень пушистый, Лп – липа мелколистная; N шт./га *– количество стволов, ТЛУ – тип лесорастительных условий.*

Результаты. Полноценная оценка запасов углерода в фитомассе подроста требует учета характеристик материнского древостоя (породный состав, состояние, густота, запас стволовой древесины и т. д.), поскольку именно эти параметры определяют световой и ресурсный режим, напрямую лимитирующий или стимулирующий развитие нижнего яруса.

Таксационные характеристики древостоев на ППП лесных полос и нагорной дубравы Воронежской обл. имеют существенные различия. Агролесомелиоративные насаждения характеризуются более выраженной двухъярусной структурой: первый ярус имеет возраст от 85 до 128 лет, тогда как второй ярус моложе – 50-80 лет, ППП в дубраве представлены преимущественно одноярусными насаждениями в возрасте 110-120 лет.

По среднему диаметру древостои первого яруса лесных полос демонстрируют более высокие показатели – от 32,6 до 53,0 см, тогда как в дубраве этот параметр варьирует от 26,9 до 37,6 см. Особенно выделяется ППП № 10 в лесных полосах со средним диаметром 53,0 см. Средняя высота в агролесомелиоративных насаждениях также превышает показатели дубравы: 19,3-26,1 м против 16,9-22,2 м соответственно.

Дубрава характеризуется более высокой густотой деревьев (215-586 шт./га), тогда как первый ярус лесных полос имеет густоту 100-218 шт./га. Второй ярус лесных полос по густоте (306-588 шт./га) приближается к показателям дубрав. Показатели количества стволов ППП № 11 ниже, по сравнению с ППП № 12, 13, 14, что может быть связано с принадлежностью ППП № 11 к типу лесорастительных условий дубравы сухой – $Д_1$ (см. табл. 1).

По запасам стволовой древесины лидируют лесные полосы, особенно ППП № 10 с показателем 498 $м^3$/га. Древостои на ППП в дубраве при большей густоте имеют меньший запас стволовой древесины на единицу площади (179-357 $м^3$/га). ППП № 11 в дубраве имеет наименьший запас – 179 $м^3$/га (табл. 1), что согласуется с ее относительно низкой густотой (215 шт./га) и лимитирующим фактором увлажнения в условиях $Д_1$ (см. табл. 1).

[1] Методы определения биологической продуктивности насаждений: Мониторинг. Усольцев В. А., Залесов С. В. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 147 с.

[2]Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов / Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Женева, 2006. 296 с.

Лесные полосы характеризуются разреженным древостоем, который характеризуется большим средним диаметром и высотой, при этом нагорная дубрава представлена густым древостоем из деревьев с меньшей средней высотой и диаметром (см. табл. 1).

По сравнению с Воронежской нагорной дубравой защитные лесные полосы Каменной степи характеризуются высокой густотой подроста (рис. 1А): среднее значение составляет 10,26 тыс. шт./га, однако данные характеризуются выраженной неоднородностью (3,04-27,73 тыс. шт./га) также, как и показатели средней высоты (0,40-4,06 м). При этом была выявлена закономерность: подрост на ППП № 9 имеет максимальную высоту (4,06 м) и минимальную густоту (3,04 тыс. шт./га), а на ППП № 8, наоборот, минимальную высоту (0,40 м) и максимальную густоту (27,73 тыс. шт./га).

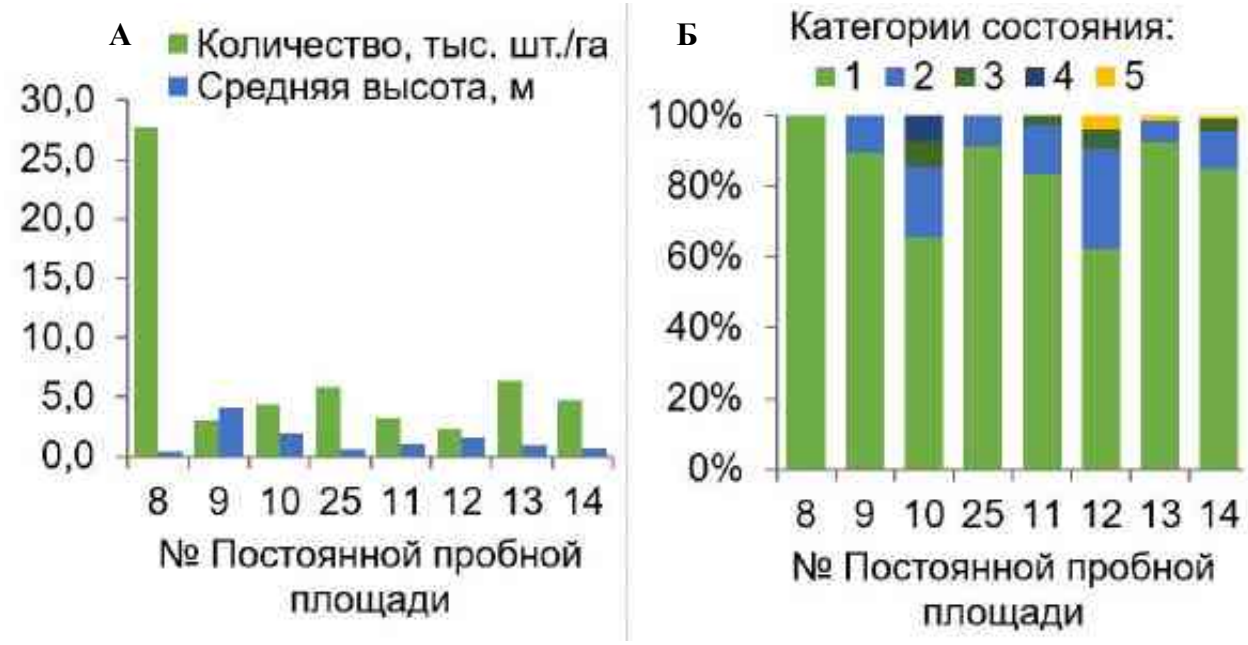

Рис. 1. Характеристика подроста на постоянных пробных площадях: А – распределение по густоте и средней высоте, Б – соотношение по категориям санитарного состояния (1 - здоровые (без признаков ослабления), 2 - ослабленные, 3 - сильно ослабленные, 4 - усыхающие, 5 – погибшие)

В дубраве густота подроста в среднем составляет 4,19 тыс. шт./га, при этом максимальная и минимальная густота варьирует в пределах одного порядка (2,36-6,40 тыс. шт./га) по сравнению с защитными лесными насаждениями также, как и показатели средней высоты, которые изменяются в интервале 0,76-1,56 м.

Распределение подроста по категориям состояния также варьирует. В защитных лесных насаждениях 91,9 % всех растений подроста относится к 1-й категории санитарного состояния, тогда как ко 2-й категории – 6,6 %. Весь подрост ППП № 8 относится к категории здоровых (без признаков ослабления). В дубраве также преобладают растения 1-й категории, но занимают меньшую долю (84,4 %), по сравнению с ППП в Каменной степи, так как присутствует доля подроста в угнетенном состоянии (11,9 % – 2 категория; 2,4 % – 3; 1,3 % – 5). Например, в ППП № 14 из 107 растений 11 относятся ко 2-й категории, 4 – к 3-й, и 1 растение – к 5-й категории (рис. 1Б)

В подросте защитных агролесомелиоративных насаждений доминировал клен остролистный. Основная часть его экземпляров относилась к мелкому подросту, доля которого на разных ППП составляла 38,2-77,9 % (рис. 2). Наибольшая численность данного вида была зафиксирована на ППП № 8 (табл. 2) и была представлена в основном мелкими экземплярами. В лесных полосах на ППП № 9 и 10 густота клена ниже (3,12 и 2,72 тыс. шт./га соответственно), но доля крупного подроста составила 18,0 и 35,3 % от общего числа растений соответственно.

На пробной площади № 25 подрост клена остролистного (4,69 тыс. шт./га) и ясеня обыкновенного (4,58 тыс. шт./га) представлен преимущественно мелкими экземплярами (75,9 и 70,8 % соответственно), а подрост липы мелколистной (0,16 тыс. шт./га) – средними (100 %). Вяз шершавый встречается на ППП № 10 и 25 (1,68 и 0,29 тыс. шт./га соответственно) преимущественно в виде средних и крупных растений.

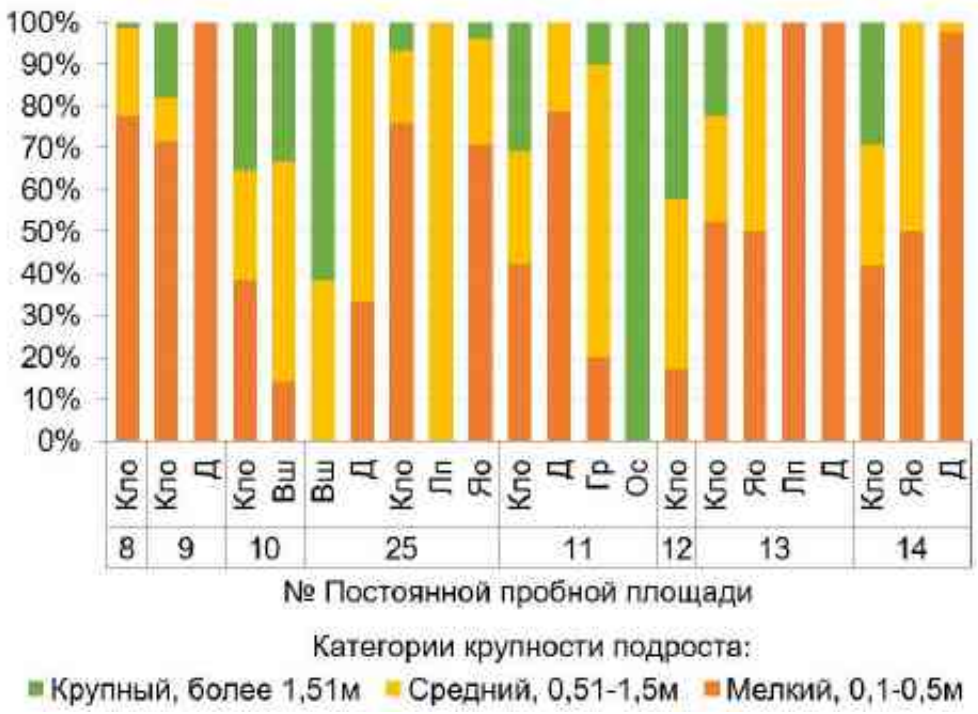

Рис. 2. Распределение подроста различных пород по категориям крупности на постоянных пробных площадях дубовых насаждений Воронежской обл. (Кло – клен остролистный, Д – дуб черешчатый, Вш – вяз шершавый, Гр – груша лесная, Ос – осина обыкновенная, Яо – ясень обыкновенный, Лп – липа мелколистная)

Таблица 2

Характеристики подроста дубовых насаждений Воронежской обл. на ППП

№ ППП	Древесная порода (вид)	Количество, тыс. шт./га				Ср. высота, м	Ср. диаметр, см
		мелкий (0,1-0,5 м)	средний (0,51-1,5 м)	крупный (> 1,51 м)	итого		
8	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	21,60	5,73	0,40	27,73	0,40	0,50
9	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	2,24	0,32	0,56	3,12	1,08	1,20
	Дуб черешчатый (*Quercus robur*.)	0,08	-	-	0,08	0,18	0,10
10	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	1,04	0,72	0,96	2,72	2,42	2,91
	Вяз шершавый (*Ulmus glabra*)	0,24	0,88	0,56	1,68	1,20	6,27
25	Вяз шершавый (*Ulmus glabra*)	-	0,11	0,18	0,29	1,85	3,50
	Дуб черешчатый (*Quercus robur*)	0,02	0,05	-	0,07	0,20	0,60
	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	3,56	0,82	0,32	4,69	0,30	0,50
	Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	-	0,16	-	0,16	0,70	1,50
	Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*)	3,24	1,16	0,18	4,58	0,30	0,40
11	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	0,49	0,31	0,36	1,16	1,21	1,29
	Дуб черешчатый (*Quercus robur*)	0,49	0,13	-	0,62	0,36	0,54
	Груша лесная (*Pyrus communis*)	0,09	0,31	0,04	0,44	0,88	1,32
	Осина обыкновенная (*Populus tremula*)	-	-	0,09	0,09	6,25	6,10
12	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	0,40	0,93	0,98	2,31	1,56	2,03
13	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	3,24	1,56	1,38	6,18	1,02	0,97
	Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*)	0,09	0,09	-	0,18	0,55	0,65
	Липа мелколистная (*Tilia cordata*)	0,04	-	-	0,04	0,44	1,60
	Дуб черешчатый (*Quercus robur*)	0,04	-	-	0,04	0,08	0,10
14	Клен остролистный (*Acer platanoides*)	1,02	0,71	0,71	2,44	1,29	1,24
	Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*)	0,04	0,04	0,00	0,09	0,33	0,20
	Дуб черешчатый (*Quercus robur*)	1,73	0,04	0,00	1,77	0,20	0,13

В лесных полосах наблюдается низкая густота подроста дуба черешчатого (0,07-0,08 тыс. шт./га), который встречается только на ППП № 9 и 25 и представлен исключительно мелкими эк-

земплярами (100 %) и преимущественно средними (66,7 %) соответственно. При этом крупных растений не было зафиксировано.

В нагорной дубраве подрост клена остролистного (*Acer platanoides*) по сравнению с другими видами также занимает доминирующее положение, но при этом наблюдается более равномерное распределение экземпляров по категориям крупности по сравнению с лесными полосами: к мелкому подросту относится 17,3-52,5 % растений, к среднему – 25,2-40,4 %, крупному – 22,3-42,3 % от общего количества. Максимальная густота клена наблюдалась на ППП № 14 (6,18 тыс. шт./га), а минимальная – на ППП № 11 (1,16 тыс. шт./га, табл. 2).

Густота дуба черешчатого (*Quercus robur*) достигает 0,04-1,77 тыс. шт./га, превышая показатели лесных полос, при этом подрост представлен преимущественно мелкими экземплярами (78,6-100 %), крупные растения не были зафиксированы. Наибольшее количество дуба наблюдалось на ППП № 14 (1,77 тыс. шт./га). На ППП № 12 подрост дуба отсутствовал.

Подрост ясеня обыкновенного был отмечен на ППП № 13 и 14 (0,18 и 0,09 тыс. шт./га), при этом были характерны сходные количества мелких и средних экземпляров (см. рис. 2). Груша лесная и осина обыкновенная встречаются на ППП № 11 с густотой – 0,44 и 0,09 тыс. шт./га соответственно, а липа мелколистная – на ППП № 13 густотой 0,04 тыс. шт./га.

Общие запасы углерода в фитомассе подроста лесных полос Каменной степи превышают показатели Воронежской нагорной дубравы. В лесных полосах средний запас углерода в фитомассе подроста составил 174,5 кг С/га при диапазоне значений от 132,8 (ППП № 9) до 212,1 кг С/га (ППП № 10) (рис. 3А). В Воронежской нагорной дубраве запас углерода оказался ниже – в интервале от 42,3 (ППП № 13) до 71,2 кг С/га (ППП № 14).

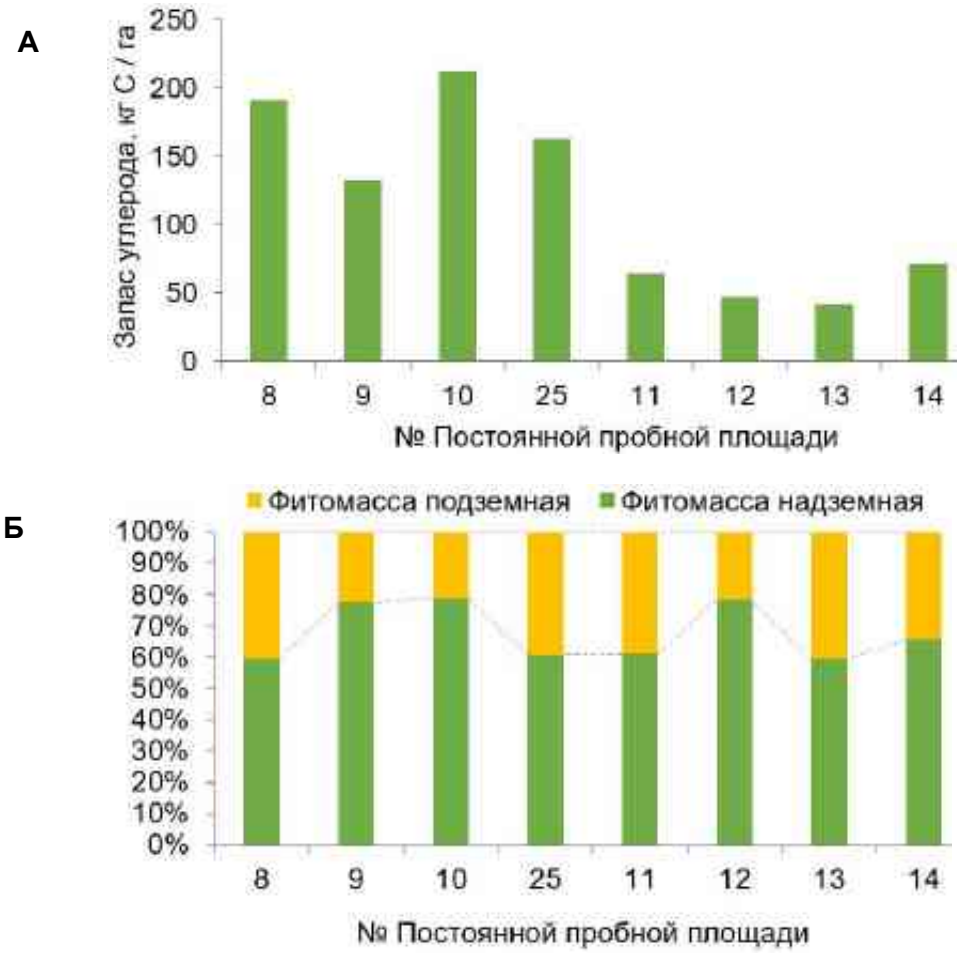

Рис. 3. Запасы углерода в фитомассе подроста: А – общие запасы углерода в подросте (в кг С/га); Б – соотношение запасов углерода в надземной и подземной фитомассе (%)

Сопоставление пулов углерода в надземной и подземной фитомассе подроста позволяет более полно оценить роль данного яруса насаждения в процессах депонирования углерода и устойчивости лесных экосистем к стрессам и климатическим изменениям.

Подрост защитных агролесомелиоративных насаждений демонстрирует большую вариабельность показателей по запасам углерода в фитомассе, особенно в надземной части (диапазон изменений составил 135,3 кг С/га против 43,1 кг С/га в дубраве).

Сопоставление двух типов лесных экосистем показало, что, несмотря на ранее выявленные существенные различия в показателях общего запаса углерода в подросте, накопление углерода в наземной и подземной фитомассе имеет общие закономерности: доля надземной фитомассы варьировала в широких пределах – от 59 до 79 %, при этом доля подземной фитомассы составила от 21 до 41 %.

В Каменной степи на ППП № 8 и 25 наблюдалось более равномерное распределение фитомассы: так на долю подземной части приходилось 39-41 %, а на надземную – 59-61 %, тогда как на ППП № 9 и 10 на долю надземной части пришлось 78-79 % (рис. 3Б). В нагорной дубраве ППП № 12 характеризовалась максимальной долей запаса углерода в надземной фитомассе подроста (79 %), тогда как на ППП № 13 зафиксирована наиболее высокая доля запасов в подземной фитомассе (41 %).

Доминирующую роль в формировании общего запаса углерода в фитомассе подроста играет клен остролистный, на долю которого приходится 86,4 %. Этот вид присутствует на всех исследованных пробных площадях как в лесных полосах, так и в нагорной дубраве. Наибольшие значения запаса углерода в клене остролистном отмечены на ППП № 8 (191,36 кг/га) и ППП № 10 (160,29 кг/га) в лесных полосах (рис. 4Б).

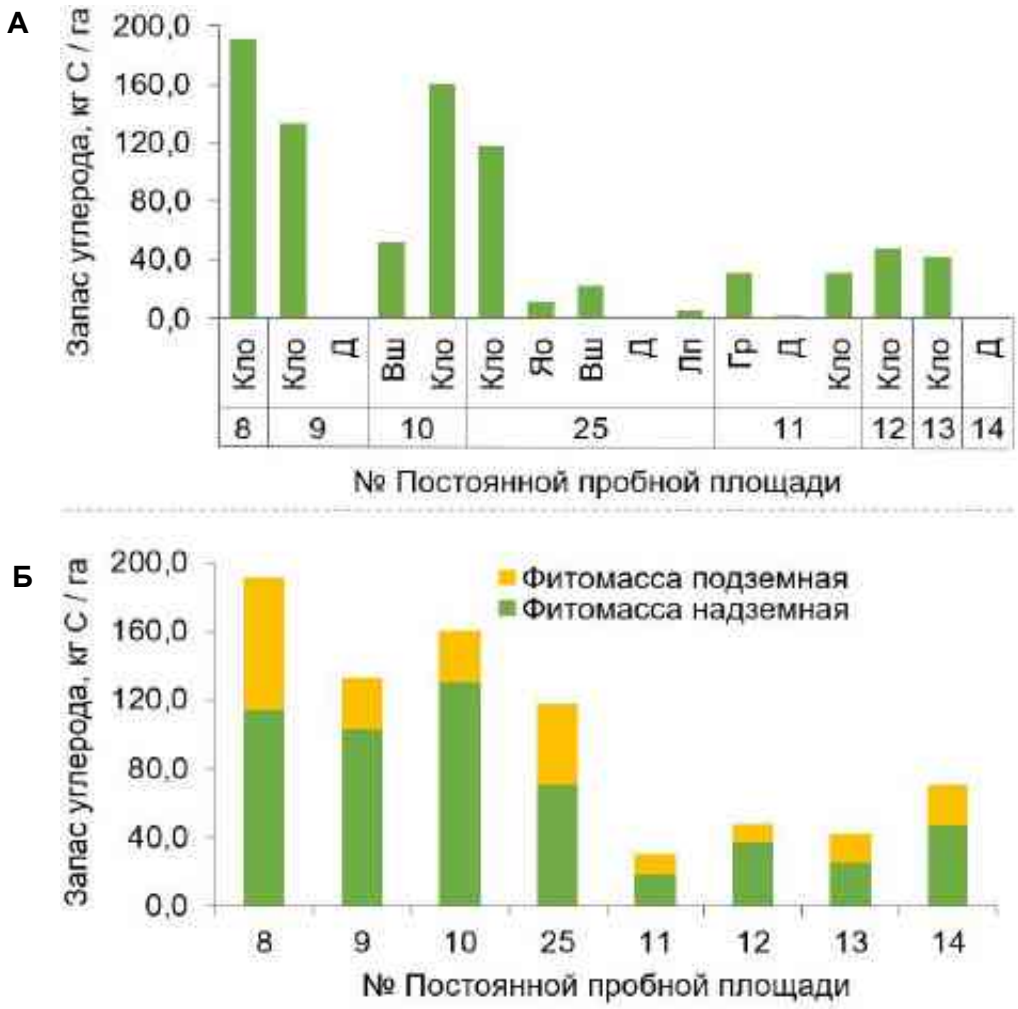

Рис. 4. Общие запасы углерода в фитомассе подроста на ППП (кг С/га): А – в разных видах растений, Б – в надземной и подземной фитомассе клена остролистного (Кло – клен остролистный, Д – дуб черешчатый, Вш – вяз шершавый, Гр – груша лесная, Яо – ясень обыкновенный, Лп – липа мелколистная)

Видовое разнообразие подроста также различается между разными типами лесных экосистем. Наибольшее число видов в подросте характерно для лесных полос Каменной степи. В

ППП № 10 и 25 существенную долю также занимает вяз шершавый (*Ulmus glabra*) с общим запасом углерода в фитомассе 51,77 и 22,04 кг С/га соответственно (рис. 4А). На ППП № 25 встречается ясень обыкновенный (11,22 кг С/га), липа мелколистная (6,19 кг С/га).

В нагорной дубраве основной вклад в запас углерода фитомассы подроста формировали три вида: клен остролистный, груша лесная и дуб черешчатый. Доминирующее положение имеет клен остролистный с максимальным общим запасом углерода в фитомассе 70,50 кг С/га на ППП № 14. Вклад груши лесной (*Pyrus communis*) ниже – 31,44 кг С/га.

Низкие запасы углерода в фитомассе дуба черешчатого были зафиксированы во всех исследуемых насаждениях. Несмотря на то, что ППП № 11-14 заложены в естественной дубраве, дуб черешчатый представлен в подросте незначительно: на ППП № 11 его запас составляет всего 1,87 кг С/га, на ППП № 14 – 0,67 кг С/га, как и в лесной полосе (ППП № 25) – 0,14 кг С/га.

Обсуждение. Выявленное обратное соотношение между густотой и средней высотой подроста указывает на разные стадии возобновления. Высокая густота при малой высоте на ППП № 8 отражает массовое появление молодого клена, но не гарантирует его дальнейшего роста. Напротив, меньшая густота и большая высота на ППП № 9 и 10 свидетельствуют о более раннем возобновлении, естественном изреживании и сохранении наиболее жизнеспособных растений. Особенно это характерно для дуба черешчатого: при наличии мелкого подроста его переход в более крупные категории практически отсутствует. При этом факторы возобновления меняются с возрастом: если на ранних стадиях важны наличие семян, то далее возрастает роль освещенности и конкуренции (Annighöfer et al., 2015). Поэтому наличие мелкого подроста дуба не гарантирует его сохранения в будущем древостое.

Обнаруженные различия по характеристикам и запасам углерода в подросте, вероятно, связаны с почвенно-экологическими условиями и структурой древостоя исследуемых насаждений. Защитные агролесомелиоративные полосы Каменной степи, произрастающие на мощных черноземах с высоким содержанием гумуса (Хитров, Чевердин 2016; Чевердин и др., 2021; Голядкина, 2024), характеризуются разреженным древостоем и, соответственно, лучшей освещенностью под пологом, что способствует достижению подростом более высоких показателей по густоте и продуктивности по сравнению с Воронежской нагорной дубравой, которая характеризуется густым одноярусным древостоем и серыми лесными почвами с меньшей мощностью гумусового горизонта (Луговская и др., 2016; Одноралов и др., 2020; Шешницан, 2025).

Существенным лимитирующим фактором развития подроста в нагорной дубраве также является высокая конкурентная способность живого напочвенного покрова (Фролова, 2019), который перехватывает значительную часть влаги и элементов минерального питания до их поступления к корням древесного подроста (Одноралов и др., 2020). В то же время теневыносливые спутники дуба, прежде всего клен остролистный, обладают более пластичной корневой системой и успешно конкурируют с травостоем, формируя мощный нижний ярус (Стародубцева, Ханина, 2024). При этом в агролесомелиоративных насаждениях живой напочвенный покров практически отсутствует.

Полученные результаты оценки видовой структуры подроста согласуются с литературными данными, которые свидетельствуют, что под пологом естественных и искусственных дубовых насаждений подрост дуба практически отсутствует (Кулагин, Шаяхметов, 2007; Смирнов, 2013; Клыш, Шиман, 2017; Рыбалкина и др., 2019; Грибачева, 2025), а доминирующее положение занимает клен остролистный, который постоянно присутствует под пологом древостоя и подавляет естественное возобновление светолюбивого дуба (Valladares et al., 2002; Харченко, Корчагин, 2012; Грибачева, 2019), что является одним из признаков будущей трансформации дубовых насаждений в производные смешанные древостои (Тунякин, 2018; Рыбалкиной и др., 2019, Шешницан и др., 2024; Стороженко и др., 2018).

Ряд авторов (Наквасина, Шумилова, 2021) считают, что подрост и подлесок не вносят существенного вклада в углеродный баланс экосистемы. По данным С. Н. Мартыненко (2004), более 98 % углерода содержится в древостое, а запас углерода в фитомассе подроста Воронежской нагорной дубравы оценивается лишь в 0,2-4,0 кг С/га. Полученные в ходе настоящего исследования данные дополняют существующие представления: при детальном фракционном учете запас углерода в фитомассе подроста составляет до 212,1 кг С/га в защитных агролесомелиоративных насаждениях и до 71,2 кг С/га в нагорной дубраве. Подобное расхождение с ранее опубликованными значениями (Мартыненко, 2004) позволяет предположить, что вклад нижних ярусов может недооцениваться (Добровольский, Терехова, 2023; Лукина и др., 2023; Филипчук и др., 2022).

Низкие запасы углерода в фитомассе дуба черешчатого (0,14-1,87 кг С/га) во всех исследованных биогеоценозах подтверждают необходимость корректировки лесовосстановительных мероприятий, направленных на содействие естественному возобновлению главной лесообразующей породы (Чеботарева, Чеботарев, 2020; Шешницан и др., 2024).

Различия в соотношении надземной и подземной фитомассы подроста также могут отражать неодинаковые стратегии адаптации растений к условиям среды. Повышенная доля подземной фитомассы на отдельных площадях может быть связана с преимущественным направлением ассимилятов на развитие корневых систем в условиях дефицита влаги, элементов питания либо недостаточной освещенности (Sevillano et al., 2016). Напротив, увеличение доли надземной фитомассы может характеризовать более интенсивный рост в высоту при благоприятном световом режиме (Wang, Wang, 2022).

Полученные результаты указывают на формирование несоответствия между современным и потенциальным будущим составом древостоя. В исследованных дубовых насаждениях углерод верхнего яруса в настоящее время сосредоточен преимущественно в дубе черешчатом, тогда как 86,4 % учтенного запаса углерода подроста связано с кленом остролистным. При сохранении существующих условий следующее поколение древостоя, вероятно, будет характеризоваться меньшим участием дуба и возрастанием доли теневыносливых сопутствующих пород. Следовательно, видовая структура подроста отражает не только текущий небольшой пул углерода, но и вероятную траекторию перераспределения углерода между древесными породами в будущем.

В этой связи роль подроста в углеродном цикле целесообразно рассматривать в двух временных масштабах. В текущий момент запас углерода в подросте значительно уступает запасам древостоя и почвы, поэтому подрост не определяет общий углеродный баланс зрелого насаждения. Вместе с тем его значение существенно возрастает в долгосрочной перспективе, поскольку успешность возобновления определяет возможность замещения углерода, утрачиваемого при отпаде крупных деревьев. Анализ данных инвентаризации лесов показал, что породный состав и численность молодого поколения могут использоваться для прогнозирования будущей потери, сохранения или увеличения запасов углерода древостоя (Harris et al., 2024). Поэтому отсутствие крупного подроста дуба при доминировании клена следует рассматривать как фактор изменения долгосрочной углеродной устойчивости дубовых насаждений.

Таким образом, результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что отсутствие данных о подросте приводит к недооценке небольшого, но динамичного пула углерода, а также снижает достоверность долгосрочных прогнозов изменения запасов углерода древостоя, поскольку именно подрост определяет потенциал формирования следующего поколения древостоя.

Выводы. Защитные агролесомелиоративные насаждения Каменной степи характеризуются более высокой густотой подроста по сравнению с Воронежской нагорной дубравой (10,26 и 4,19 тыс. шт./га соответственно), а также значительно бóльшей пространственной вариабельностью его густоты и высоты, что отражает неоднородность условий формирования и развития естественного возобновления.

В исследованных дубовых насаждениях независимо от их происхождения доминирующее положение в подросте занимает клен остролистный (*Acer platanoides* L.), формирующий основную часть запаса углерода в его фитомассе. Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) представлен преимущественно мелким подростом, при отсутствии крупных экземпляров и низких запасах углерода (0,14-1,87 кг С/га), что свидетельствует о недостаточной успешности его естественного возобновления и вероятном изменении породного состава будущего древостоя без проведения лесоводственных мероприятий.

Средний запас углерода в фитомассе подроста защитных лесных полос (174,5 кг С/га) более чем в три раза превышает аналогичный показатель для Воронежской нагорной дубравы (56,3 кг С/га), что обусловлено бóльшей густотой и лучшим развитием подроста. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета подроста при оценке углеродных пулов лесных экосистем, поскольку он представляет собой динамичный компонент фитомассы, характеризующий потенциал формирования следующего поколения древостоя и долгосрочную устойчивость углеродного баланса лесных насаждений.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Галстян М. А., Саркисян К. Ш., Матевосян Л. Г., Гарибян П. А. Оценка влияния лесной экосистемы на продуктивность прилегающих агроландшафтов Мартунинского региона РА. *Евразийский Союз Ученых.* 2020;(10-2(79)):64-68. doi https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.79.1047 [Galstyan M. A., Sarkisyan K. Sh., Matevosyan L. G., Garibyan P. A. Assessment of the forest ecosystem influence on the productivity of adjacent agrolandscapes of the Martuni region of the RA. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh = Eurasian Union of Scientists*. 2020;(10-2(79)):64-68. doi https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.79.1047].

Голядкина И. В., Одноралов Г. А., Тихонова Е. Н., Шешницан Т. Л., Сафонова А. А. Количественная оценка сезонного растительного опада в Воронежской нагорной дубраве. *Лесотехнический журнал.* 2024;14(3): 61-74. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/4 [Golyadkina I. V., Odnoralov G. A., Tikhonova E. N., Shesnitsan T. L., Safonova A. A. Quantitative assessment of seasonal plant litter in the Voronezh upland oak forest. *Lesotekhnicheskiy zhurnal = Forestry Engineering Journal.* 2024;14(3):61-74. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/4].

Горичев Ю. П., Давыдычев А. Н., Юсупов И. Р. Дуб черешчатый (*Quercus robur L.*) в Южно-Уральском заповеднике. *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2015;10(185):247-249. [Gorichev Yu. P., Davydychev A. N., Yusupov I. R. Pedunculate oak (*Quercus robur L.*) in the South Ural Nature Reserve. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Orenburg State University.* 2015;10(185):247-249].

Грибачева О. В. Современное состояние полезащитной полосы с участием дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) и клена остролистного (*Acer platanoides L.*). Известия высших учебных заведений. *Лесной журнал.* 2019; (4 (370)):34-44. doi https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.4.34 [Gribacheva O. V. Current state of a shelterbelt with the participation of pedunculate oak (*Quercus robur L.*) and Norway maple (*Acer platanoides L.*). Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal.* 2019; (4 (370)):34-44. doi https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.4.34].

Грибачева О. В., Гаврилюк Ю. В., Копец Ю. В. Влияние густоты древостоя и освещенности на естественное возобновление в полезащитных лесополосах Луганской Народной Республики. *Лесотехнический журнал.* 2025;(4(60)):39-57. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/3 [Gribacheva O. V., Gavrilyuk Yu. V., Kopets Yu. V. Influence of stand density and illumination on natural regeneration in shelterbelts of the Lugansk People's Republic. *Lesotekhnicheskiy zhurnal = Forestry Engineering Journal.* 2025;(4(60)):39-57. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/3].

Добровольский А. А., Терехова Д. Г. Разработка программы лесоразведения в целях депонирования углерода на территории Санкт-Петербурга для адаптации к изменению климата. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2023;(245):6-22. doi https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.245.6-22 [Dobrovolskiy A. A., Terekhova D. G. Development of an afforestation program for carbon deposition in St. Petersburg for climate change adaptation. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii = Bulletin of the St. Petersburg State Forestry University*. 2023;(245):6-22. doi https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.245.6-22].

Клевцов Д. Н., Тюкавина О. Н. Запасы углерода в 40-летних культурах сосны обыкновенной. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023;(5):195-203. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-195-203 [Klevtsov D. N., Tyukavina O. N. Carbon stocks in 40-year-old Scots pine plantations. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal.* 2023;(5):195-203. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-195-203].

Клыш А. С., Шиман Д. В. Особенности возобновления клена остролистного под пологом смешанных широколиственных насаждений Беларуси. В: Сб. материалов национальной. науч.-практич. конф. «Состояние и перспективы развития лесного хозяйства. Состояние и перспективы развития лесного хозяйства»: (13-14 марта 2017 г.) Омск: Омский ГАУ имени П. А. Столыпина, 2017;21-25. [Klysh A. S., Shiman D. V. Features of the renewal of the holly maple under the canopy of mixed broad-leaved plantations in Belarus. Q: The state and prospects of forestry development. The state and prospects of forestry development: proceedings of the National Scientific and Practical Conference (March 13-14, 2017) Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2017;21-25].

Кулагин А. Ю., Шаяхметов И. Ф. Естественное подпологовое возобновление и высотно-возрастная структура подроста липы мелколистной (*Tilia cordata Mill.*) в водоохранно-защитных лесах Павловского водохранилища (р. Уфа). *Экология*. 2007;(4):268-273. [Kulagin A. Yu., Shayakhmetov I. F. Natural undercanopy regeneration and height-age structure of small-leaved lime (*Tilia cordata Mill.*) undergrowth in water-protective forests of the Pavlovsk reservoir (Ufa River). *Ekologiya = Russian Journal of Ecology*. 2007;(4):268-273].

Луговская Л. А., Землякова А. В., Межова Л. А., Луговской А. М. Геоэкологический анализ уникальных нагорных дубрав бассейна среднего Дона. *Успехи современного естествознания*. 2016;(11-1):151-155. [Lugovskaya L. A., Zemlyakova A. V., Mezhova L. A., Lugovskoy A. M. Geoecological analysis of unique upland oak forests of the middle Don basi.n. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences.* 2016;(11-1):151-155].

Лукина Н. В., Барталев С. А., Гераськина А. П., Плотникова А. С., Горнова А. В., Ершов Д. В., Гаврилюк Е. А., Кузнецова А. И., Шевченко Н. Е., Тихонова Е. В., Данилова М. А., Тебенькова Д. Н., Смирнова В. Э., Ручинская Е. В. Роль старовозрастных лесов в аккумуляции и хранении углерода. *Известия РАН. Серия географическая.* 2023;87(4):536-557. [Lukina N. V., Bartalev S. A., Geraskina A. P., Plotnikova A. S., Gornova A. V., Ershov D. V., Gavrilyuk E. A., Kuznetsova A. I., Shevchenko N. E., Tikhonova E. V., Danilova M. A., Tebenkova D. N., Smirnova V. E., Ruchinskaya E. V. The role of old-growth forests in carbon accumulation and storage. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geography Series.* 2023;87(4):536-557].

Мартыненко С. Н. Депонирование углерода нагорными дубравами Воронежской области. *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2004;(8):96-98. [Martynenko S. N. Carbon deposition by upland oak forests of the Voronezh region. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa = Current Problems of the Forest Complex.* 2004;(8):96-98].

Наквасина Е. Н., Шумилова Ю. Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях. Известия высших учебных заведений. *Лесной журнал*. 2021;(1):46-59. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-46-59 [Nakvasina E. N., Shumilova Yu. N. Dynamics of carbon stocks during forest formation on post-agrogenic lands. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2021;(1):46-59. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-46-59].

Одноралов Г. А., Тихонова Е. Н., Голядкина И. В., Малинина Т. А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы). Известия высших учебных заведений. *Лесной журнал.* 2020;2(374): 60-72. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-2-60-72 [Odnoralov G. A., Tikhonova E. N., Golyadkina I. V., Malinina T. A. Assessment of the biological productivity of the forest environment under urbanization conditions (on the example of the Voronezh upland oak forest). Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Lesnoy zhurnal = Forest Journal.* 2020;2(374): 60-72. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-2-60-72].

Рыбалкина Н. В., Тунякин В. Д., Попов А. В., Шеншин Л. М. Возобновление главных лесообразующих пород и световой режим в лесных полосах Каменной Степи. *Лесотехнический журнал.* 2019;9(4):62-72. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.4/7 [Rybalkina N. V., Tunyakin V. D., Popov A. V., Shenshin L. M. Regeneration of main forest-forming species and light regime in forest strips of the Kamennaya Steppe. *Lesotekhnicheskiy zhurnal = Forestry Engineering Journal.* 2019;9(4):62-72. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.4/7].

Смирнов И. А. Оценка состояния лесов с участием ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) в Новгородской области. *Труды Санкт-Петербургского НИИЛХ*. 2013;(3):42-48. [Smirnov I.A. Assessment of the state of forests with the participation of common ash (*Fraxinus excelsior* L.) in the Novgorod region. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NIILKh = Transactions of the St. Petersburg Research Institute of Forestry.* 2013;(3):42-48].

Стародубцева Е. А., Ханина Л. Г. Смена осинников Воронежского заповедника: особенности сукцессии на второй надпойменной террасе реки Воронеж. *Russian Journal of Ecosystem Ecology.* 2024;9(3). https://doi.org/10.21685/2500-0578-2024-3-2 [Starodubtseva E. A., Khanina L. G. Aspen-dominated stand succession in the Voronezhsky State Nature Reserve: patterns on the second floodplain terrace of the Voronezh River. *Russian Journal of Ecosystem Ecology.* 2024;9(3). https://doi.org/10.21685/2500-0578-2024-3-2].

Стороженко В. Г., Чеботарев П. А., Чеботарева В. В. Естественное возобновление в нагорных дубравах различного происхождения в зоне лесостепи (на примере лесов Теллер-

мановского опытного лесничества Института лесоведения РАН). *Лесной вестник.* 2018;22(6):14-22. doi https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-6-14-22. [Storozhenko V. G., Chebotarev P. A., Chebotareva V. V. Natural regeneration in upland oak forests of various origins in the forest-steppe zone (on the example of the Tellermanovsky experimental forestry of the Institute of Forest Science of the RAS). *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin.* 2018;22(6):14-22. doi https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-6-14-22].

Тунякин В. Д., Вавин В. С., Рыбалкина Н. В. Новое о лесообразовательном процессе в лесных полосах Каменной Степи. Известия высших учебных заведений. *Лесной журнал*. 2018;(6):89-100. doi https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.89. [Tunyakin V. D., Vavin V. S., Rybalkina N. V. New data on the forest-forming process in forest strips of the Kamennaya Steppe. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal.* 2018;(6):89-100. doi https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.89].

Усольцев В. А. Биоразнообразие и биопродуктивность лесов в контексте климатогенной биогеографии. *Эко-потенциал.* 2019;1(25):48-115. [Usoltsev V. A. Biodiversity and biological productivity of forests in the context of climatogenic biogeography. *Eko-potentsial = Eco-Potential.* 2019;1(25):48-115].

Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Гульбе Т. А., Гульбе Я. И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России. *Лесоведение*. 1996;(6):36-46. [Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Gulbe T. A., Gulbe Ya. I. Allometric equations for phytomass based on data of pine, spruce, birch and aspen trees in the European part of Russia. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*. 1996;(6):36-46].

Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Коровин Г. Н., Нефедьев В. В., Гульбе Т. А., Гульбе Я. И., Гамбург С. П. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов. *Лесоведение*. 1997;(5):51-66. [Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Korovin G. N., Nefediev V. V., Gulbe T. A., Gulbe Ya. I., Hamburg S. P. Determination of carbon stocks of stands on sample plots: comparison of allometric and conversion-volume methods. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science.* 1997;(5):51-66].

Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Ипп С. Л., Сумин Ю. В., Дурманов Н. Д. Первый пилотный карбоновый полигон в Калужской области: методика и эксперимент по оценке запаса и поглощения углерода биомассой лесов. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2022;(240):112-129. [Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Ipp S. L. Sumin Yu. V., Durmanov N. D. The first pilot carbon polygon in the Kaluga region: methodology and experiment to assess the stock and absorption of carbon by forest biomass. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii = Bulletin of the St. Petersburg State Forestry University.* 2022;(240):112-129].

Фролова Г. Г., Фролов П. В., Шанин В. Н., Иванова Н. В. Анализ факторов, влияющих на возобновление основных лесообразующих пород в сосновых лесах Южного Подмосковья. *Вопросы лесной науки.* 2019;2(4):1-27. doi https://doi.org/10.31509/2658-607x-2019-2-4-1-27 [Frolova G. G., Frolov P. V., Shanin V. N., Ivanova N. V. Analysis of factors affecting the regeneration of main forest-forming species in pine forests of the southern Moscow region. *Voprosy lesnoy nauki = Issues of Forest Science.* 2019;2(4):1-27. doi https://doi.org/10.31509/2658-607x-2019-2-4-1-27].

Харченко Н. А., Корчагин О. М. Экология естественного семенного возобновления дуба черешчатого и развитие порослевых дубрав Центральной лесостепи (обзор проблемы, часть I). *Лесной журнал.* 2012;(5):22-29. [Kharchenko N. A., Korchagin O. M. Ecology of natural seed regeneration of pedunculate oak and development of coppice oak forests of the Central forest-steppe (review of the problem, part I). *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal.* 2012;(5):22-29].

Хитров Н. Б., Чевердин Ю. И. Почвы Каменной Степи от времени В. В. Докучаева до наших дней. *Journal of Biology and Earth Sciences*. 2016;6(2):112-119. [Khitrov N. B., Cheverdin Yu. I. Soils of the Kamennaya Steppe from the time of V. V. Dokuchaev to the present day. *Journal of Biology and Earth Sciences*. 2016;6(2):112-119].

Чеботарева В .В., Чеботарев П. А. Изменение породного состава дубравы нагорной высокоствольной в условиях лесостепи. *Педагогическое регионоведение*. 2020;1(17):136-147. [Chebotareva V. V., Chebotarev P. A. Changes in the species composition of the upland high-stem oak forest in the forest-steppe conditions. *Pedagogicheskoe regionovedenie = Pedagogical Regional Studies*. 2020;1(17):136-147].

Чевердин Ю. И., Беспалов В. А., Сауткина М. Ю., Титова Т. В. Эколого-агрохимическая оценка почв Каменной Степи под лесным ценозом. Известия высших учебных заведений.

Лесной журнал. 2021;(5):76-91. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-76-91 [Cheverdin Yu. I., Bespalov V. A., Sautkina M. Yu., Titova T. V. Ecological and agrochemical assessment of soils of the Kamennaya Steppe under forest cenosis. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal.* 2021;(5):76-91. doi https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-76-91].

Шешницан С. С., Карташова Н. П., Штепа Е. Н., Царегородцев А. В., Сафонова А. А. Запасы углерода в фитомассе и биологическая продуктивность спелых и перестойных древостоев пригородного лесничества Воронежской области. *Лесотехнический журнал.* 2024;14(4):97-110. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/7 [Sheshnitsan S. S., Kartashova N. P., Shtepa E. N., Tsaregorodtsev A. V., Safonova A. A. Carbon stocks in phytomass and biological productivity of mature and overmature stands of the suburban forestry of the Voronezh region. *Lesotekhnicheskiy zhurnal = Forestry Engineering Journal.* 2024;14(4):97-110. doi https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/7].

Шешницан Т. Л. Роль гидротермических факторов в регуляции потоков диоксида углерода из почвы в условиях нагорной дубравы Воронежской области. В: Сб. материалов XI Международной научной конф. «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях». Белгород, 15-17 октября 2025 г. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2025;421-424. [Sheshnitsan T. L. The role of hydrothermal factors in the regulation of carbon dioxide fluxes from the soil in the conditions of the upland oak forest of the Voronezh region. In: Problems of nature management and the ecological situation in European Russia and adjacent territories: Collection of materials of the XI International Scientific Conference, Belgorod, October 15-17, 2025. Belgorod: Belgorod State National Research University, 2025;421-424].

Annighöfer P., Beckschäfer P., Vor T., Ammer C. Regeneration patterns of European oak species (*Quercus petraea (Matt.) Liebl., Quercus robur* L.) in dependence of environment and neighborhood. *PLOS ONE*. 2015;10(8):e0134935. doi https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134935.

Daigneault A., Baker J. S., Guo J., Lauri P., Favero A., Forsell N., Johnston C., Ohrel S. B., Sohngen B. How the future of the global forest sink depends on timber demand, forest management, and carbon policies. *Global Environmental Change*. 2022;76:102582. doi https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102582.

Enescu C. M., Mihalache M., Ilie L., Dinca L., Sfeclă I., Timofte A. I., Murariu G. Oak Forests as Long-Term Carbon Sinks: Carbon Sequestration Dynamics and Nature-Based Solutions for Climate Change Mitigation, Conservation, and Forest-Based Carbon Management. *Forests*. 2026: 17(7)776. doi https://doi.org/10.3390/f17070776.

Giagli K., Baar J., Fajstavr M., Gryc V., Vavrčík H. Tree-ring width and Variation of Wood Density in *Fraxinus excelsior L.* and *Quercus robur L.* Growing in Floodplain Forests. *Bio Resources*. 2017;13(10). doi https://doi.org/15376/biores.13.1.804-819.

Harris L., Woodall C., D'Amato A. Sapling recruitment as an indicator of carbon resiliency in forests of the northern USA. *Ecology and Evolution*. 2024;14:ece3.70077. doi https://doi.org/10.1002/ece3.70077.

Harris N. L., Gibbs D. A., Baccini A., Birdsey R. A., de Bruin S., Farina M., Fatoyinbo L., Hansen M. C., Herold M., Houghton R. A., Potapov P. V., Suarez D. R., Roman-Cuesta R. M., Saatchi S. S., Slay C. M., Turubanova S. A., Tyukavina A. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*. 2021;11:234-240. doi https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6.

Parobeková Z., Sedmáková D., Pittner J., Sarvašová I., Lukáčik I. The impact of structural indicators and game browsing on the natural regeneration of forest-steppe ecosystems dominated by deciduous oak species – A case study from the Krupina Plateau, Slovakia. *Forests.* 2024;15(12):2057. doi https://doi.org/10.3390/f15122057.

Sevillano I., Short I., Grant J., O'Reilly C. Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. *Forest Ecology and Management*. 2016;374:11-19. doi https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.048.

Valladares F., Chico J. M., Aranda I., Balaguer L., Dizengremel P., Manrique E., Dreyer E. The greater seedling highlight tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. *Trees.* 2002;16:395-403.

Wang Z., Wang C. Individual and interactive responses of woody plants' biomass and leaf traits to drought and shade. *Global Ecology and Biogeography*. 2022. doi https://doi.org/10.1111/geb.13615.

Ziegler J., Easter M., Swan A., James B., Possu B., Grant D., Chambers A., Marlen E., Paustian K. A model for estimating windbreak carbon within COMET-Farm™. *Agroforestry Systems.* 2016;90.

Информация об авторах

Никитенко Виктория Викторовна – аспирант, кафедра ландшафтной архитектуры и почвоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, ул. Тимирязева д. 8, chuhlebovav73@mail.ru, ORCID ID 0009-0003-7869-0769.

Шешницан Сергей Сергеевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, ул. Тимирязева д. 8, sheshnitsan@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-8027-855X.

Царегородцев Алексей Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, ул. Тимирязева д. 8, tsar.ru@gmail.com, ORCID ID 0009-0003-6080-3817.

Карташова Нелли Павловна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, ул. Тимирязева д. 8, kartashova_73@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-2535-9557.

Information about the authors

Nikitenko Victoria Viktorovna – Postgraduate Student, Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8 Timiryazeva St., Voronezh, chuhlebovav73@mail.ru, ORCID ID 0009-0003-7869-0769.

Sheshnitsan Sergey Sergeevich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of The Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8 Timiryazeva St., Voronezh, sheshnitsan@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-8027-855X.

Tsaregorodtsev Alexey Vasilievich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8 Timiryazeva St., Voronezh, tsar.ru@gmail.com, ORCID ID 0009-0003-6080-3817.

Kartashova Nelli Pavlovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8 Timiryazeva St., Voronezh, kartashova_73@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-2535-9557.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 631.46:579.64 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.002.23-33

Пространственно-временная изменчивость при оценке микробиологической активности почв прибрежной зоны Цимлянского водохранилища

Архипов А. Е.✉**; Могилевская И. В.; Федотова А. В.**
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. Почвенные микроорганизмы служат чувствительными индикаторами изменений в окружающей среде, особенно в тех местах, где их активность зависит от уровня влаги и температуры. В исследовании представлены результаты двухлетнего мониторинга микробиологических показателей в почвах прибрежной зоны Цимлянского водохранилища в Волгоградской обл. за 2025-2026 гг. В верхнем слое почвы (0-10 см) были измерены базальное дыхание, субстрат-индуцированное дыхание, содержание микробного углерода и метаболический коэффициент. В 2026 г. авторы исследовали слой почвы на глубине 10-20 см. По результатам эксперимента и сравнения двухлетних данных все показатели в 2026 г. значительно превысили значения 2025 г.: базальное дыхание увеличилось в 4,6 раза, субстрат-индуцированное дыхание – в 3,2 раза, содержание микробного углерода – в 3,1 раза, а метаболический коэффициент – в 1,6 раза. Такие изменения свидетельствуют о выравнивании структуры микробного сообщества в 2026 г., так как в этом году фиксировали более высокие показатели влажности почвы. Вертикальный градиент 2026 г. показал уменьшение базального дыхания, субстрат-индуцированного дыхания и содержания микробного углерода с глубиной в 3,5-3,8 раза, в то время как метаболический коэффициент оставался практически неизменным, что говорит о схожей метаболической эффективности микробных популяций в обоих слоях. С помощью проведенного дисперсионного анализа установлено, что главным фактором является год отбора. Отсутствие взаимодействия между факторами указывает на стабильность различий между ними во времени. Для метаболического коэффициента ни один из факторов не оказался доминирующим. Год отбора существенно, но умеренно влиял на метаболический коэффициент, при этом такой параметр, как точка отбора, не оказывал значимого эффекта. Полученные данные подчеркнули чувствительность микробиологических параметров к ежегодным колебаниям и подтвердили необходимость учета профильной неоднородности при мониторинге почв в зонах влияния крупных водоемов.

Ключевые слова. Базальное дыхание, субстрат-индуцированное дыхание, микробная биомасса, метаболический коэффициент, сухостепная зона, вертикальное распределение, межгодовая динамика.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания FNFE-2025-0012 «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России», рег. № 125021402228-3.

Цитирование. Архипов А. Е., Могилевская И. В., Федотова А. В. Пространственно-временная изменчивость при оценке микробиологической активности почв прибрежной зоны Цимлянского водохранилища // Научно-агрономический журнал. 2026; 3(134):16-26. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.002.23-33.

Поступила в редакцию: 18.07.2026 Принята к печати: 21.08.2026

✉ – Для контактов/Corresponding author

UDC 631.46:579.64 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.002.23-33

Spatiotemporal variability of soil microbial activity indicators in the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir

Arkhipov A. E. ✉**; Mogilevskaya I. V.; Fedotova A. V.**
Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", Volgograd, Russia

Abstract. Soil microorganisms serve as sensitive indicators of environmental changes, especially in areas where their activity depends on soil moisture and temperature. This study presents the results of two years of monitoring of microbial indicators in soils of the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir in the Volgograd Region in 2025-2026. Basal respiration, substrate-induced respiration, microbial biomass carbon, and the metabolic quotient were measured in the upper 0-10 cm soil layer. In 2026, the 10-20 cm soil layer was also examined. Comparison of the two-year data showed that all indicators were significantly higher in 2026 than in 2025: basal respiration increased 4.6-fold, substrate-induced respiration increased 3.2-fold, microbial biomass carbon increased 3.1-fold, and the metabolic quotient increased 1.6-fold. These changes indicate that the microbial community structure became more uniform in 2026, when higher soil moisture was recorded. Analysis of the vertical gradient in 2026 showed that basal respiration, substrate-induced respiration, and microbial biomass carbon decreased 3.5- to 3.8-fold with depth, whereas the metabolic quotient remained virtually unchanged, indicating similar metabolic efficiency of the microbial populations in the two soil layers. Analysis of variance identified sampling year as the main factor. The absence of an interaction between the factors indicates that differences among the sampling points remained stable over time. Neither factor had a dominant effect on the metabolic quotient. Sampling year had a significant but moderate effect on the metabolic quotient, whereas sampling point had no significant effect. These findings highlight the sensitivity of microbial parameters to interannual variability and confirm the need to account for soil-profile heterogeneity when monitoring soils in areas influenced by large water bodies.

Keywords. Basal respiration, substrate-induced respiration, microbial biomass, metabolic quotient, dry-steppe zone, vertical distribution, interannual dynamics**.**

Funding. The study was carried out within the framework of the state assignment FNFE-2025-0012 "Theoretical foundations and methodology for assessing the greenhouse gas balance in freshwater reservoirs in the arid conditions of southern Russia", reg. no. 125021402228-3.

For citation. Arkhipov A. E., Mogilevskaya I. V., Fedotova A. V. Spatiotemporal variability of soil microbial activity indicators in the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir // Scientific Agronomy Journal. 2026; 3(134):16-26. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.002.23-33.

Received: 18.07.2026 Accepted: 21.08.2026

Введение. В исследованиях по определению количественного содержания микробного углерода определяющую роль играют почвенные микроорганизмы. Именно они обеспечивают трансформацию почвенного органического вещества и осуществляют в поверхностном слое основные ферментативные процессы. Также с их помощью происходит пополнение запасов энергии и элементов питания в микробной биомассе (Приходько, Сиземская, 2015). Благодаря микробиоте происходит регулирование потоков парниковых газов (углекислого газа, метана) между почвой и атмосферой (Никитин и др., 2022; Ananyeva et al., 2016). В регионах с недостатком влаги лимитирующим фактором является ее количество. Изменение соотношения осадков в течение года существенно влияет на микробное сообщество, что непосредственно можно зафиксировать с помощью микробиологических индикаторов. К ним относятся: базальное дыхание (БД), субстрат-индуцированное дыхание (СИД), углерод микробной биомассы ($C_{мик}$) и метаболический коэффициент (qCO_2). По мнению исследователей их используют в качестве надежных индикаторов состояния почв (Голубятников и др., 2023; Сушко и др., 2019).

✉ – Для контактов/Corresponding author

Основным интегральным индикатором, характеризующим скорость выделения CO_2, является базальное дыхание. Процесс происходит без добавления какого-либо субстрата. Он позволяет увидеть, насколько активно происходит разложение органического вещества в почве. БД при этом является показателем метаболизма почвенного сообщества (Ананьева и др., 2011).

Субстрат-индуцированное дыхание позволяет, как и базальное дыхание, определить респираторную активность почвенной микробиоты (Темботов, 2024). При использовании метода СИД исследователь оценивает потенциально активную микробную биомассу путем добавления легко усваиваемого компонента – источника углерода- глюкозу $C_6H_{12}O_6$ (Семенов и др., 2023).

Углерод микробной биомассы ($C_{мик}$) и метаболический коэффициент (qCO_2) – индикаторы, позволяющие понять, насколько эффективно микроорганизмы используют углерод. Низкие значения метаболического коэффициента указывают на высокую эффективность и стабильность микробного сообщества, тогда как высокие – сигнализируют о стрессе, когда бóльшая часть энергии уходит на поддержание гомеостаза вместо роста (Рогожина, 2024; Szili-Kovacs, Takacs, 2024). Углерод микробной биомассы, в свою очередь, является частью почвенного органического вещества, определение которого проводят по эмпирическим данным СИД (Семенов и др., 2023; Medvedeva et al., 2024). Этот показатель является самым чувствительным индикатором состояния почвы (Чернов, Семенов, 2021).

Перечисленные выше микробиологические индикаторы широко используются для мониторинга почв в различных зонах, в т. ч. в прибрежных, находящихся вблизи крупных водоемов. Одним из таких объектов в районе с недостатком влаги является Цимлянское водохранилище, построенное на реке Дон в 1952 г. Сегодня это один из крупнейших искусственных водоемов России, который заметно влияет на прилегающие к нему территории. Его близость создает особый микроклимат: воздух становится более влажным, температурные колебания сглаживаются, а осадков в прибрежной зоне выпадает больше (Федотова, Тимофеев, 2026). Это приводит к изменению гидротермических условий, что, в свою очередь, может сильно влиять на почвенные процессы по сравнению с обычными сухими степями. Переменчивый уровень воды в водохранилище вызывает регулярные затопления берегов. Эти колебания погодных условий и уровня воды создают стресс для почвенной микробиоты.

На данный момент систематические исследования микробиологической активности почв в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища не проводились. Имеющиеся работы (Федотова и др., 2025) сосредоточены на других сухостепных зонах. Они касаются других почвенных характеристик, но не охватывают динамику изменений по годам и пространственное распределение показателей по глубине отбора проб. Актуальность темы оценки запасов углерода в почве с использованием микробиологических индикаторов в зоне Цимлянского водохранилища не вызывает сомнений. Результаты исследования в целом для всего микробного сообщества помогут показать влияние различных факторов окружающей среды на почвенную микробиоту в зоне сухих степей.

Цель исследования – оценить микробиологическую активность в верхнем и более нижнем слоях почвы с учетом различий в уровне увлажнения и температуре в разные годы в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища.

Материалы и методы. Климат в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища можно охарактеризовать как умеренно континентальный и засушливый (Федотова, Тимофеев, 2026). Средняя многолетняя температура воздуха составляет около +8,5 °С, сумма активных температур выше 10 °С достигает примерно 3000 °С. Годовое количество осадков варьируется от 350 до 400 мм, с пиком в мае и июне, а также минимумом в августе и сентябре. Коэффициент увлажнения (по Иванову) – 0,35-0,45, что соответствует зоне сухих степей. В 2025 г. вегетационный период характеризовался засушливыми условиями (осадки за апрель – сентябрь составили 210 мм, средняя температура – 19,5 °С). В 2026 г. наблюдалось увеличение количества осадков до 310 мм, и небольшое снижение температуры (менее, чем на 1,0 °С). Такие колебания погодных параметров могут повлиять на микробную активность почв.

Почвенный покров исследуемого участка представлен преимущественно каштановыми почвами, претерпевшими постагрогенные изменения. Для них типичны черты сухостепной зоны, обусловленные аридным климатом: слабощелочная или щелочная реакция (pH 8,0-8,5), усиливающаяся в нижних горизонтах, малая мощность гумусового слоя и низкая влагоемкость. В микропонижениях рельефа развиты лугово-каштановые и лугово-солонцеватые почвы, которые характеризуются признаками гидроморфизма и засоления натриевого типа. Антропо-

генная нагрузка привела к деградации структуры: образованию плужной подошвы, уплотнению и ухудшению фильтрационных свойств. Преобладание средне- и тяжелосуглинистых почв с высоким содержанием физической глины провоцирует заплывание поверхности и образование корки. На склоновых участках отмечаются процессы эрозии, выражающиеся в частичной или полной потере гумусового горизонта.

Рис. 1. Космический снимок Цимлянского водохранилища и прилегающей территории (символом обозначено место отбора проб в 2025 и 2026 гг.)

В 2025 (первая декада мая) и 2026 (третья декада апреля) годах в период активного развития растительности на четырех разрезах, расположенных на расстоянии 25 м друг от друга в пределах одного элементарного биогеоареала, проводили отбор образцов. Из слоя 0-10 см отбирали по 3 смешанные пробы с каждого разреза. В 2026 г. дополнительно из тех же разрезов отбирали пробы из слоя 10-20 см. Образцы помещали в стерильные пластиковые контейнеры и доставляли в лабораторию, где доводили до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре 25 ± 2 °С согласно ГОСТ 29269-91.

Определение БД и СИД проводили, опираясь на исследования Ананьевой и др. (2011) и Семенова и др. (2023). Для этого навеску почвы 10 г (в пересчете на абсолютно сухую массу) помещали в стеклянные флаконы объемом 120 мл, увлажняли дистиллированной водой до 60 % от полевой влагоемкости (предварительно определенной гравиметрическим методом), закрывали пленкой Parafilm и проводили «оживление» микроорганизмов путем инкубирования образцов с почвой в термостате при 22 ± 0,5°С в течение 7 суток.

На следующем этапе проводили измерения БД после 24-часового термостатирования при 22 °С подготовленных герметично закрытых почвенных проб во флаконах. Для измерения использовали газоанализатор LI COR 850 (LI COR Biosciences, США) (рис. 2).

Для определения СИД использовали стандартную методику (Ананьева, 2011). Расчет скорости базального дыхания и субстрат-индуцированного дыхания рассчитывали по формулам (Mukvich, Ivashchenko, 2026). Содержание углерода микробной биомассы вычисляли по ка-

либровочному уравнению, полученному для почв сухостепной зоны (Семенов и др., 2023). Метаболический коэффициент определяли как отношение БД к $C_{мик}$.

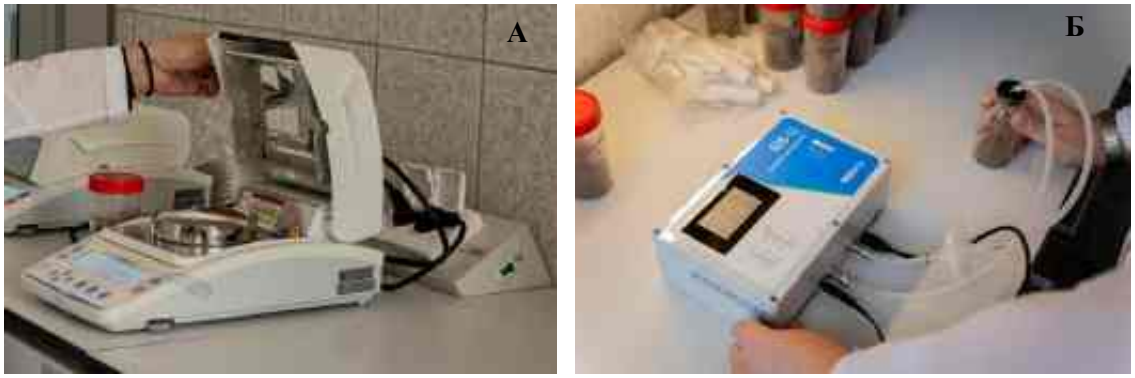

Рис. 2. Определение физико-химических (а) и микробиологических (б) характеристик почвенных образцов

Для каждого из исследуемых микробных индикаторов вычисляли среднее арифметическое (μ) и стандартную ошибку среднего (SE). Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим апостериорным тестом Tukey HSD при уровне значимости p = 0,001. Для групп факторов (по точкам отбора) и годовой вариабельности провели многофакторный дисперсионный анализ (Factorial ANOVA) при уровне значимости p = 0,001. Для оценки пространственной вариабельности рассчитывали коэффициент вариации CV.

Результаты. В табл. 1 представлены средние значения микробиологических показателей для поверхностного слоя в 2025 и 2026 годах и коэффициенты вариабельности.

Таблица 1

Сравнение микробиологических параметров в слое 0-10 см в 2025 и 2026 гг.

Показатель	2025 г.	2026 г.	CV, % (2025 г.)	CV, % (2026 г.)
Базальное дыхание БД, мкгС·г$^{-1}$·ч$^{-1}$	0,207 ± 0,017	0,960 ± 0,025	62,9	2,8
Субстрат-индуцированное дыхание СИД, мкл CO_2·г$^{-1}$·ч$^{-1}$	2,902 ± 0,198	9,240 ± 0,263	30,8	11,1
Содержание микробного углерода $C_{мик}$, мгС·г$^{-1}$	0,120 ± 0,008	0,374 ± 0,011	30,9	11,1
Метаболический коэффициент qCO_2, мкгС·(мг $C_{мик}$)$^{-1}$·ч$^{-1}$	1,802 ± 0,160	2,959 ± 0,248	68,3	8,1

Примечание. Показатели представлены как средние значения ± ошибка среднего, различные буквы в столбце обозначают статистические различия согласно Tukey HSD Post Hoc тесту при p = 0,001.

Все различия статистически высоко значимы. Рост БД в 4,6 раза свидетельствует о резкой активизации минерализации органического вещества в 2026 г. Увеличение СИД и $C_{мик}$ в 3,2 и 3,1 раза соответственно указывает на существенное расширение активно функционирующей микробной биомассы. Повышение qCO_2 на 64 % означает, что эффективность использования углерода микроорганизмами снизилась: на единицу биомассы стало приходиться больше дыхательных потерь. Это может быть следствием того, что в 2026 г. микроорганизмы перешли к более интенсивному метаболизму с высокими затратами энергии на поддержание клеточных функций, либо в сообществе возросла доля рудеральных (быстрорастущих, но с высоким удельным дыханием) таксонов. Подобный эффект описан в работе Сушко и др. (2019) для черноземов при переходе от засушливых к влажным условиям.

Столь высокие CV в 2025 г. указывают на сильную мозаичность микробных процессов, которая может быть обусловлена микрорельефом, пятнистым распределением растительных остатков, локальными различиями в увлажнении из-за микронеровностей. В 2026 г. CV снизи-

лись до минимальных значений (2,8-11,1 %), что свидетельствует о выравнивании условий и более гомогенном распределении микробной активности по площади. Вероятно, повышенное увлажнение нивелировало микроландшафтные контрасты.

Для оценки гетерогенности в пределах полигона рассчитаны средние значения по отдельным разрезам (рис. 3).

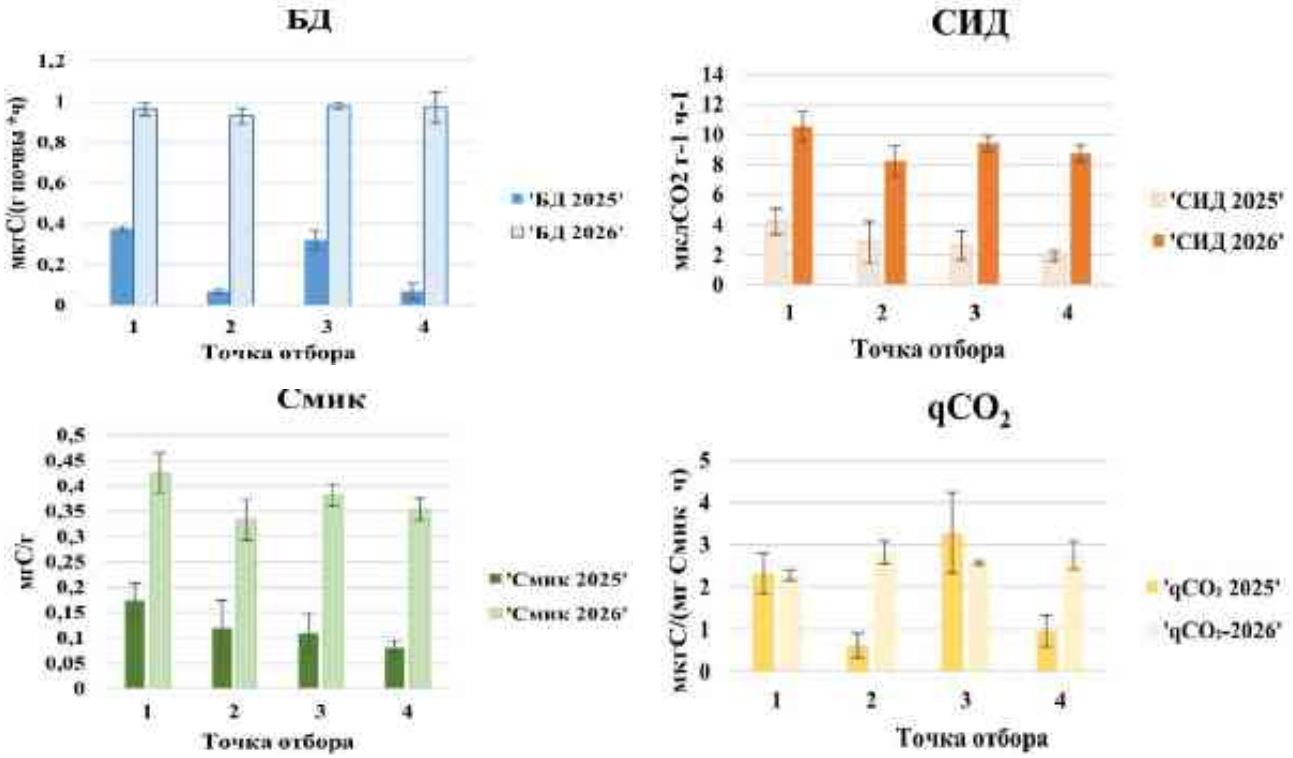

Рис. 3. Микробиологические показатели по разрезам в верхнем слое (0-10 см)

В 2025 г. наблюдался выраженный разброс параметров между различными участками: к примеру, БД находился в диапазоне от 0,068 до 0,373 (пятикратное превышение), а qCO_2 изменялся от 0,624 до 3,288 (увеличение до 4,5 раз). В 2026 г. все исследованные участки показали схожие значения по показателям базального дыхания и метаболического коэффициента. Эта тенденция находит отражение в коэффициентах вариации (см. табл. 1).

Анализ межгодовой динамики в поверхностном горизонте выявил не только количественное увеличение всех измеряемых параметров, но и существенные изменения в его пространственной структуре. Если ранее наблюдалась высокая степень гетерогенности, то к 2026 г. картина стала характеризоваться значительной гомогенностью. Данный факт подчеркивает важность учета климатических факторов при анализе данных почвенного мониторинга.

В 2026 г. параллельно с анализом образцов из поверхностного слоя были также отобраны пробы из глубины 10-20 см. Сравнительные данные микробиологических индикаторов по обоим горизонтам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение микробиологических индикаторов в двух горизонтах в 2026 г.

Показатель	0-10 см	CV_{0-10} (%)	10-20 см	CV_{10-20} (%)
Базальное дыхание БД, мкгС·г$^{-1}$·ч$^{-1}$	0,960 ± 0,025a	2,8	0,275 ± 0,018b	9,5
Субстрат-индуцированное дыхание СИД, мкл CO_2·г$^{-1}$·ч$^{-1}$	9,240 ± 0,263a	11,1	2,437 ± 0,206b	17,5
Содержание микробного углерода $C_{мик}$, мгС·г$^{-1}$	0,374 ± 0,010ab	11,1	0,101 ±0,01b	17,5
Метаболический коэффициент qCO_2, мкгС·(мг $C_{мик}$)$^{-1}$·ч$^{-1}$	2,959 ± 0,248a	8,1	3,056 ± 0,228b	19,5

Примечание. Показатели представлены как средние значения ± ошибка среднего, различные буквы в столбце обозначают статистические различия согласно Tukey HSD Post Hoc тесту при p = 0,001.

Различия для БД, СИД и $C_{мик}$ статистически значимы с явным преобладанием в верхнем слое. Примечательно, что qCO_2 не различается (p = 0,775), т. е. метаболическая эффективность микробного сообщества на глубине 10-20 см такая же, как и на поверхности, несмотря на существенно меньшую биомассу.

Для оценки однородности вертикального градиента в пределах полигона рассчитаны соотношения исследуемых параметров между верхним слоем и слоем 10-20 см. Отношения для БД, СИД и $C_{мик}$ довольно стабильны (находятся в интервале (3,71-4,00) (CV около 9-10 %), что говорит о хорошей воспроизводимости вертикальной стратификации на разных участках. Для qCO_2 среднее значение близко к 1 (0,94), а разброс по разрезам (0,77-1,22) не превышает случайные колебания. Коэффициенты вариации, рассчитанные для каждого слоя, показали, что нижний слой имеет большую неоднородность по сравнению с верхним. Рост CV в нижнем слое можно объяснить меньшей буферностью глубинных горизонтов: микробные сообщества здесь более чувствительны к локальным условиям, таким как наличие корневых каналов, трещин и остаточного органического вещества. Это приводит к «пятнистости» в распределении биомассы и активности.

В 2026 г. при вертикальном распределении замечено закономерное снижение биомассы и дыхания, но метаболическая эффективность остается на прежнем уровне. Это может указывать на адаптацию микробных сообществ к условиям с ограниченными ресурсами. Более изменчивый нижний слой требует особого внимания при создании мониторинговых площадок.

Для выявления степени влияния точек отбора и межгодовой изменчивости был проведен дисперсионный анализ (табл.3).

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа влияния точек отбора (фактор А) и года отбора (фактор В) и их взаимодействия

Показатель	Фактор А		Фактор В		А × В		R^2
	SS	ДВ, %	SS	ДВ, %	SS	ДВ, %	
Базальное дыхание (БД)	0,875*	**19,4**	3,4*	**75,2**	8,717*	**5,4**	**0,903**
Субстрат-индуцированное дыхание СИД	94,18*	**25,0**	241,076*	**63,9**	384,54*	**11,1**	**0,861**
Содержание микробного углерода $C_{мик}$	150990*	**25,0**	386493*	**63,9**	1461599*	**11,1**	**0,861**
Метаболический коэффициент qCO_2	4,416	**18,4**	8,023*	**33,4**	135,95*	**48,2**	**0,723**

**SS – сумма среднеквадратичных отклонений фактора (*достоверно на уровне значимости p = 0,05); ДВ, % – доля влияния фактора (%), при расчете которого измеряли долю данного влияния в общем суммарном статистическом влиянии всех факторов, определяющих развитие результативного показателя в общую дисперсию показателя; R^2 – коэффициент детерминации (квадрат множественного коэффициента корреляции).*

Анализ микробиологических индикаторов при сравнении точек отбора 2025-2026 гг. показал, что модель, в целом, значима для таких показателей как БД (R^2 = 0,816), СИД и $C_{мик}$ (R^2 = 0,742), только метаболический коэффициент близок к неадекватной модели, так как R^2 = 0,542. Для метаболического коэффициента низкий R^2 и пограничная значимость модели указывают на то, что учтенные факторы плохо объясняют изменчивость дыхательной активности – возможно, требуются дополнительные переменные (например, температура, влажность), т. е. не хватает параметров для построения адекватной модели.

По результатам анализа, представленного в табл. 3, можно сделать вывод о превалирующем влиянии года отбора, как фактора. Изменчивость БД в основном определяется годовыми различиями. Точка отбора оказывает меньшее, но достоверное влияние, причем ее эффект не зависит от года (взаимодействие отсутствует). Это означает, что различия между точками стабильны по годам.

При анализе СИД (см. табл. 2) главный источник вариации – год отбора, точка вносит существенный, но меньший вклад. Отсутствие взаимодействия говорит о том, что различия между точками устойчивы во времени.

Для содержания микробной биомассы ($C_{мик}$) год отбора оказывает решающее воздействие на микробную биомассу, точка отбора также значима, но в меньшей степени. Взаимодей-

ствие отсутствует, значит, влияние точки на биомассу одинаково в разные годы. Для qCO_2 ни один из факторов не дает доминирующего вклада, а взаимодействие, хотя и имеет наибольшую долю, статистически не подтверждается. Год оказывает значимое, но умеренное влияние; точка отбора самостоятельного эффекта не оказывает.

Таким образом, можно сделать вывод, что для рассматриваемых микробиологических данных взаимодействие факторов играет меньшую роль (оно статистически не значимо для БД, СИД и $С_{мик}$ – оно значимо только в одном случае (qCO_2). Это может быть связано с различной чувствительностью микробиологических параметров к совместному действию пространственных и временных факторов.

Обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о том, что микробиологические показатели почв прибрежной зоны Цимлянского водохранилища чрезвычайно чувствительны к межгодовым различиям в погодных условиях. В 2026 г., который был более влажным и прохладным, все параметры оказались значительно выше. Это согласуется с известными закономерностями: в аридных экосистемах лимитирующим фактором для микроорганизмов выступает влага, и ее увеличение приводит к резкому изменению микробной активности в сторону увеличения (Голубятников и др., 2023; Сушко и др., 2019). Рост значений наблюдали для показателей БД, СИД и $С_{мик}$. Это означает, что в 2026 г. не только активизировался метаболизм существующих клеток, но и произошло наращивание биомассы за счет размножения. Одновременный рост qCO_2 указывает на то, что эта новая биомасса обладала более высоким удельным дыханием. Возможно, в 2026 г. преобладали быстрорастущие микроорганизмы, характерные для условий с избытком легкоусвояемого субстрата, тогда как в засушливый 2025 г. доминировали филумы с более низкими метаболическими затратами (Чернов, Семенов, 2021).

Снижение коэффициентов вариации в 2026 г. до очень низких значений (2,8-11,1 %) указывает на выравнивание условий на всей территории полигона. В засушливый год микрорельеф и локальные различия в растительности создавали «оазисы» с повышенной влажностью, где микробная активность была выше, и «пустыни» с низкой активностью. При достаточном увлажнении эти контрасты сглаживались, что привело к гомогенизации микробного покрова. Этот эффект ранее не описывался для данного региона и представляет научный интерес.

Закономерное снижение БД, СИД и $С_{мик}$ с глубиной в 3,5-3,8 раз является типичным для большинства почв и объясняется уменьшением содержания органического вещества, корневых выделений и доступного кислорода (Семенов и др., 2023; Шепелев и Евграфова, 2026). Однако неизменность qCO_2 по профилю означает, что микроорганизмы в глубинном слое, несмотря на скудные ресурсы, поддерживают такую же эффективность использования углерода, как и в поверхностном. Это могло быть достигнуто за счет снижения скорости роста, но при сохранении той же доли дыхания на поддержание клеточных структур. Таким образом, для микробных сообществ, обитающих на большей глубине, типично состояние анабиоза или персистенции, при котором метаболические процессы протекают с минимальной, но стабильной интенсивностью. Полученные результаты совпадают с данными Рогожиной (2024) для урболандшафтов, где qCO_2 также оставался постоянным при снижении биомассы с глубиной.

Более высокие CV в нижнем слое (см. табл. 2) указывают на то, что глубокая почва более гетерогенна в микробиологическом отношении. Это может быть связано с неравномерным распределением корневых ходов, микротрещин и локальных скоплений органического вещества, которое попадает вниз по профилю через биопоры (Медведева и др., 2024). Для мониторинга это означает, что для достоверной характеристики глубинного горизонта необходимо закладывать больше повторностей.

Сравнение с многолетними данными Кургановой и др. (2020) показывает, что межгодовая изменчивость БД в нашем случае превышает таковую в лесных экосистемах. Это подтверждает, что аридные экосистемы более подвержены климатическим флуктуациям и требуют более частого мониторинга.

Заключение. Проведенное исследование позволило получить новые данные о микробиологической активности сухих степных почв в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища.

Межгодовая динамика в этом районе характеризуется значительным ростом всех микробиологических показателей в 2026 г. по сравнению с 2025 г.: БД – в 4,6 раза, СИД – в 3,2 раза, $С_{мик}$ – в 3,1 раза, qCO_2 – в 1,6 раза. Это связано с более благоприятными гидротермическими условиями 2026 г.

В 2026 г. наблюдалось резкое снижение пространственной гетерогенности: коэффициенты вариации для БД и qCO_2 уменьшились с 63-68 до 3-11 %. Это говорит о выравнивании условий при достаточном увлажнении и устранении микрорельефных контрастов.

Вертикальное распределение в этом году показало закономерное снижение БД, СИД и $C_{мик}$ в слое 10-20 см по сравнению с 0-10 см в 3,5-3,8 раза. При этом qCO_2 не изменялся по глубине, что указывает на схожую метаболическую эффективность микробных сообществ на разных горизонтах. В нижнем слое наблюдается большая вариабельность (CV до 19,5 %), что требует особого внимания при планировании отбора проб.

Эти данные подчеркивают важность систематического мониторинга микробиологических параметров в зоне сухих степей, учитывая как межгодовые климатические колебания, так и неоднородность профиля. Для комплексной оценки биологического состояния почв рекомендуется использовать набор показателей: БД, СИД, $C_{мик}$ и qCO_2.

Проведенная работа закладывает основу для долгосрочного мониторинга влияния Цимлянского водохранилища на прилегающие почвенные экосистемы. Результаты исследования могут быть использованы при разработке адаптивных стратегий управления земельными ресурсами в условиях меняющегося климата.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Гавриленко Е. Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания. Почвоведение. 2011;11: 1327-1333. [Anan'eva N. D., Sus'yan E. A., Gavrilenko E. G. Osobennosti opredeleniya ugleroda mikrobnoj biomassy pochvy metodom substrat-indutsirovannogo dykhaniya. Pochvovedenie. 2011;11: 1327-1333].

Голубятников Л. Л., Курганова И. Н., Де Гереню В. О. Л. Оценка баланса углерода степных экосистем России. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2023. Т. 59. № 1. С. 71-87. [Golubyatnikov L. L, Kurganova I. N., Lopes de Gereny V. O. Estimation of Carbon Balance in Steppe Ecosystems of Russia. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2023;59(1):71-87] doi https://doi.org/10.31857/S0002351523010042.

Гржибовский А. М. Доверительные интервалы для частот и долей. Экология человека. 2008. № 5. С. 57-60. [Grzhibovskij A. M. Doveritel'nye intervaly dlya chastot i dolej. Ekologiya cheloveka. 2008. № 5. S. 57-60].

Курганова И. Н., Лопес де Геренью В. О., Хорошаев Д. А., Мякшина Т. Н., Сапронов Д. В., Жмурин В. А., Кудеяров В. Н. Анализ многолетней динамики почвенного дыхания в лесных и луговых ценозах Приокско-Террасного биосферного заповедника в перспективе современных климатических тенденций. Евразийские науки о почвах. 2020. Т. 53. № 10. С. 1421–1436. [Kurganova I. N., Lopes de Gereny V. O., Khoroshaev D. A., Myakshina T. N., Sapronov D. V., Zhmurin V. A., Kudeyarov V. N. Analysis of the long-term dynamics of soil respiration in forest and meadow cenoses of the Prioksko-Terrasny biosphere reserve in the perspective of current climatic trends. Eurasian Soil Science. 2020;53(10):1421-1436] doi https://doi.org/10.1134/S1064229320100117.

Медведева М. В., Никитин Д. А., Семенов М. В., Ахметова Г. В. Углерод микробной биомассы альфегумусовых почв северо-запада России. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2024. № 121. С. 111-151 [Medvedeva M. V., Nikitin D. A., Semenov M. V., Akhmetova G. V. Carbon of microbial biomass in Al-Fe-humus soils of the northwestern Russia. Dokuchaev Soil Bulletin. 2024;(121):111-151]. doi https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-121-111-151.

Никитин Д. А., Семенов М. В., Чернов Т. И., Ксенофонтова Н. А., Железова А. Д., Иванова Е. А., Хитров Н. Б., Степанов А. Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор). Почвоведение. 2022;2: 228-243. doi https://doi.org/10.5965/23811711532016266 [Nikitin D. A., Semenov M. V., Chernov T. I., Ksenofontova N. A., Zhelezova A. D., Ivanova E. A., Khitrov N. B., Stepanov A. L. Microbiological Indicators of Ecological Functions of Soils. Pochvovedenie. 2022;2: 228-243.doi https://doi.org/10.5965/23811711532016266].

Приходько В. Е., Сиземская М. Л. Базальное дыхание и состав микробной биомассы целинных, агро- и лесомелиорированных полупустынных почв Северного Прикаспия. Почвове-

дение. 2015, 8:974. [Prikhodko V. E., Sizemskaya M. L. Basal respiration and the composition of microbial biomass of virgin, agro- and forest-reclaimed semi-desert soils of the Northern Caspian Sea. Soil science. 2015;8:974] doi https://doi.org/10.7868/S0032180X15080043.

Рогожина Е. В. Микробная биомасса, базальное дыхание и метаболический коэффициент в почвах урболандшафтов как индикаторы антропогенного воздействия (на примере г. Сочи). Известия Субтропического научного центра РАН. 2024. 4-1:158–169 [Rogozhina E. V. Microbial biomass, basal respiration and metabolic coefficient in soils of urban landscapes as indicators of anthropogenic impact (on the example of Sochi). Proceedings of the Subtropical Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2024;4-1:158-169.

Семенов М. В., Ксенофонтова Н. А., Никитин Д. А., Тхакахова А. К., Лукин С. М. Микробиологические показатели дерново-подзолистой почвы и ее ризосферы в полувековом полевом опыте с применением разных систем удобрения. Почвоведение. 2023;6: 715-729. doi https://doi.org/10.31857/S0032180X22601220 [Semenov M. V., Ksenofontova N. A., Nikitin D. A., Tkhakakhova A. K., Lukin S. M. Microbiological Parameters of Sod-Podzolic Soil and Rhizosphere in a Half-Century Field Experiment with Different Fertilizer Systems. Pochvovedenie. 2023;6: 715-729. doi https://doi.org/10.31857/S0032180X22601220]

Сушко С. В., Ананьева Н. Д., Иващенко К. В., Кудеяров В. Н. Эмиссия CO_2, микробная биомасса и базальное дыхание чернозема при различном землепользовании. Почвоведение. 2019;9: 1081-1091. doi https://doi.org/10.1134/S0032180X19090090 [Sushko S. V., Ananyeva N. D., Ivashchenko K. V., Kudeyarov V. N. Soil CO_2 Emission, Microbial Biomass, and Basal Respiration of Chernozems under Different Land Uses. Pochvovedenie. 2019;9: 1081-1091.doi https://doi.org/10.1134/S0032180X19090090].

Темботов Р. Х. Респираторная активность микробной биомассы в основных типах горных почв вдоль высотного градиента Центрального Кавказа. Почвоведение.2024. 10. 1400-1413. [R. Kh. Tembotov. Respiration activity microbial biomass in the main types of mountain soils along the elevation gradient of the Central Caucasus. Eurasian Soil Science. 2024; 10:1400-1413] doi https://doi.org/10.31857/S0032180X24100093

Терехова В. А., Кулачкова С. А., Морачевская Е. В., Кирюшина А. П. Методология биодиагностики почв и особенности некоторых методов биоиндикации и биотестирования (обзор). Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2023. № 2. С. 35-45.

Федотова А. В., Тимофеев Е. П., Зотов Е. С. Оценка содержания углерода микробной биомассы в почвах тестового полигона «Ачикулак» Маныч-Донской провинции сухостепной зоны. Научно-агрономический журнал. 2025;3(130):8-16. [Fedotova A. V., Timofeev E. P., Zotov E. S. Assessment of the content of microbial biomass carbon in the soils of the Achikulak test site in the Manych-Don province of the dry steppe zone. Scientific Agronomy Journal. 2025;3(130):08-16] doi https://doi.org/10.34736/FNC.2025.130.3.001.08-16.

Федотова А. В., Тимофеев Е. П. Оценка физического состояния почв северо-восточных прибрежных экосистем Цимлянского водохранилища в Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2026;2(133): 8-15. doi https://doi.org/10.34736/FNC.2026.133.2.001.08-15 [Fedotova A. V., Timofeev E. P. Assessment of the physical condition of soils in the north-eastern coastal ecosystems of the Tsimlyansk Reservoir in the Volgograd Region. Scientific and agronomic Journal. 2026;2(133): 8-15. doi https://doi.org/10.34736/FNC.2026.133.2.001.08-15].

Чернов Т. И., Семенов М. В. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор). Почвоведение. 2021;12:1506-1522. [Chernov T. I., Semenov M. V. Management of Soil Microbial Communities: Opportunities and Prospects (a Review) Eurasian Soil Science. 2021;12:1506-1522] https://doi.org/ 10.31857/S0032180X21120029.

Шепелев А. Г., Евграфова С. Ю. Гетеротрофная активность почвенной биоты в стратифицированных слоях вечной мерзлоты, Лено-Амгинское междуречье. Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2026. № 31(1). С. 70-79 [Shepelev A. G., Evgrafova S. Yu. Heterotrophic activity of soil biotain stratified permafrost layers, Lena-Amgainterfluve. Arctic and Subarctic Natural Resources.2026;31(1):70-79] https://doi.org/10.31242/2618-9712-2026-31-1-70-79.

Ananyeva N. D., Rogovaya S. V., Ivashchenko K. V., Vasenev V. I., Sarzhanov D. A., Ryzhkov O. V., Kudeyarov V. N. Carbon dioxide emission and soil microbial respiration activity of Chernozems under anthropogenic transformation of terrestrial ecosystems. Eurasian Journal of Soil Science. 2016;5(2):

146-154. doi https://doi.org/10.18393/ejss.2016.2.146-154.

Szili-Kovács T., Takács T. Microbial Biomass and Rhizosphere Soil Properties in Response to Heavy Metal-Contaminated Flooding. Agriculture. 2024;14: 756. doi https://doi.org/10.3390/agriculture14050756.

Mukvich E. S., Ivashchenko K. V. How Do the Conditions and Duration of Soil Samples Storage Affect Microbial Biomass and Respiration Assessment? Eurasian Soil Sciences. 2026;59: 110. doi https://doi.org/10.1134/S1064229326600892.

Peddle S. D., Hodgson R. J., Borrett R. J., Brachmann S., Davies T. C., Erickson T. E., Breed M. F. Practical applications of soil microbiota to improve ecosystem restoration: current knowledge and future directions. Biological Reviews. 2025;100(1): 1-18. doi https://doi.org/10.1111/brv.13124.

Информация об авторах

Архипов Александр Евгеньевич, лаборант-исследователь, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» ФНЦ агроэкологии РАН, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97, Россия, e-mail: arkhipov-a@vfanc.ru, ORCID: 0009-0002-4381-8446.

Могилевская Ирина Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лаборатории, ведущий научный сотрудник, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» ФНЦ агроэкологии РАН, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97, Россия, e-mail: mogilevskaya-i@vfanc.ru, ORCID 0000-0001-8421-4767.

Федотова Анна Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» ФНЦ агроэкологии РАН, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97, Россия, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru, ORCID 0000-0003-0241-179.

Information about the authors

Arkhipov Alexander Evgenievich, Laboratory Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russia, e-mail: arkhipov-a@vfanc.ru, ORCID 0009-0002-4381-8446.

Mogilevskaya Irina Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russia, e-mail: mogilevskaya-i@vfanc.ru, ORCID 0000-0001-8421-4767.

Fedotova Anna Vladislavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russia, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru, ORCID 0000-0003-0241-1797.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 631.452 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.003.34-46

Влияние адаптивных технологий на содержание подвижных соединений калия в условиях степной зоны Республики Крым

Илюшкина О. В.✉
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь, Россия

Аннотация. В данной статье рассматривается актуальность исследования, связанного с оптимизацией агротехнологий в степной зоне Республики Крым, где рациональное использование плодородных земель имеет особое значение. В условиях современного сельского хозяйства, где требуется не только высокая урожайность, но и устойчивость к климатическим изменениям, исследование методов управления почвенными ресурсами становится особенно важным. Целью исследования является сравнительный анализ традиционной системы земледелия и системы прямого посева по содержанию калия (K_2O) и метеорологическим условиям на черноземе южном в условиях степной зоны Крыма. В рамках исследования была разработана методология, включающая стационарный эксперимент, проведенный в селе Клепинино с 2015 г. В ходе эксперимента осуществлялся анализ почвенных образцов и метеорологических данных за 2017-2025 гг., что позволило получить достоверные результаты о влиянии различных агротехнологий на содержание калия в почве. Результаты показывают устойчивое увеличение содержания K_2O в почве по обеим технологиям. Традиционная технология обеспечивает более высокие показатели (485,9 мг/кг) по сравнению с технологией прямого посева (410,7 мг/кг). Однако последняя демонстрирует значительное увеличение содержания калия в нижних слоях почвы, что указывает на ее эффективность в долгосрочной перспективе. Это может быть связано с тем, что система прямого посева способствует лучшему сохранению влаги и улучшению структуры почвы. Выводы исследования подчеркивают, что обе технологии способны поддерживать или увеличивать содержание калия в почве, несмотря на засушливые периоды и повышенные температуры. Это свидетельствует о достаточной устойчивости калийного потенциала черноземов южных и эффективности применяемых агротехнических приемов. Данные результаты могут быть полезны для разработки стратегий управления почвенными ресурсами и оптимизации агротехнических мероприятий с целью повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур, что, в свою очередь, способствует устойчивому земледелию в регионе.

Ключевые слова. Чернозем южный, почва, прямой посев, традиционная технология, плодородие, степь.

Финансирование. Работа выполнена без внешнего финансирования.

Цитирование. Илюшкина О. В. Влияние адаптивных технологий на содержание подвижных соединений калия в условиях степной зоны Республики Крым // Научно-агрономический журнал. 2026; 3(134):27-35. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.003.34-46.

Поступила в редакцию: 03.07.2026 Принята к печати: 20.08.2026

UDC 631.452 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.003.34-46

Effects of adaptive farming practices on plant-available potassium in the steppe zone of the Republic of Crimea

Ilyushkina O. V.✉
Federal State Budget Scientific Institution "Research Institute of Agriculture of Crimea",
Simferopol, Russia

✉ – Для контактов/Corresponding author

Abstract. Optimizing farming practices in the steppe zone of the Republic of Crimea is essential for the sustainable use of fertile soils under increasing climatic stress. This study compared a conventional tillage system with a no-till system in terms of plant-available potassium, expressed as K_2O, in southern chernozem and evaluated the influence of meteorological conditions during the study period. A long-term field experiment was established near Klepinino in 2015. Soil samples and meteorological records for 2017-2025 were analyzed to assess changes in soil K_2O under the two systems. Plant-available potassium increased steadily under both systems. The conventional system had a higher mean concentration in the 0-30 cm soil layer (485.9 mg kg^{-1} as K_2O) than the no-till system (410.7 mg kg^{-1}). However, under no-till, available potassium increased substantially in deeper soil layers, suggesting a favorable long-term redistribution of potassium. This pattern may be associated with improved soil moisture conservation and soil structure under no-till. Both systems maintained or increased plant-available potassium despite periods of drought and elevated temperatures, indicating that southern chernozem has a relatively resilient potassium supply. The findings can inform soil-resource management and the optimization of farming practices aimed at maintaining soil fertility and crop productivity, thereby supporting sustainable agriculture in the region.

Keywords. southern chernozem; soil; no-till; conventional tillage; soil fertility; steppe zone.

For citation. Ilyushkina O.V. Effects of adaptive farming practices on plant-available potassium in the steppe zone of the Republic of Crimea // Scientific Agronomy Journal. 2026; 3(134):27-35. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.003.34-46.

Funding. This work was carried out without external financing.

Received: 03.07.2026 Accepted: 20.08.2026

Введение. Агропромышленная отрасль в современных условиях существенно отличается от других производств по сложностям особенностей и условий получения различного по характеру и свойствам продукции. Ежегодно необходимо производить свежую продукцию, чтобы обеспечить человека жизненно важной энергией (Адамень и др. 2015). Непрерывный прирост населения, помимо постоянного получения товаров продовольственного назначения, требует увеличения объемов производства. Весомое значение в агропромышленной отрасли занимает земледелие, которое объединяет в себе целые звенья различных отраслей, но главная ее особенность – это обработка почвы с целью воспроизводства растениеводческой продукции, необходимой для обеспечения населения продуктами питания, животноводства – кормами, некоторых отраслей промышленности – сырьем (Характеристика климатических условий на территории Крыма и адаптации к их изменениям, 2023). Правильный подбор организационных, технических и агротехнических методов представляет собой совокупность целенаправленных приемов, обеспечивающих повышение урожайности и поддержание оптимального уровня плодородия почвы.

В настоящее время одним из приоритетных направлений сельского хозяйства является обеспечение высоких урожаев сельскохозяйственной продукции путем внедрения инновационных технологий обработки почвы и внесения удобрений (Хитров и др., 2023). Особое значение приобретают адаптивные технологии, позволяющие поддерживать оптимальное состояние почвенного покрова. Однако эффективность данных подходов зависит от множества факторов, включая специфику типа почвы и условия конкретного региона (Фарходов и др., 2025).

В последние десятилетия широкое распространение получила технология прямого посева. Она стала альтернативой классическим методам обработки почвы, так как позволяет снизить эрозию и повысить плодородие. Технология прямого посева активно внедряется во всем мире что составляет около 9,0 % (или 125,0 млн га) от общей площади пахотных угодий (Blanco-Canqi and Ruis, 2018). Наибольшие площади заняты в Северной и Южной Америке: в США, Бразилии, Аргентине и Канаде – от 13,4 до 26,6 млн га (Derpsch et al., 2014). В Азии лидером является Китай – 1,33 млн га, а в СНГ – Казахстан (1,2 млн га) (Blanco-Canqi and Ruis, 2018). В России под технологией прямого посева занято примерно 2,0 млн га земли или около 1,0 % (Белобров, Шаповалов, 2023; Белобров, Дридигер, 2024).

Международная практика базируется на рекомендациях FAO. Они предусматривают три ключевых принципа: исключение механической обработки почвы, сохранение растительных

остатков на поверхности и соблюдение севооборотов (AAPRESID, 2008). Соблюдение этих принципов формирует мульчирующий слой. Он предотвращает эрозию, регулирует температурный режим и влажность почвы и служит средой обитания для почвенной мезофауны (червей, грибов, бактерий) (Дридигер, 2020; Белобров, Шаповалов, 2023).

Важными показателями плодородия почв являются содержание в ней органического вещества, наличие влаги, оптимальной аэрации внутрипочвенных слоев, в т. ч. и содержание минеральных источников питания растений. Поэтому в процессе воспроизводства плодородия почвы необходимо, с одной стороны, постоянно пополнять органическую часть почвы, а с другой, для высвобождения элементов питания – разрушать органическое вещество (Семенов и др., 2025). При этом органическое вещество может накапливаться или в почвенной массе (пожнивные остатки) или на поверхности почвы (солома, мякина, травяные остатки) (Николаев и др., 2006).

При построении системы обработки почв учитывают особенности агроландшафта, низкую энергоемкость и возможность обеспечения нормального функционирования агроэкосистемы. Эффективность обработки возрастает при учете типа почвы, рельефа, климатических условий и вида севооборота (Лопатовская и др., 2018).

В связи с этим актуальность проводимых исследований связана с необходимостью оптимизации агротехнологий в условиях степной зоны Республики Крым, где особое значение приобретает рациональное использование плодородных земель (Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2024 году, 2024).

Целью исследования является в сравнение традиционной системы земледелия с системой прямого посева по содержанию калия и метеорологическим условиям степной зоны Крыма на почве чернозем южный (Илюшкина и др., 2025).

Задачи исследования включают изучение влияния адаптивных технологий на содержание подвижных соединений калия, а также выявление наиболее эффективных способов управления качеством почвы в условиях Республики Крым.

Решение поставленных задач позволит создать научные основы для совершенствования технологий возделывания сельскохозяйственных культур в системе пятипольного севооборота и обеспечит основу для дальнейшего развития устойчивого сельского хозяйства региона.

Материалы и методы. Схема и методика закладки опыта. Стационарный опыт расположен в с. Клепинино Красногвардейского р-на Республики Крым (45°31'47.3"с.ш.; 34°11'48.0" в.д.), год начала закладки севооборота 2015 (Илюшкина и др., 2025).

Схема опыта:

вариант I – традиционная технология (ТТ) научно-рекомендуемая в условиях Республики Крым, предполагает закладку севооборота по следующей схеме: пар чистый – озимая пшеница – лен масличный – озимый ячмень – сорго;

вариант II – технология прямого посева (ПП), закладка севооборота осуществлялась по схеме: горох – озимая пшеница – лен масличный – озимый ячмень – сорго.

Закладка эксперимента состояла из 60 делянок размером 150 м^2 каждая, а учетная площадь составила 50 м^2. Стационарный опыт заложен в трехкратной повторности.

Почвенный покров. Почвенно-климатическая зона – степь южная. В пониженной и засушливой частях распространены черноземы южные (Calcic chernozems), почвообразующей породой которых являются желто-бурые лёссовидные легкие глины. Структура почвы на пашне характеризуется как глыбисто-пылеватая порошистая. Мощность гумусового слоя (А) в среднем составляет около 40 см, цвет почвы серый с темно-бурым оттенком (Половицкий и др., 1984). По содержанию гумуса почвы относятся к слабогумусированным (менее 4,0 %) (Драган, 2004).

Почва опытного участка представлена черноземом южным мицелярно-карбонатным слабогумусированным легкоглинистым. Почвенные образцы, отобранные с опытного участка, в среднем по опыту характеризуются низким содержанием таких элементов питания как нитратный азот в слое 0-30 см, содержание составляет 5,6 мг/кг, что относится к градации низкого значения, подвижных соединений фосфора низкое – 19,7 мг/кг, содержание органического вещества низкое – 2,6 %, а содержание K_2O – 343 мг/кг, что относится к среднему значению, реакция почвенного раствора на уровне 7,0-7,1.

Определение в почве реакции почвенного раствора в водной вытяжке осуществлялось согласно ГОСТ 26423-85, подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91. Все анализы проводились в лаборатории агрохимических

исследований ФГБУН «НИИСХ Крыма». Результаты полученных анализов использовались для разработки системы применения удобрений в севообороте.

По традиционной технологии в чистый пар вносились органические удобрения в виде полуперепревшего навоза из расчета 30 т/га, при посеве культур аммофос в дозе 60 кг д.в./га, весной под озимые дополнительная подкормка аммиачной селитрой из расчета 30 т.д.в./га. По технологии прямого посева в виду отсутствия чистых паров (поле занято горохом) органические удобрений не применяли, минеральные удобрения вносились сеялкой ДОН-114, как при посеве, так и весной в подкормку.

Метеорологические условия. Данные характеризующие погодные условия местности, где располагаются опытные участки, представлены, согласно отчетам метеорологической станции, расположенной в селе Клепинино Республики Крым (Характеристика климатических условий на территории Крыма и адаптации к их изменениям, 2023).

Климат зоны засушливый, гидротермический коэффициент по 0,7 и ниже. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,5 °С (или в среднем 10,3), а среднегодовое количество осадков около 428 мм. Сумма эффективных температур выше +10 °С до 3500°. На рис. 1 представлены данные изменения метеоусловий по годам исследований (2017-2025 гг.) (Николаев и др., 2006).

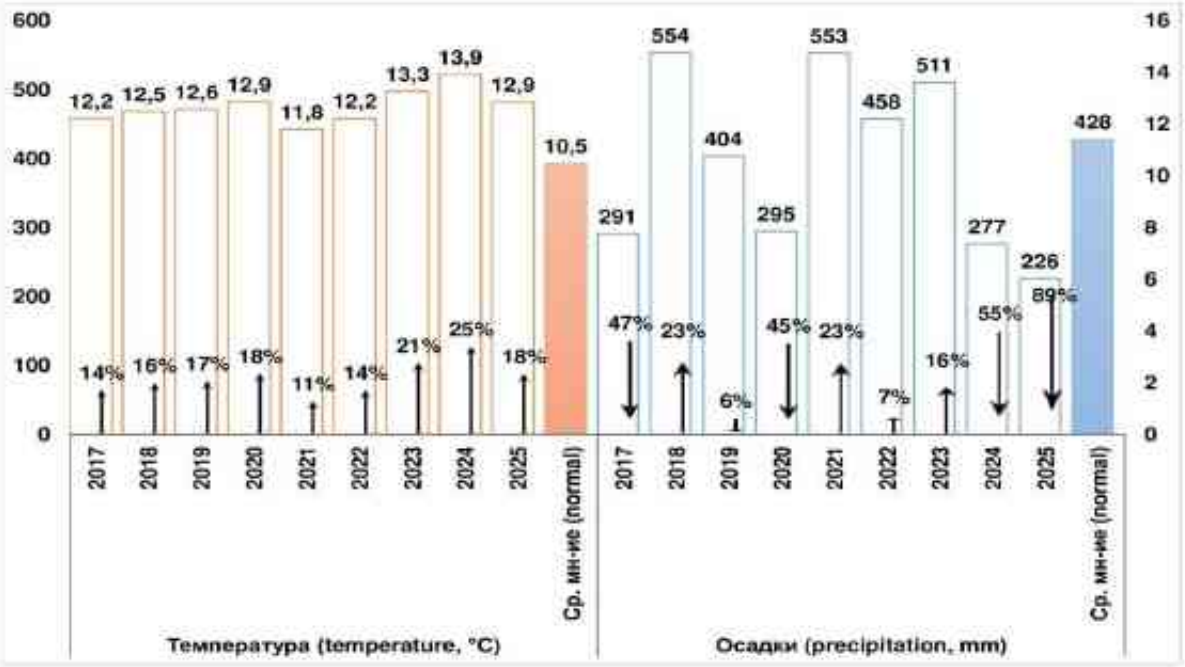

Рис. 1. Динамика отклонения среднегодовой температуры воздуха (°С) и суммы выпавших за год осадков (мм) от среднемноголетних показателей, за 2017-2025 гг.

В ходе исследований проводился ежегодный учет погодных условий, который показал, что среднегодовая температура воздуха находилась в диапазоне от 11,8 °С (2021 г.) до 13,9 °С (2024 г.), что на 11 и 25 % выше среднемноголетних показателей – 10,5 °С. За анализируемые 9 лет в 2017, 2020, 2024 и 2025 гг. в сумме наблюдались засушливые годы с выпадением осадков ниже среднемноголетнего значения на 47-89 %.

Метеорологические данные за период с января по декабрь показывают, что осадки увеличиваются с весны до середины лета, достигая максимума в июне и июле, а затем постепенно снижаются к концу года. Температура также постепенно повышается с весны до середины лета, достигая максимума в июле и августе, после чего наблюдается постепенное снижение к концу года (рис. 2).

В марте – апреле выпадает от 8,3 до 9,2 мм осадков при температуре 2,4 и 8,3 °С. В мае – июне осадки возрастают до 15,8-19,1 мм, но при этом температура воздуха возрастает до 15,1 и 24,6 °С. В июле – августе осадки достигают 20,6-23,1 мм, температура держится на уровне 25,8°С. В сентябре – октябре осадки составляют 23,2-21,3 мм, температура падает до 21,3 и 16,2 °С. В ноябре – декабре осадки снижаются до 16,2-10,6 мм, температура опускается ниже +10,6 °С.

Рис. 2. Метеорологические условия распределения погодных явлений по месяцам, среднемноголетние данные за 2017-2025 гг.

Методы анализа данных. С целью отображения взаимодействия между содержанием в почве чернозем южный K_2O (зависимая переменная) и такими факторами как температура среднегодовая, сумма осадков за год, мм, содержание органического вещества ($C_{орг.}$) построена математическая модель, отображающая динамику содержания K_2O, в почве под влиянием двух систем агротехнологий: прямой посев и традиционная технология (для сравнения). Модель построена при помощи статистической обработки данных в программе Microsoft Excel и специализированной программы StatSoft STATISTICA 10.0.1011 (Доспехов, 1985, Шеуджен, 2015, Галеев, 2016).

Результаты. На начало первой ротации севооборота содержание обменного калия по обоим технологиям было одинаковым (таблица). В 2017 г. благодаря внесению органических удобрений по традиционной технологии во всех почвенных слоях наблюдается увеличение содержания обменного калия. По всем технологиям отмечается положительная динамика содержания K_2O в почве. При традиционной технологии в слое 0-10 см наблюдается незначительное снижение содержания обменного калия, однако данный показатель остается на высоком уровне.

Технология прямого посева показывает стабильное увеличение прибавки за первую и вторую ротации севооборота. Так в 2017 г. K_2O содержалось в слое 0-10 см – 490,0 мг/кг, в слое 10-20 см – 349,0 мг/кг, а в слое 20-30 см – 236,0 мг/кг, в среднем за первую ротацию содержание K_2O увеличилось по слоям на 56,1, 28,2 и 57,9 мг/кг соответственно. Положительное увеличение содержания K_2O наблюдается по сравнению с исходным 2017 г. к концу четвертого года второй ротации севооборота (2022-2025 гг.), значительная прибавка наблюдается в нижних слоях 10-20 и 20-30 см. Это может свидетельствовать о высокой эффективности технологии, в результате чего культуры в достаточной степени обеспечены элементом питания.

Традиционная технология показывает положительную прибавку K_2O, однако в первую ротацию в слое 0-10 см прибавки не наблюдалось, его содержание уменьшилось на 8,4 мг/кг, а в слоях 10-20 и 20-30 см увеличилось на 28,5 и 11,6 мг/кг, к концу второй ротации наблюдается существенная динамика увеличения K_2O во всех исследуемых слоях.

Наименьшая существенная разность показывает, что абсолютная разница содержания K_2O в почве в двух ротациях значительно превышает $НСР_{05}$ и показывает статистически значимые различия между традиционной технологией и технологией прямого посева. Это означает, что разница в содержании K_2O между этими технологиями не может быть объяснена случайными колебаниями и является результатом влияния технологии обработки почвы. На рис. 3 представлена кривая нормального распределения показаний, отражающих содержание K_2O в варианте по технологии прямого посева.

График показывает, что содержание калия в почве варьируется в зависимости от глубины взятия почвенного образца. Основные характеристики графика: ось X представляют глубину в сан-

Таблица

Влияние технологии на содержание K_2O, в почве чернозем южный (Calcic chernozems), согласно ротациям

Технология	Слой почвы, см	2017 (исходный показатель)	2017-2021 гг. (первая ротация)			2022-2025 гг. (вторая ротация)		
			содержание, мг/кг	по отношению к 2017 г., +/-		содержание, мг/кг	по отношению к 2017 г., +/-	
				прибавка	стандартное отклонение		прибавка	стандартное отклонение
Прямой посев	0-10	490,00	516,1	56,1	39,7	559,1	99,1	70,0
	10-20	349,00	377,2	28,2	19,9	470,1	121,1	85,7
	20-30	236,00	293,9	57,9	40,9	435,3	199,3	140,9
	0-30	358,30	395,7	47,4	33,5	488,2	139,8	98,9
Традиционная технология (контроль)	0-10	591,00	582,7	–8,4	5,9	672,4	81,4	57,6
	10-20	394,00	422,5	28,5	20,2	574,7	180,7	127,8
	20-30	320,00	331,6	11,6	8,2	484,8	164,8	116,5
	0-30	435,00	445,6	10,6	7,5	577,3	142,3	100,6
Отклонение от контроля, +/-	0-10	–131,00	–66,6	–64,5	45,6	–113,4	–17,6	12,5
	10-20	–45,00	–45,3	0,3	0,2	–104,6	59,6	42,1
	20-30	–84,00	–37,7	–46,3	32,7	–49,5	–34,5	24,4
	0-30	–86,70	–49,9	–36,8	26,0	–89,1	2,5	1,7
$НСР_{0,05}$	0-10	20,74	16,5	16,0	-	28,2	4,4	-
	10-20	71,05	11,3	0,1	-	26,0	14,8	-
	20-30	28,83	9,4	11,5	-	12,3	8,6	-
	0-30	26,34	12,4	9,1	-	22,1	0,6	-

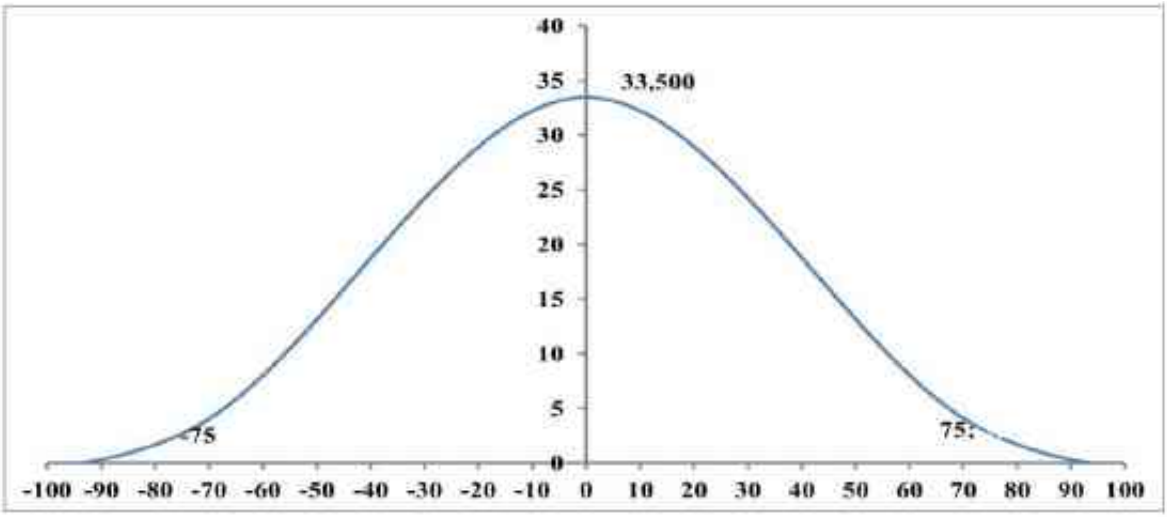

Рис. 3. Распределение содержания K_2O в почвенном слое 0-30 см, по технологии прямого посева, 2017-2021 гг.. Показатель асимметрии (Skewness) = 0,12, эксцесс (Kurtosis) = 2,85. Коэффициент вариации (CV) = 12,3 %. Границы доверительного интервала (CI 95 %) – от 300 до 370 мг/кг

тиметрах, от 0 до 100 см. Ось Y показывает стандартное отклонение содержания калия (K_2O) в почве, в диапазоне от 0 до 40. Максимальная точка содержания калия (± 33,5) наблюдается на глубине 0-30 см, а его показатели уменьшаются по мере увеличения глубины, как в положительном, так и в отрицательном направлении. Таким образом, технология прямого посева позволяет поддерживать высокое содержание калия в верхнем, корнеобитаемом слое почвы, что важно для роста растений.

На представленном графике (рис. 4) изображена кривая распределения содержания калия (K_2O) в почвенном слое 0-30 см, полученная по традиционной технологии.

Ось абсцисс (X) отражает глубину в сантиметрах, варьирующуюся от 0 до 100 см, а ось ординат (Y) показывает стандартное отклонение содержания калия в диапазоне от 0 до 8 мг/кг почвы.

Стандартное отклонение содержания калия (7,5 мг/кг почвы) наблюдается на глубине 0-30 см и характеризует среднеарифметическую величину. По мере увеличения глубины, как в

положительном, так и в отрицательном направлении, содержание калия постепенно снижается, достигая минимальных значений на краях исследуемого диапазона.

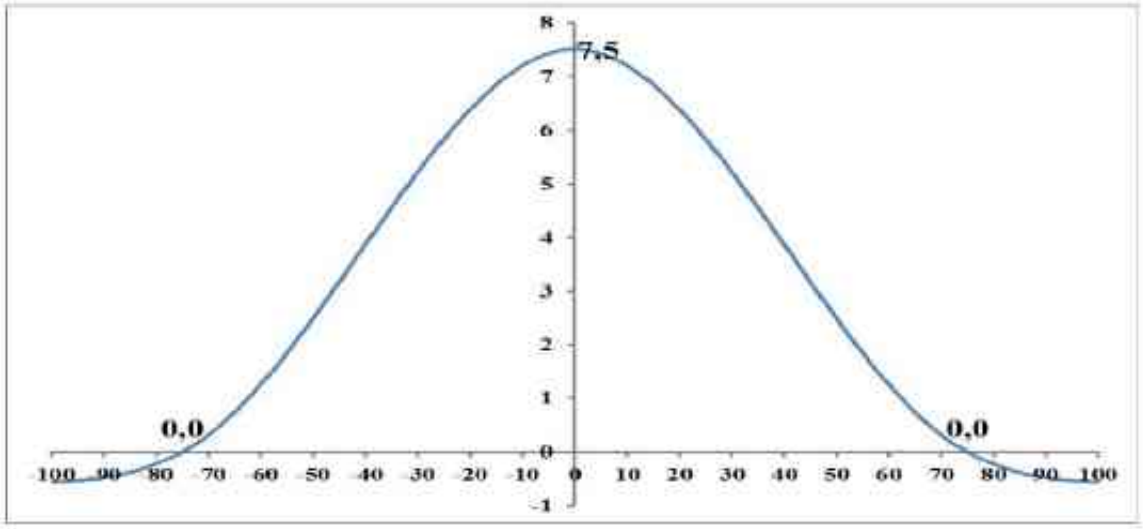

Рис. 4. Распределение содержания K_2O в почвенном слое 0-30 см, по традиционной технологии, 2017-2021 гг. Данные соответствуют нормальному закону распределения (Gaussian distribution). Параметры распределения: M = 385 мг/кг, SD = 25 мг/кг. Критерий Колмогорова-Смирнова (KS test): p-value = 0,98 – распределение близко к нормальному

Данный график наглядно демонстрирует, что традиционная технология обработки почвы способствует поддержанию высокого уровня содержания калия в верхнем слое, что является критически важным фактором для обеспечения оптимального роста и развития растений.

На рис. 5 представлена диаграмма рассеяния, которая используется для визуализации взаимосвязи между двумя переменными. В данном случае по оси X (горизонтальной) расположены значения, которые варьируются от «низкого» до «высокого» содержания, а по оси Y (вертикальной) – от «повышенного» до «среднего» содержания. Точки на диаграмме обозначены числовыми значениями, которые, представляют собой данные содержания K_2O в почве. Диаграмма рассеяния помогает выявить корреляцию между переменными и использоваться для составления модели визуализации данных по градациям, при анализе основных показателей почвенного плодородия (Иванов и др., 2021).

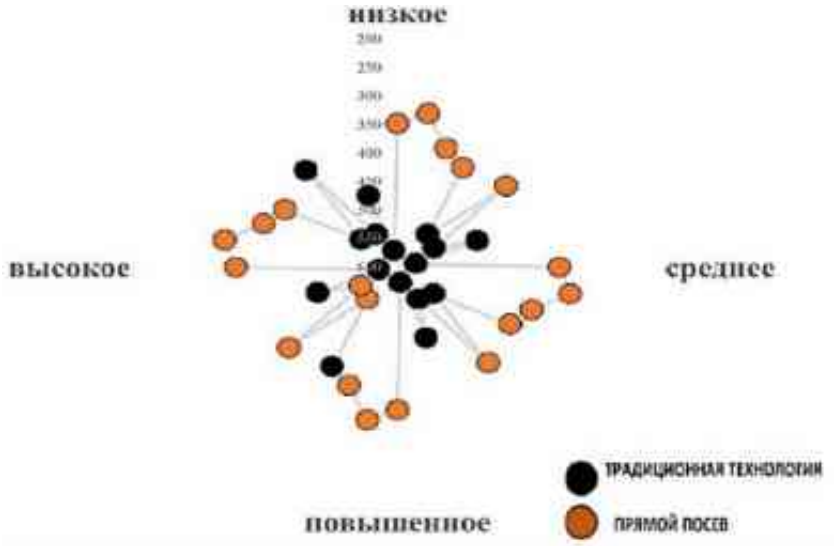

Рис. 5. Распределение значений содержания K_2O согласно градации по методу Мачигина, слой 0-30 см. Диаграмма демонстрирует сегрегацию почвенных проб по категориям доступности калия. Применение традиционного земледелия (TT) формирует плотный кластер в градации «Повышенное» (300-400 мг/кг), тогда как прямой посев (DS) тяготеет к категории «Высокое» (400-500 мг/кг). ANOVA-анализ выявил статистически значимую разницу между технологиями ($p < 0,05$)

График демонстрирует распределение значений K_2O по двум технологиям: традиционной и технологии прямого посева. Ось Y представляет собой градацию по методу Мачигина, а ось X – содержание K_2O в мг/кг. Значения K_2O варьируются от низкого до высокого, что видно по рас-

положению точек на графике. Традиционная технология и прямой посев имеют различные распределения значений K_2O, что указывает на различия в методах обработки почвы и их влияние на содержание калия

Данный график позволяет визуально отобразить уровни содержании K_2O между различными методами обработки почвы и позволяет наглядно анализировать и сравнивать эффективности изучаемых технологий. Выявлена незначительная кластеризация по содержанию калия, зависящая от используемой технологии, за счет второй ротации (полная ротация завершится в 2026 г.), так как точки, характеризующие технологию прямого посева согласно градации, стремятся к группе среднего и повышенного содержания K_2O, в то же самое время традиционная технология показывает распределение точек ближе к градации повышенного и высокого значения.

Группа точек, относящаяся к традиционной технологии, преимущественно располагается в диапазоне от 450 до 500 мг/кг и выше. Это может быть связано с тем, что при традиционной технологии, помимо минеральных азотно-фосфорных удобрений, дополнительно вносятся органические удобрения (в чистый пар), что способствует более активной минерализации и накоплению данного элемента в почве во вторую ротацию. Кроме того, разрушение почвенных агрегатов и увеличение площади поверхности, подверженной воздействию атмосферного воздуха и солнечной радиации, также могут играть роль в этом процессе.

Технология прямого посева характеризуется в основном расположением точек в диапазоне от 300 до 450 мг/кг, что несколько ниже, чем по традиционной технологии. Однако важно отметить положительную тенденцию по увеличению содержания в почве данного элемента к 2025 г. Таким образом, для технологии прямого посева наблюдается накопление K_2O предположительно за счет остатков растительного происхождения, без дополнительного внесения органики. Это позволяет сделать вывод о возможности применения прямого посева для реализации природоподобных агротехнологий (Иванов и др., 2019).

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа оценено влияние обработки почв, на содержание K_2O (рис. 6).

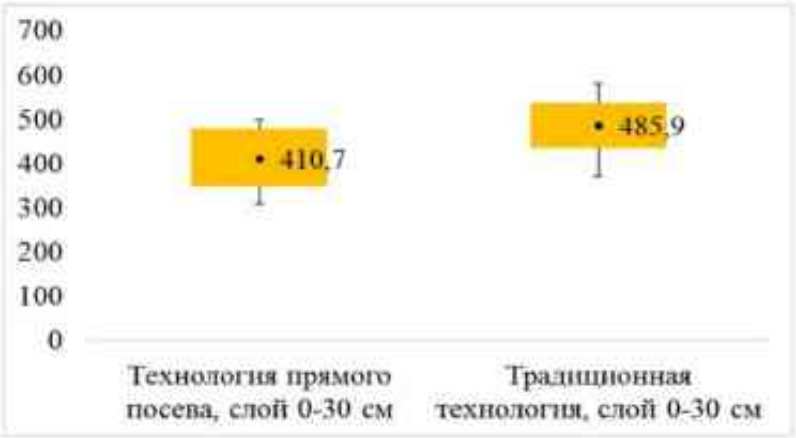

Рис. 6. Динамика содержания K_2O по изучаемым агротехнологиям (ПП-прямой посев; ТТ – традиционная технология), за период с 2017 по 2025 гг. Тест Манна-Уитни (U-test) выявил статистически значимые различия между технологиями ($p < 0,05$). Средняя концентрация калия в слое 0-30 см по традиционной технологии (485,9 мг/кг) оказалась выше, чем по технологии прямого посева (410,7 мг/кг)

Традиционная технология характеризуется более высоким уровнем содержания K_2O (485,9 мг/кг) в почвенном слое 0-30 см, что на 75,2 мг/кг выше, чем по технологии прямого посева. Технология прямого посева характеризуется содержанием K_2O на уровне 410,7 мг/кг. Почвы достаточно хорошо обеспечены данным элементом питания и не нуждаются в дополнительном применении минеральных удобрений в системе севооборота.

В ходе исследований для объяснения процессов, оказывающих влияние на содержание K_2O в почве, рассчитывались корреляционные зависимости, на основании анализа установлено сильное влияние температуры окружающей среды на содержание K_2O в вариантах. По технологии ПП и содержанием K_2O в почве уровень корреляции составил 85 %, а по ТТ 90 %

Анализ данных показывает, что содержание K_2O имеет положительную корреляцию со всеми изучаемыми факторами в варианте с технологией прямого посева. Увеличение таких параметров как осадки и температура способствуют лучшему накоплению обменного калия в почве. Уровень корреляции между ПП и осадками, выпавшими за год, составил 60 %, среднегодовой температурой окружающей среды – 85 %, а уровень корреляции между ПП и ТТ составил 55 %.

Традиционная технология по содержанию K_2O сильно коррелирует с таким показателем как температура, уровень корреляции составляет 90 % или 0,90. В то же время, наблюдается отрицательная корреляция между содержанием K_2O и количеством осадков (осадки, мм = –0,42).

Далее представлена графическая модель полученной корреляционной зависимости по двум варианта и дополнительно с учетом всех анализируемых факторов (рис. 7).

Технология прямого посева оказывает сильное влияние на содержание K_2O, однако его содержание увеличивается с увеличением среднегодовой температуры окружающей среды, что видно по наклону поверхности вдоль оси X. Влияние осадков на показатель Z (содержание K_2O по технологии ПП) также имеется, но незначительное, так как влияние осадков меньше влияния температур. Совместное увеличение среднегодовой температуры и осадков приводит к более значительному увеличению содержания K_2O, что отображается общим наклоном поверхности.

Модель технологии традиционной (ТТ), изображенная с помощью трехмерного графика, показывает зависимость от таких переменных как температура и осадки. Построенный трехмерный график характеризуется осью X (температура), Y (осадки) и Z (K_2O). В результате на линейной плоскости показана сильная зависимость, имеющая положительное значение от температуры окружающей среды, слабую отрицательную зависимость от количества выпавших осадков.

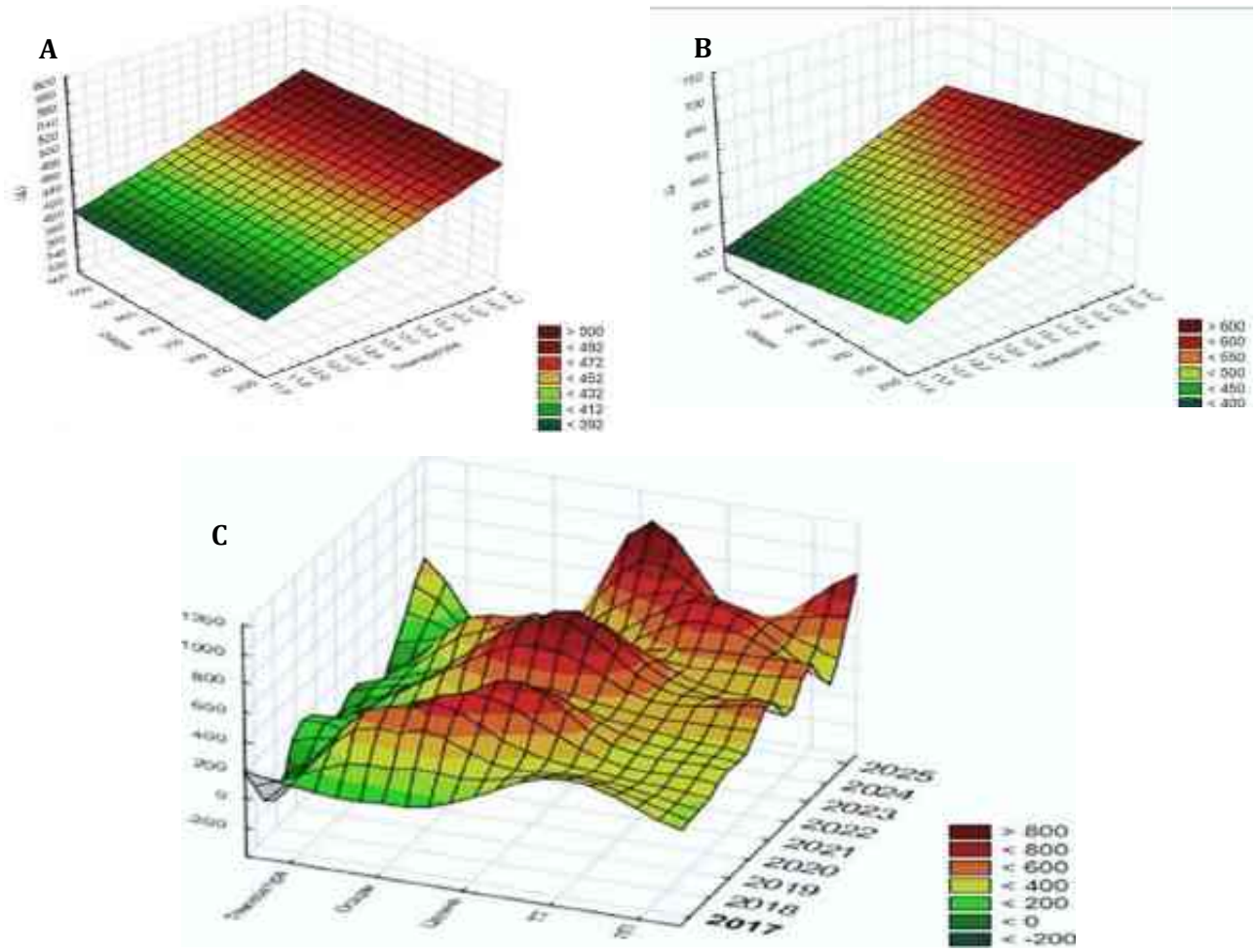

Рис. 7. Графические модели зависимости содержания K_2O в почве учитывающие влияния различных факторов (A – модель влияния технологии прямого посева (Direct Drilling) на содержание K_2O, мг/кг. R^2 = 0,85, F-статистика = 14,3, p < 0,001. Цветовая шкала: от красного (высокое содержание) к зеленому (низкое). B – модель влияния традиционной технологии (Tillage) на содержание K_2O, мг/кг. R^2 = 0,90, F-статистика = 21,5, p < 0,001. Максимум содержания достигается при сочетании повышенной температуры и умеренных осадков. C – конструктивная модель зависимости содержания K_2O в почве от влияния различных факторов (Temperature, Precipitation, Organic Matter). Поверхность демонстрирует нелинейную связь: совместное увеличение температуры и осадков приводит к повышению содержания калия. Цветовая шкала: от красного (> 800 мг/кг) к зеленому (< 200 мг/кг)

Построенная конструктивная модель, учитывающая взаимосвязь всех исследуемых факторов, имеет сложную форму, что указывает на нелинейную зависимость исследуемой величины от осадков и температуры. Данный график интерпретируется следующим образом: объем выпадающих осадков изменяет содержание K_2O в почве и зачастую в сторону уменьшения при их высоких параметрах.

С изменением температуры значение исследуемой величины также изменяется, что видно по изменению формы поверхности вдоль оси Y. Совместное изменение осадков и температуры приводит к сложным изменениям в значении исследуемой величины, что видно по общей форме поверхности. Таким образом построенный график наглядно демонстрирует нелинейную зависимость исследуемой величины от времени и температуры. Форма поверхности указывает на наличие экстремумов и сложных взаимодействий между переменными.

Обсуждение. Результаты данного исследования демонстрируют существенное влияние применяемых агротехнологий на содержание обменного калия (K_2O) в черноземе южном степной зоны Республики Крым.

Начало первой ротации севооборота (2015-2017 гг.) показал одинаковое содержание K_2O в почве по обеим исследуемым технологиям. Однако уже в 2017 г. применение традиционной технологии (ТТ), предусматривающей внесение органических удобрений (навоз в чистый пар), привело к заметному увеличению содержания обменного калия во всех исследуемых почвенных слоях (0-10, 10-20, 20-30 см). Этот факт согласуется с общепринятыми представлениями о положительном влиянии органических удобрений на плодородие почвы, в частности, на содержание доступных питательных элементов.

В течение двух ротаций севооборота (2017-2025 гг.), как традиционная технология, так и технология прямого посева (ПП), демонстрируют положительную динамику накопления K_2O в почве. При этом технология прямого посева характеризуется стабильным и значительным увеличением содержания калия, особенно выраженным в нижних слоях почвы (10-20 см отмечен приростом 121,1 мг/кг, 20-30 см – 199,3 мг/кг по состоянию на вторую ротацию относительно 2017 г.). Это указывает на высокую эффективность ПП в аккумулировании данного элемента питания предположительно за счет накопления растительных остатков и снижения вымывания. Полученные для ПП данные с максимальным содержанием калия в верхнем корнеобитаемом слое (0-30 см, ±33,5 стандартного отклонения) подтверждают идею о том, что данная технология способствует удержанию питательных веществ в наиболее доступной для растений форме.

Традиционная технология также показывает прибавку K_2O, за исключением незначительного снижения в верхнем слое (0-10 см) в первую ротацию (–8,4 мг/кг). Однако, к концу второй ротации наблюдается существенное увеличение содержания калия по всем исследуемым слоям.

Статистический анализ, подтвержденный расчетом наименьшей существенной разности ($НСР_{0,05}$), показал статистически значимые различия в содержании K_2O между традиционной технологией и технологией прямого посева. Это означает, что наблюдаемые расхождения не являются результатом случайных колебаний, а обусловлены непосредственно влиянием применяемых агротехнических приемов.

Сравнительный анализ, проведенный на основе данных рис. 4 (диаграмма рассеяния согласно методу Мачигина) и других результатов, показывает, что:

- традиционная технология, в первую очередь, ассоциируется с группами точек, характеризующими повышенное и высокое содержание K_2O (450-500 мг/кг и выше). Это может быть связано с внесением органических удобрений, более интенсивной минерализацией и, возможно, в случае чистого пара, с процессами, способствующими накоплению калия.

- технология прямого посева, напротив, демонстрирует распределение точек в диапазоне среднего и повышенного содержания K_2O (300-450 мг/кг) с явной положительной тенденцией к увеличению к 2025 г. Это подтверждает эффективное управление калием при данной технологии, основанное на вовлечении органического вещества растительного происхождения.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа (см. рис. 5) подтверждают, что традиционная технология обеспечивает более высокий средний уровень содержания K_2O (485,9 мг/кг) в слое 0-30 см по сравнению с технологией прямого посева (410,7 мг/кг). Оба показателя относятся к градациям повышенного содержания, что свидетельствует о достаточном обеспечении почв калием по обеим технологиям и отсутствии необходимости дополнительного внесения минеральных удобрений в данной системе севооборота, как минимум, по этому элементу.

Учитывая, что при технологии прямого посева содержание K_2O к среднему и повышенному уровням с явной положительной динамикой накопления, и при этом потенциально более благо-

приятна с точки зрения экологических аспектов (отсутствие чистого пара, сохранение органического вещества), можно сделать вывод о растущем потенциале прямого посева для реализации природоподобных агротехнологий.

Влияние метеорологических условий (см. рис. 1, 2) на динамику содержания K_2O также заслуживает внимания. Несмотря на наличие засушливых периодов (2017, 2020, 2024, 2025 гг.) и повышенных температур, обе технологии смогли поддержать или увеличить содержание калия в почве. Это указывает на устойчивость почвенного калийного потенциала в условиях чернозема южного и способность агротехнических приемов нивелировать негативное влияние климатических факторов.

Заключение. Проведенные исследования в условиях степной зоны Республики Крым (с. Клепинино) на почве чернозем южный (Calcic chernozems) в период 2017-2025 гг. показали, что почвы достаточно хорошо обеспечены данным элементом питания и не нуждаются в дополнительном применении минеральных удобрений в системе севооборота, что снижает затраты на удобрения.

На протяжении двух ротаций севооборота наблюдается устойчивое увеличение содержания K_2O в почве по обеим технологиям, что свидетельствует об эффективном управлении калийным потенциалом почв в рамках исследуемых систем земледелия. В ходе исследований было выявлено преимущество традиционной технологии (ТТ), прежде всего по абсолютным показателям содержания K_2O в слое 0-30 см, традиционная технология обеспечивала более высокие результаты (среднее содержание за 2017-2025 гг. – 485,9 мг/кг, на 75,2 мг/кг выше по сравнению с ПП), что, обусловлено регулярным применением органических удобрений по чистому пару в дозе 30 т/га.

Технология прямого посева показывает накопление K_2O за счет остатков растительного происхождения, без дополнительного внесения органики, что делает технологию более ресурсосберегающей.

Статистический анализ подтвердил наличие существенных различий в содержании K_2O между традиционной технологией и технологией прямого посева, указывая на реальное влияние агротехнических приемов. Несмотря на засушливые периоды и повышенные температуры, обе технологии смогли поддерживать или увеличивать содержание калия в почве, что говорит о достаточной устойчивости калийного потенциала черноземов южных и эффективности применяемых агротехнических приемов.

Данные исследования могут быть полезны для разработки стратегий управления почвенными ресурсами и оптимизации агротехнических мероприятий с целью повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур, способствуя устойчивому земледелию.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Адамень Ф. Ф., Плугатарь Ю. В., Сташкина А. Ф. Наука и опытное дело как основа развития аграрного производства Крыма. *Симферополь: ИТ «АРИАЛ»*, 2015; 252. [Adamen F. F., Plugatar Yu. V., Stashkina A. F. Science and Experimental Work as a Basis for the Development of Agricultural Production in Crimea. *Simferopol: IT "ARIAL"*, 2015; 252].

Исаев В. А., Белобров В. П., Иванов А. Л. Динамика факторов почвообразования и их влияние на технологию земледелия в Каменной степи. *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2020;104:5-30. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-5-30. [Isaev V. A., Belobrov V. P., Ivanov A. L. Dynamics of soil-forming factors and their influence on farming technology in the Kamennaya Steppe. *Bulletin of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute*. 2020;104:5-30. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-5-30].

Лопатовская О. Г. Адаптивно-ландшафтное земледелие и растениеводство [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие. *Иркутск: Изд-во ИГУ*, 2018; 176. [Lopatovskaya O. G. Adaptive landscape agriculture and crop production [Electronic resource]: textbook.-method. Manual. *Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University*, 2018; 176].

Николаев Е. В., Изотов А. М., Тарасенко Б. А. Растениеводство Крыма. *Симферополь: Фактор,* 2006; 352. [Nikolaev E. V., Izotov A. M., Tarasenko B. A. Plant production of Crimea. *Simferopol: Faktor,* 2006; 352].

Половицкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и пути повышения их плодородия: справ. изд. *Симферополь: Таврия,* 1987; 152. [Polovitsky I. Ya., Gusev P. G. Soils of Crimea and ways to increase their fertility: Reference. *Simferopol: Tavria*, 1987; 152].

Семенов В. М., Когут Б. М., Иванов А. Л. Почвенная секвестрация углерода в агроландшафтах: продовольственный императив климатической повестки. *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева.* 2025;124:10-69. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2025-124-10-69. [V. M. Semenov, B. Kogut, A. Ivanov. Soil carbon sequestration in agricultural landscapes: a food imperative for the climate agenda. *Bulletin of the Dokuchaev Soil Science Institute*". 2025;124:10-69. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2025-124-10-69].

Совет министров республики Крым министерства экологии и природных ресурсов. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории республики Крым в 2024 году: *г. Симферополь: ООО «Принт»*, 2024;428. [Council of Ministers of the Republic of Crimea, Ministry of Ecology and Natural Resources. Report on the state and protection of the environment in the territory of the Republic of Crimea in 2024: *Simferopol: Print LLC*, 2024; 428].

Фарходов Ю. Р., Данилин И. В., Белобров В. П., Ермолаев Н. Р., Юдин С. А., Надуткин И. А., Стройкова М. Н., Хаматнуров Ш. А., Лазарев В. И., Холодов В. А. Химическое строение органического вещества черноземов типичных при различных технологиях земледелия. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2025;125:244-273. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2025-125-244-273. [Farkhodov Yu. R., Danilin I. V., Belobrov V. P., Ermolaev N. R., Yudin S. A., Stoikova M. N., Hamatnurov Sh. A., Ilyin B. S., Lazarev V. I., Kholodov V. A., The chemical structure of the organic matter of typical chernozems of various farming technologies, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2025;125:244-273, DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2025-125-244-273].

Хитров Н. Б., Никитин Д. А., Иванова Е. А., Семенов М. В. Пространственно-временная изменчивость содержания и запасов органического вещества почвы: Аналитический обзор. *Почвоведение.* 2023;12:1493-1521. [Khitrov N. B., Nikitin D. A., Ivanova E. A., Semenov M. V. Spatio-temporal variability of the content and reserves of soil organic matter: Analytical review. *Soil science*. 2023;12:1493-1521].

Шеуджен А. Х. и др. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов: учебное пособие – 2-е издание, переработанное и дополненное. Майкоп: *Полиграф-ЮГ*, 2015; 664. [Sheudzhen A. Kh. Methodology of agrochemical research and statistical evaluation of their results: a tutorial - 2nd edition, revised and supplemented. Maykop: *Poligraf-YUG*, 2015; 664].

Галеева Л. П. Основы математической статистики в исследованиях по агрохимии и агропочвоведению: учеб.-метод. пособие / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Агроном. фак. – *Новосибирск: Изд-во НГАУ «Золотой колос»*, 2016; 73. [Galeeva L. P. Fundamentals of Mathematical Statistics in Research on Agrochemistry and Agro-Soil Science: Textbook-Method. Manual / Novosibirsk State Agrarian University. Agronom. Faculty; compiled by - Novosibirsk: *Publishing House of NGAU "Zolotoy Kolos"*, 2016; 73].

Государственное бюджетное учреждение Республики Крым «Крымский информационно-консультационный центр агропромышленного комплекса» / Характеристика климатических условий на территории Крыма и адаптации к их изменениям. *Изд-во Симферополь*, 2023; 130. [State Budgetary Institution of the Republic of Crimea "Crimean Information and Consulting Center of the Agro-Industrial Complex" / Characteristics of climatic conditions in Crimea and adaptation to their changes. *Simferopol Publishing House*, 2023; 130].

Державин Л. М., Булгаков Д. С. Методических указаний по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. *М. ФГНУ «Росинформагротех»*, 2003; 240. [Derzhavin L. M., Bulgakov D. S. Methodological guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands. - *M. FGNU "Rosinformagrotekh"*, 2003; 240].

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: *Агропромиздат*, 1985; 315. [Dospekhov B. A. Field experiment methodology. - M.: *Agropromizdat*, 1985; 315].

Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма. Научная монография 2-е изд., доп. *Симферополь: ДОЛЯ*, 2004; 208. [Dragan N. A. Soil resources of Crimea. Scientific monograph, 2nd ed., suppl. *Simferopol: DOLYA*, 2004; 208].

Иванов А. Л., Савин И. Ю., Столбовой В. С., Духанин Ю. А., Козлов Д. Н. Методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов на землях сельскохозяйственного фонда Российской Федерации. *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2021;108:175-218. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-108-175-218. [Ivanov A. L., Savin I. Yu., Stolbovoy V. S., Dukhanin Yu. A., Kozlov D. N. Methodological approaches to the formation of a unified National system for monitoring and accounting of the carbon balance and greenhouse gas emissions on the lands of the agricultural fund of the Russian Federation. *Bulletin of the Soil Institute named after V.V. Dokucha*ev. 2021;108:175-218. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-108-175-218].

Иванов А. Л., Столбовой В. С. Инициатива «4 промилле» – новый глобальный вызов для почв России. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева.* 2019;98:185-202, DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202. [Ivanov A. L., Stolbovoy V. S. The 4 ppm Initiative – a New Global Challenge for Russian Soils // *Bulletin of the Dokuchaev Soil Science Institute*. 2019;98:185-202. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202].

Илюшкина О. В., Гонгало А. А. Изменение содержания органического вещества черноземов южных под влиянием разных способов обработки почвы в севооборотах в условиях степной зоны полуострова Крым. *Агрохимия.* 2025;9:18-24. [Ilyushkina O. V., Gongalo A. A. Changes in the Organic Matter Content of Southern Chernozems Under the Influence of Different Tillage Methods in Crop Rotations in the Steppe Zone of the Crimean Peninsula. *Agrochemistry*. 2025;9:18-24].

Blanco-Canqui H., Ruis, S. J. "No-tillage and soil physical environment". *Geoderma*, 2018;326:164-200. https://doi.org/10.1016/j.geoderma. 2018.03.011.

Derpcsh R., Franzluebbers A. J., Duiker S. W., Reicosky D. C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W. G., Sa J. C. M., Weiss K. Why do we need to standardize notillage research? *Soil & Tillage Research.* 2014;137:16–22. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002

Белобров В. П., Шаповалов Д. А., Дридигер В. К., Юдин С. А., Ермолаев Н. Р. Почвозащитная роль прямого посева в земледелии. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023;3(393):255-260. DOI https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_3_255. [Belobrov V. P., Shapovalov D. A., Drigidger V. K., Yudin S. A., Ermolaev N. R. Protective role of direct sowing in agriculture // *International Agricultural Journal*. 2023;3(393):255-260. DOI https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_3_255.].

Белобров В. П., Дридигер В.К. География и эффективность применения технологии no-till в России. Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Ульяновск, 25 июня 2024 года. Ульяновск: *Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина,* 2024; 3-14. [Belobrov V. P., Drigidger V. K. Geography and efficiency of applying no-till technology in Russia // Agrarian Science and Education in Modern Development Stage: Experience, Problems and Solutions: Proceedings of the XIV International Scientific-Practical Conference, Ulyanovsk, June 25, 2024. Ulyanovsk: *Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin*, 2024; 3-14].

Дридигер В. К. Особенности проведения научных исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву (методические рекомендации). *Ставрополь: Сервис-Школа*, 2020;69. [Drigidger V. K. Features of conducting scientific research on reducing soil cultivation and direct drilling (methodical recommendations). *Stavropol: Service School*, 2020; 69.

Информация об авторах

Илюшкина Ольга Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук; старший научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295043,г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150, Россия, e-mail: olga-cheboha@mail.ru , ORCID: 0000-0002-1188-9656.

Information about the author

Ilyushkina Olga Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea", 295043 Simferopol, 150 Kievskaya St., Russia, e-mail: olga-cheboha@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1188-9656.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 712.25 + 630*165.2 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.004.47-57

Многокритериальная оценка санитарного состояния интродуцированных древесных пород для озеленения теннисной академии в субтропической зоне

Яковенко Н. В.✉; Подласкина С. Ю.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Аннотация. Спортивные объекты, в частности теннисные академии, предъявляют особые требования к озеленению: растения должны выдерживать уплотнение почвы, быть устойчивыми к болезням, не повреждать твердые покрытия корнями и не создавать лишнего затенения кортов. При этом в субтропической зоне многие интродуценты проявляют нестабильное санитарное состояние, а подходы к их отбору для подобных объектов разработаны недостаточно. Цель работы – на основе многокритериальной методики оценить санитарное состояние и прогнозный потенциал семи интродуцированных пород: кипарис вечнозеленый *(Cupressus sempervirens* L.*),* магнолия крупноцветковая *(Magnolia grandiflora* L.*)*, кедр гималайский *(Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don*),* сосна пиния (*Pinus pinea* L.*),* платан восточный (*Platanus orientalis* L.), олива европейская (*Olea europaea* L.), гинкго двулопастный *(Ginkgo biloba* L.*)* – для озеленения теннисной академии. В работе использованы методы маршрутных обследований, визуальной и инструментальной диагностики санитарного состояния, расчет индекса жизненности (ИЖ) и интегрального показателя прогнозного потенциала. Установлено, что породы с более высоким прогнозным потенциалом – кипарис вечнозеленый, сосна пиния, олива европейская – демонстрируют лучшее санитарное состояние. Исключение составил кедр гималайский, у которого при умеренном ИЖ (17) отмечено относительно плохое состояние (ИС = 2,51) из-за локального переувлажнения. Выявлено, что платан восточный недопустим для посадки вблизи кортов и твердых покрытий. Магнолия крупноцветковая и кедр гималайский требуют усиленного дренажа и профилактики грибных болезней. Гинкго двулопастный допустим только мужскими экземплярами. На основе полученных данных разработаны практические рекомендации: основу ассортимента для теннисной академии должны составлять кипарис вечнозеленый– для ветрозащитных полос и живых изгородей, сосна пиния– для солитеров и аллей, олива европейская – для зон отдыха и контейнерного озеленения. Платан восточный (*Platanus orientalis* L.) допустим лишь в буферных зонах (≥ 15 м) с корневыми барьерами. Также установлено, что кедр гималайский и магнолия крупноцветковая требуют индивидуального подхода при выборе посадочных мест с обязательным обеспечением отвода избыточной влаги. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании озеленения других спортивных комплексов в аналогичных климатических условиях.

Ключевые слова. Интродуценты; санитарное состояние; индекс жизненности; озеленение спортивных объектов; теннисная академия.

Цитирование. Яковенко Н. В., Подласкина С. Ю. Многокритериальная оценка санитарного состояния интродуцированных древесных пород для озеленения теннисной академии в субтропической зоне // Научно-агрономический журнал. 2026; 3(134):36-44. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.004.47-57.

Поступила в редакцию: 08.05.2026 Принята к печати: 08.06.2026

✉ – Для контактов/Corresponding author

UDC712.25 + 630*165.2 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.004.47-57

Multi-criteria assessment of the health condition of introduced tree species for landscaping a tennis academy in a subtropical zone

Yakovenko N. V.✉; Podlaskina S. Yu.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov", Voronezh, Russia

Abstract. Sports facilities, in particular tennis academies, impose specific requirements on landscaping: plants must tolerate soil compaction, exhibit resistance to diseases, avoid damaging hard surfaces with their root systems, and not create excessive shading of courts. At the same time, in subtropical regions, many introduced species show unstable health condition, and the approaches to their selection for such facilities remain insufficiently developed. The aim of this study is to assess, using a multi-criteria methodology, the health condition and predictive potential of seven introduced tree species: evergreen cypress (*Cupressus sempervirens* L.), southern magnolia (*Magnolia grandiflora* L.), deodar cedar (*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don), stone pine (*Pinus pinea* L.), oriental plane (*Platanus orientalis* L.), European olive (*Olea europaea* L.), and maidenhair tree (*Ginkgo biloba* L.), for landscaping a tennis academy. The study employed route surveys, visual and instrumental diagnostics of plant health condition, calculation of a vitality index (VI), and an integral indicator of predictive potential. It was found that species with higher predictive potential-evergreen cypress, stone pine, and European olive-exhibit superior health condition. An exception was deodar cedar, which, despite a moderate VI (17), showed relatively poor condition (health index = 2.51), likely due to local waterlogging. It was revealed that oriental plane is unsuitable for planting near courts and hard surfaces. Southern magnolia and deodar cedar require improved drainage and preventive measures against fungal infections. The maidenhair tree is recommended only in male individuals. Based on the obtained results, practical recommendations were developed. The core assortment for tennis academy landscaping should include evergreen cypress for windbreaks and hedges, stone pine for specimen plantings and avenues, and European olive for recreational areas and container plantings. Oriental plane is acceptable only in buffer zones (at least 15 m) with mandatory root barriers. Deodar cedar and southern magnolia require an individual approach to site selection, with strict provision for excess moisture removal. The obtained results may be applied to the design of landscaping for other sports complexes under similar climatic conditions.

Keywords. Introduced species; health condition; vitality index; landscaping of sports facilities; tennis academy.

For citation. Yakovenko N. V., Podlaskina S. Yu. Multi-criteria assessment of the health condition of introduced tree species for landscaping a tennis academy in a subtropical zone // Scientific Agronomy Journal. 2026; 3(134):36-44. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.004.47-57.

Received: 08.05.2026 Accepted: 08.06.2026

Введение. Южный берег Крыма (ЮБК) относится к уникальному региону России с субтропическим средиземноморским климатом, что позволяет успешно культивировать широкий спектр интродуцированных древесных пород. В последние десятилетия здесь активно создаются и реконструируются спортивные объекты олимпийского уровня – теннисные академии, стадионы, комплексы для зимних видов спорта. Одним из ярких примеров является Олимпийский комплекс «Теннисная академия» в г. Алупка. При его озеленении проектом предусмотрено использование как аборигенных, так и интродуцированных видов. Вопросы интеграции спортивной и зеленой инфраструктур активно разрабатываются в современной практике, в т. ч. на примерах зарубежных городов (Баранова и др., 2025). Ключевой фактор успешного функционирования зеленых насаждений на спортивных объектах – обоснованный подбор устойчивых интродуцентов (Нгамбу, Тазина, 2021).

✉ – Для контактов/Corresponding author

Фундаментальные исследования интродукции древесных растений на Южном берегу Крыма проводятся в Никитском ботаническом саду. В частности, изучены особенности фенологического развития некоторых видов декоративных интродуцентов (Корсакова, Ковалев, 2022). Важное значение имеют работы по эдафическим факторам, влияющим на жизненное состояние магнолии крупноцветковой (*Magnolia grandiflora* L.) в условиях ЮБК (Герасимчук, Новицкий, 2021; Герасимчук и др., 2024). Рассмотрена ландшафтная организация территории спортивных сооружений на примере г. Архангельска (Сунгурова и др., 2024). В Массандровском парке изучены паркообразующие древесные породы, многие из которых используются в озеленении (Репецкая и др., 2015). Ранее проведены исследования деревьев и кустарников в озеленении Судака (Захаренко и др., 1985), а также дендрофлоры городов юга УССР (Кохно и др., 1983). Разработаны методические рекомендации по применению местных и интродуцированных растений в санаторных парках Южного берега Крыма (Акимов и др., 1987). Обобщающие сведения по субтропической декоративной дендрологии представлены в труде (Карпун, 2010). Современное состояние озелененных территорий и опыт благоустройства курортных районов (например, «Имеретинский» в г. Сочи) освещены в работах (Клемешова и др., 2019; Клемешова, 2023). Разработаны методические рекомендации по подбору ассортимента декоративных растений для озеленения Южного берега Крыма (Плугатарь и др., 2022). Значительный вклад внесен в исследование чужеродной флоры Краснодарского края и Крыма (Литвинская, 2024). Проведено почвенно-экологическое районирование территории ЮБК с целью интродукции древесных растений (Сухачева, Ревина, 2020). В зарубежных исследованиях применяются многокритериальные подходы к выбору деревьев для городских зеленых зон (Ghazalli et al., 2018), оценивается устойчивость городских древесных пород в условиях изменения климата (Meifang Su, 2024), а также разрабатываются методы снижения повреждений твердых покрытий корневой системой с помощью барьеров (Wierzchowski et al., 2024). Однако данные исследования не принимают во внимание особенности спортивных объектов в субтропической зоне ЮБК.

Отсутствие научно обоснованных критериев оценки устойчивости интродуцентов в условиях спортивных объектов приводит к ошибкам при формировании ассортимента: высаживаются внешне декоративные, но биологически нестойкие или даже опасные для игроков виды (например, платан восточный с агрессивными корнями и обильным листопадом). В результате через 3-5 лет после посадки насаждения деградируют, что требует дополнительных затрат на реконструкцию и снижает функциональную эффективность озеленения. Поэтому разработка количественной методики оценки санитарного состояния и прогнозной устойчивости интродуцентов является своевременной и практически значимой.

Цель работы: на основе многокритериального подхода оценить санитарное состояние и прогнозируемую устойчивость интродуцированных древесных пород, рекомендуемых для озеленения спортивного объекта на Южном берегу Крыма (на примере Олимпийского комплекса «Теннисная академия» в г. Алупка). Для достижения цели поставлены следующие задачи: составить перечень основных интродуцированных пород, используемых в проекте озеленения; определить факторы, лимитирующие их устойчивость;) разработать балльную систему оценки с вычислением интегрального индекса жизненности; построить профили устойчивости для сравнительного анализа пород; выделить группы пород по степени пригодности для озеленения спортивной территории.

Материалы и методы. *Объекты исследования.* Исследование проводилось в 2023-2024 гг. на территории г. Алупка и прилегающих районах Южного берега Крыма (ЮБК). В качестве основного объекта рассмотрен Олимпийский комплекс «Теннисная академия» (кадастровый номер 90:25:000000:880), однако ввиду отсутствия завершенных посадок на его территории оценка санитарного состояния выполнена на интродуцированных деревьях, произрастающих в следующих референсных локациях: парк-памятник садово-паркового искусства «Дендрарий» (г. Алупка), санатории «Красная гвоздика» и «Днепр» (г. Ялта), а также существующие единичные деревья на территории самого комплекса (сохранившиеся экземпляры можжевельника и дуба).

Исследовано 7 интродуцированных пород, наиболее широко используемых при озеленении спортивных объектов региона: Кипарис вечнозеленый (*Cupressus sempervirens* L.); Магнолия крупноцветковая (*Magnolia grandiflora* L.); Кедр гималайский (*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don); Сосна пиния (*Pinus pinea* L.); Платан восточный (*Platanus orientalis* L.); Олива европейская (*Olea europaea* L.); Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L. – мужские экземпляры).

Экспериментальный материал и объем выборки. Для каждой породы проведено визуальное обследование не менее 30 взрослых деревьев (возраст 15-40 лет, высота 4-18 м). Общее количество учтенных деревьев – 248. Распределение выборки по породам представлено в таблице 1. Повторность (количество обследованных особей) обеспечивает репрезентативность при доверительной вероятности 95 % (минимальный объем выборки для непараметрических критериев – 25). Деревья отбирались случайным методом на 12 пробных площадях (размером 0,25 га каждая) в пределах перечисленных локаций.

Таблица 1

Объем выборки интродуцированных пород

Вид	Количество деревьев, шт.	Средний возраст, лет	Средняя высота, м
Кипарис вечнозеленый	45	25	12,3
Магнолия крупноцветковая	38	20	8,5
Кедр гималайский	31	30	14,2
Сосна пиния	33	28	11,7
Платан восточный	42	35	16,1
Олива европейская	32	22	6,8
Гинкго двулопастный	27	18	9,4
Всего	**248**	-	-

Оценка санитарного состояния. Санитарное состояние каждого дерева оценивалось визуально по 5-балльной шкале, согласно методике, приведенной в «Правилах санитарной безопасности в лесах» (утв. Постановлением Правительства РФ № 414, 2020) и адаптированной для городских насаждений (Громадин, 2019). Критерии категорий:

1 – здоровое – крона густая, хвоя/листва зеленая, без признаков усыхания;

2 – ослабленное, отдельные сухие ветви до 25 % кроны, незначительное пожелтение листвы/хвои;

3 – сильно ослабленное – суховершинность, 25-50 % сухих ветвей, хвоя/листва желтеет или буреет;

4 – усыхающее, более 50 % сухих ветвей, единичная зеленая листва/хвоя только на верхушке;

5 – сухостой, полное усыхание, кора отслаивается, признаки разложения древесины.

Оценка проводилась двумя независимыми экспертами в июле – августе 2024 и апреле – мае 2025 гг. (повторно, для оценки стабильности). Расхождение в оценках более чем на 1 балл разрешалось коллегиальным обсуждением.

Интегральный индекс санитарного состояния (ИС) для каждой породы рассчитан по формуле (1):

$$ИС = \frac{\sum_{i=1}^{5}(n_i \cdot k_i)}{N}, \quad (1)$$

где n_i – число деревьев i-й категории, k_i – номер категории (1–5), N – общее число деревьев данной породы.

Интерпретация: ИС ≤ 1,5 – здоровые насаждения; 1,5 < ИС ≤ 2,5 – ослабленные; 2,5 < ИС ≤ 3,5 – сильно ослабленные; ИС > 3,5 – усыхающие/сухостой.

Оценка прогнозной устойчивости (новый многокритериальный метод). Для количественного сравнения пород по потенциальной пригодности к произрастанию в условиях спортивного объекта (с учетом засухи, засоления, рекреации, корневой агрессивности, аллергенности, обилия листопада и плодоношения) разработана балльная система на основе экспертных оценок и литературных данных (ITF, 2021[1]; Кохно, 1983). Каждая порода оценивалась по 9 критериям (табл. 2) по шкале от 0 (наихудшее значение) до 3 (наилучшее). Интегральный индекс жизненности (ИЖ) вычислен как сумма баллов по всем критериям:

$$ИЖ = \sum_{j=1}^{9} B_{ij}, \quad (2)$$

где B_{ij} – балл i-й породы по j-му критерию. Максимально возможное ИЖ = 27.

[1]ITF (International Tennis Federation). ITF Global Tennis Report 2021: A report on tennis participation and performance worldwide. London: ITF, 2021. URL: http://itf.uberflip.com/i/1401406-itf-global-tennis-report-2021/7 (accessed: 08 May 2026).

Породы считаются рекомендованными при ИЖ ≥ 22, ограниченно рекомендуемыми при 15 ≤ ИЖ < 22, нежелательными при ИЖ < 15.

Статистическая обработка данных. Статистический анализ выполнен с использованием программной среды R version 4.3.1 (R Core Team, 2023) с пакетами stats, ggplot2, dplyr. Для каждой породы рассчитаны: среднее арифметическое категории санитарного состояния ($\bar{x}$); стандартная ошибка среднего (SEM); коэффициент вариации (CV, %).

Таблица 2

Критерии и шкала балльной оценки устойчивости

Критерий	3 балла	2 балла	1 балл	0 баллов
Засухоустойчивость	Высокая	Средняя	Низкая	Непереносимость
Солеустойчивость (к морским аэрозолям)	Высокая	Средняя	Низкая	Повреждения
Морозостойкость (до –12 °C)	Выдерживает без повреждений	Легкие повреждения	Сильные повреждения	Гибель
Устойчивость к грибным болезням (высокая влажность)	Не поражается	Незначительное поражение	Поражается, требуется защита	Часто гибнет
Корневая агрессивность	Стержневая/компактная	Умеренно разрастается	Агрессивная	Повреждает покрытия
Аллергенность пыльцы	Отсутствует (насекомоопыляемое)	Низкая	Средняя	Высокая (ветроопыляемое)
Интенсивность листопада/хвоепада	Незначительная	Умеренная	Обильная	Очень обильная
Механическая прочность древесины (ветроустойчивость)	Высокая	Средняя	Низкая	Хрупкая
Скорость роста (для достижения эффекта)	Быстрая	Средняя	Медленная	Очень медленная

Проверка нормальности распределения категорий санитарного состояния выполнена с помощью критерия Шапиро-Уилка ($p < 0,05$ – распределение отлично от нормального). Поскольку распределение во всех выборках не соответствовало нормальному ($p < 0,01$), для сравнения пород между собой применялся непараметрический критерий Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis rank sum test) с последующим *post-hoc* критерием Данна (Dunn's test) с поправкой Бонферрони для множественных сравнений. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для оценки согласованности экспертов при визуальной оценке санитарного состояния использован коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ) между оценками двух независимых экспертов (в 2023 и 2024 гг.).Также проведен корреляционный анализ между интегральным индексом санитарного состояния (ИС) и интегральным индексом жизненности (ИЖ) по породам (коэффициент Пирсона после проверки нормальности распределения индексов).

Воспроизводимость методики. Визуальная оценка санитарного состояния по 5-балльному протоколу является стандартной (ссылка на Постановление Правительства № 414). Описанная в п. 2.4 многокритериальная балльная система оценки устойчивости (см. табл. 2) является новой; она может быть воспроизведена другими исследователями для любых интродуцентов при условии привлечения экспертов, знакомых с экологическими требованиями пород и функциональными ограничениями спортивных объектов. Список критериев, шкала баллов и алгоритм расчета индекса ИЖ представлены в явном виде (формула 2), что обеспечивает полную воспроизводимость метода.

Результаты. *Объем выборки и распределение категорий санитарного состояния***.** В ходе исследования обследовано 248 деревьев семи интродуцированных пород (табл. 3). Распределение по категориям санитарного состояния (1 – здоровое, … 5 – сухостой) представлено на рис. 1.

Интегральный индекс санитарного состояния (ИС). Рассчитанный по формуле (1) индекс санитарного состояния для каждой породы приведен в табл. 4. Наилучшее состояние отмечено у *Cupressus sempervirens* (ИС = 1,28) и *Pinus pinea* (ИС = 1,45), наихудшее – у *Platanus orientalis* (ИС = 2,78) и *Cedrus deodara* (ИС = 2,51). Различия между породами статистически высокозначимы (критерий Краскела-Уоллиса: $\chi^2 = 34,7$, $df = 6$, $p = 0,000043$). Попарные сравнения (критерий Данна с поправкой Бонферрони) выделили три однородные группы ($p < 0,05$):

- группа А (наилучшее): кипарис и сосна пиния (p = 0,42);
- группа В (среднее): магнолия (1,89), олива (1,94), гинкго (2,03) – различия внутри группы незначимы ($p > 0,05$);
- группа С (наихудшее): кедр гималайский и платан ($p = 0,31$), но их отличие от групп А и В значимо при $p < 0,01$.

Таблица 3

Характеристика выборки интродуцированных пород

Вид	Кол-во, шт.	Средний возраст, лет	Средняя высота, м
Кипарис вечнозеленый (*Cupressus sempervirens*)	45	25	12,3
Магнолия крупноцветковая (*Magnolia grandiflora*)	38	20	8,5
Кедр гималайский (*Cedrus deodara*)	31	30	14,2
Сосна пиния (*Pinus pinea*)	33	28	11,7
Платан восточный (*Platanus orientalis*)	42	35	16,1
Олива европейская (*Olea europaea*)	32	22	6,8
Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba*)	27	18	9,4
Всего	248	-	-

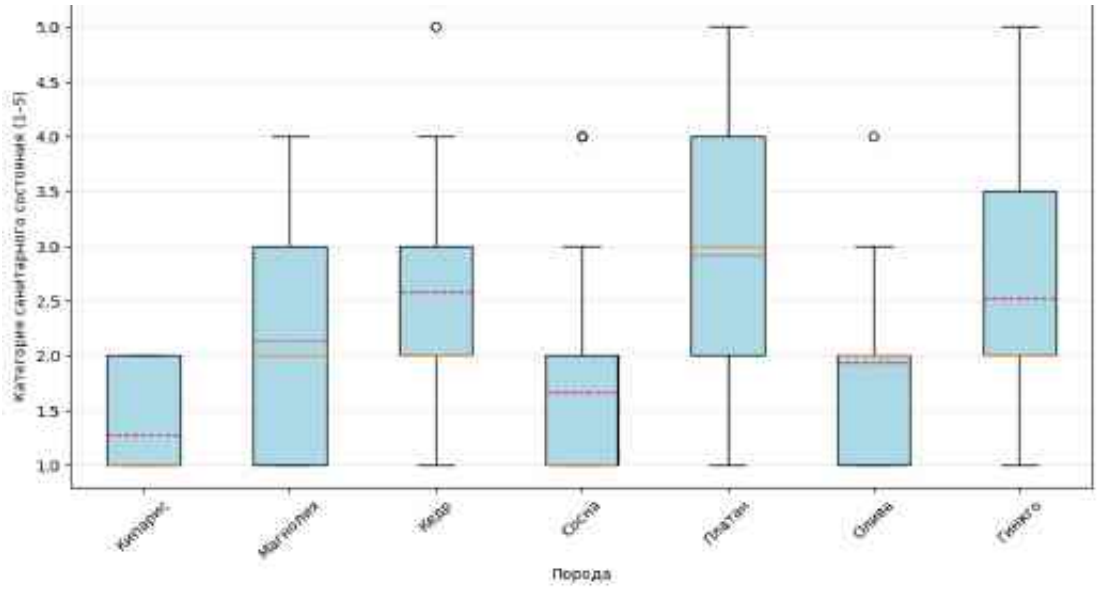

Рис. 1. Распределение категорий санитарного состояния по породам

Таблица 4

Интегральный индекс санитарного состояния (ИС) пород

Порода	ИС (среднее)	SEM	Группа (Kruskal-Wallis + Dunn)
Cupressus sempervirens	1,28	0,09	A
Pinus pinea	1,45	0,11	A
Magnolia grandiflora	1,89	0,15	B
Olea europaea	1,94	0,13	B
Ginkgo biloba	2,03	0,18	B
Cedrus deodara	2,51	0,21	C
Platanus orientalis	2,78	0,24	C

Проверка нормальности распределения категорий санитарного состояния по критерию Шапиро-Уилка показала, что для всех семи пород распределение отличалось от нормального ($\rho < 0,01$), что обосновало применение непараметрических критериев. Распределение интегральных индексов санитарного состояния (ИС) и жизненности (ИЖ) не противоречило нормальному($\rho < 0,05$), что позволило использовать коэффициент корреляции Пирсона. Согласованность оценок двух независимых экспертов (2024 г.) была высокой: коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил $\rho = 0,87$ ($\rho < 0,001$)

Интегральный индекс жизненности (ИЖ). На основе балльной оценки по девяти критериям был вычислен интегральный индекс жизненности для каждой породы. Максимальное значение

(25) получено для кипариса вечнозеленого, минимальное (13) – для платана восточного. На рис. 2 приведены значения ИЖ всех исследованных пород. Согласно установленным градациям (ИЖ ≥ 22 – рекомендованные, 15 ≤ ИЖ < 22 – ограниченно рекомендуемые, ИЖ < 15 — нежелательные), кипарис (25), сосна пиния (23) и олива европейская (22) отнесены к рекомендованным породам. Магнолия крупноцветковая (20), кедр гималайский (17) и гинкго двулопастный (16) относятся к группе ограниченно рекомендуемых. Единственной нежелательной породой признан платан восточный (13).

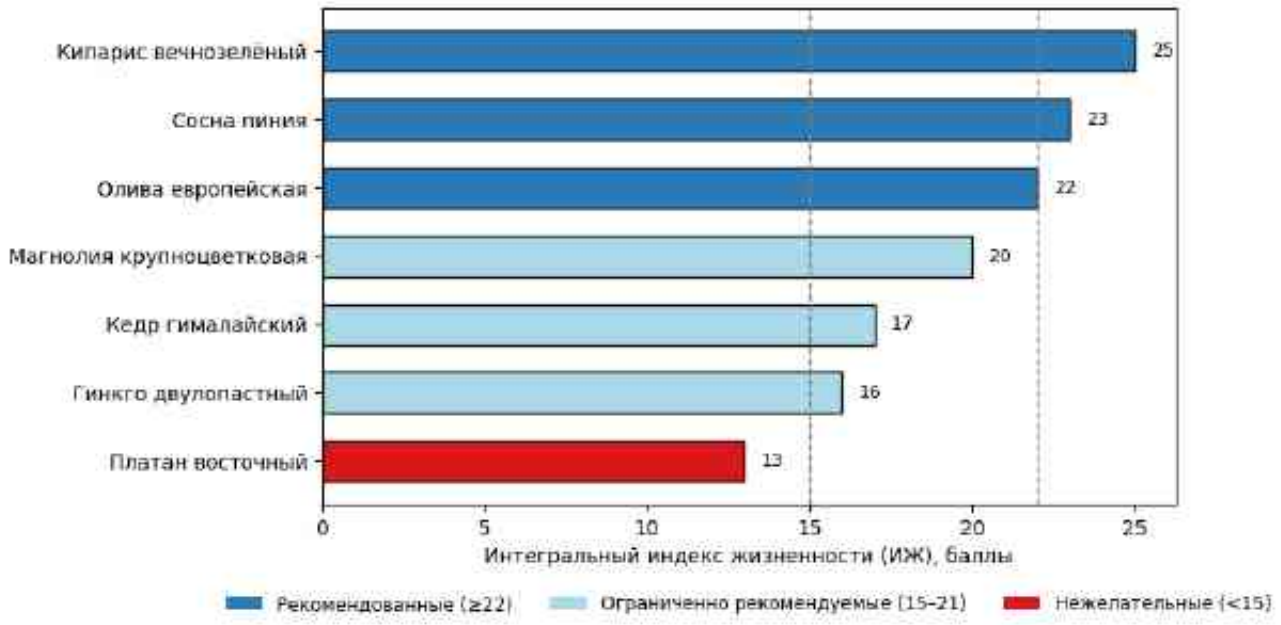

Рис. 2. Значения интегрального индекса жизненности (баллы) для исследованных пород (пунктирными линиями отмечены границы групп (22 и 15 баллов))

Корреляционный анализ (рис. 3) выявил выраженную отрицательную связь между индексом санитарного состояния (ИС) и интегральным индексом жизнестойкости (ИЖ). Значение коэффициента корреляции Пирсона составило r = –0.86 при уровне значимости ρ = 0,014, что отражает статистическую значимость обнаруженного взаимодействия.

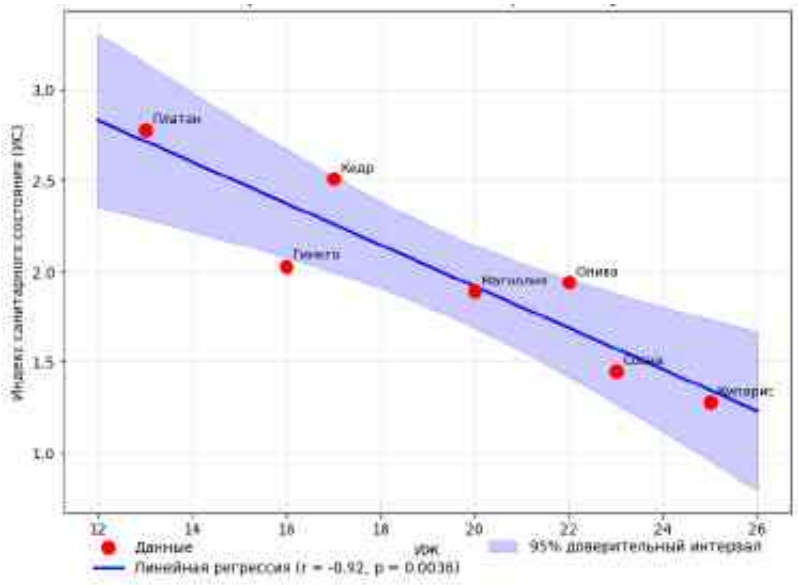

Рис. 3. Диаграмма рассеяния зависимости ИС от ИЖ с линией линейной регрессии

Результаты свидетельствуют о том, что породы с более высоким прогнозируемым потенциалом, такие как кипарис, сосна и олива, как правило, демонстрируют лучшее санитарное состояние. Исключением стал *Cedrus deodara*, который при умеренном индексе жизнеспособно-

сти (17) показал сравнительно низкие показатели здоровья (индекс состояния = 2,51), что, вероятно, связано с локальными условиями повышенного увлажнения места произрастания.

Исходя из этих данных, для озеленения теннисной академии рекомендуется в первую очередь использовать кипарис вечнозеленый для создания ветрозащиты и живых изгородей, сосну пинию – в роли одиночных деревьев и для аллей, а также оливу европейскую – в зонах отдыха и контейнерном озеленении. Применение платана восточного вблизи кортов и дорожек считается нежелательным; его ограниченное использование можно рассматривать только в буферных зонах с расстоянием не менее 15 м от покрытий при условии установки корневых барьеров. Магнолия крупноцветковая и гималайский кедр требуют улучшенного дренажа и регулярных профилактических мероприятий против грибковых заболеваний. Гинкго двулопастный рекомендуется высаживать только мужскими экземплярами в парадных зонах, учитывая его медленные темпы роста.

Таким образом, представленная многокритериальная методика предоставляет количественное обоснование для выбора устойчивых интродуцентов при озеленении спортивных комплексов в субтропической климатической зоне.

Обсуждение. Впервые проведенное исследование на примере спортивного комплекса «Теннисная академия» в городе Алупка позволило количественно оценить санитарное состояние и прогнозную устойчивость семи интродуцированных древесных видов, характерных для Южного берега Крыма, с использованием многокритериального подхода и статистического анализа. Полученные данные одновременно подтверждают известные закономерности и выявляют новые аспекты, релевантные для практики озеленения.

Наилучшие показатели санитарного состояния были зафиксированы у кипариса вечнозеленого (*Cupressus sempervirens* L.) и сосны пинии (*Pinus pinea* L.), индексы состояния которых составили 1,28 и 1,45 соответственно. Данные результаты соотносятся с показателями высокой устойчивости ряда интродуцентов на ЮБК, ранее выявленными в рамках почвенно-экологического районирования (Сухачева, Ревина, 2020). Кроме того, их подтверждают наблюдения (Корсакова, Ковалев, 2022), указывающие на различия в темпах фенологического развития видов под влиянием местных условий произрастания. В отличие от них, платан восточный (*Platanus orientalis* L.) с индексом 2,78 продемонстрировал более низкие показатели. Неудовлетворительное состояние кедра гималайского (*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don), для которого индекс составил 2,51, вероятно, связано с локальными условиями переувлажнения (Литвинская, 2024). Межвидовые различия оказались статистически значимыми ($p < 0,001$), что подчеркивает необходимость ранжирования пород.

Интегральный индекс жизненности (ИЖ), разработанный в исследовании, варьировался от 13 до 25 баллов. Сильная отрицательная корреляция этого индекса с фактическим санитарным состоянием ($r = –0,86$, $p = 0,014$) свидетельствует о надежности предложенной балльной системы оценки. Аналогичные многокритериальные подходы для подбора древесных пород в городских зеленых зонах применялись (Ghazalli et al., 2018), а оценку устойчивости к климатическим изменениям использовала (Meifang Su, 2024). В отличие от этих исследований, разработанный метод адаптирован к специфическим требованиям спортивных объектов.

Породы с ИЖ ≥ 22 (кипарис вечнозеленый, сосна пиния, олива европейская (*Olea europaea* L.)) рекомендуется рассматривать в качестве основного ассортимента. Данные рекомендации согласуются с методическими указаниями по подбору декоративных культур для ЮБК (Плугатарь и др., 2022) и практическим опытом озеленения санаторных парков (Акимов и др., 1987). Породы с ИЖ в диапазоне 15-21 (магнолия крупноцветковая (*Magnolia grandiflora* L.), кедр гималайский, гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.)) требуют применения специальных агротехнических мероприятий. Для магнолии крупноцветковой решающую роль играют эдафические факторы (Герасимчук, Новицкий, 2021; Герасимчук и др., 2024), поэтому необходимы усиление дренажа и установка корневых барьеров (Wierzchowski et al., 2024). В случае с гинкго двулопастным рекомендуется использовать только мужские экземпляры с целью избегания неприятного запаха, связанного с плодами. Платан восточный, получивший ИЖ равный 13, отнесен к нежелательным породам, что также согласуется с данными о его корневой агрессивности (Репецкая и др., 2015; Литвинская, 2024).

Сравнение с существующими рекомендациями. Российские исследования по ландшафтной организации спортивных сооружений (Сунгурова и др., 2024; Нгамбу, Тазина, 2021) акцентируют внимание на общих принципах благоустройства, но не содержат количественных

критериев устойчивости конкретных пород. Опыт интеграции спортивной и зеленой инфраструктур на примере городов Финляндии (Баранова и др., 2025) показывает важность многокритериального подхода, однако климатические условия Финляндии отличаются от субтропиков ЮБК. Предложенный нами индекс ИЖ может быть интегрирован в региональные ассортиментные перечни (Плугатарь и др., 2022; Акимов и др., 1987).

Ограничения и перспективы. Исследование охватило лишь семь пород, и выборка не всегда была репрезентативной для очень редких видов. В будущем целесообразно расширить список видов, включив, например, виды, отмеченные в дендрофлоре городов юга УССР (Кохно и др., 1983) и в озеленении Судака (Захаренко и др., 1985). Также важным представляется долгосрочный мониторинг приживаемости и санитарного состояния после фактической посадки на территории самой теннисной академии, как это сделано, например, для парка «Имеретинский» (Клемешова, 2023; Клемешова и др., 2019).

Выводы. Санитарное состояние интродуцированных пород на Южном берегу Крыма существенно различается. Наилучшие показатели зафиксированы у *Cupressus sempervirens* (ИС = 1,28) и *Pinus pinea* (ИС = 1,45), наихудшие – у *Platanus orientalis* (ИС = 2,78) и *Cedrus deodara* (ИС = 2,51). Различия статистически высокозначимы ($p < 0,001$). Это позволяет ранжировать породы по степени пригодности для озеленения без дополнительных агротехнических мероприятий.

Предложен и апробирован многокритериальный метод оценки прогнозной устойчивости (интегральный индекс жизненности, ИЖ) на основе девяти критериев (засухоустойчивость, солеустойчивость, морозостойкость, устойчивость к болезням, корневая агрессивность, аллергенность, интенсивность листопада, механическая прочность, скорость роста). Максимальные значения ИЖ достигнуты у *Cupressus sempervirens* (25), *Pinus pinea* (23) и *Olea europaea* (22), минимальные – у *Platanus orientalis* (13).

Выявлена сильная обратная корреляция между фактическим санитарным состоянием (ИС) и прогнозным интегральным индексом жизненности (ИЖ): $r = –0,86$ ($p = 0,014$). Это доказывает, что породы с высоким теоретическим потенциалом в реальных условиях субтропического климата и при рекреационных нагрузках сохраняют лучшее здоровье, и наоборот.

Для озеленения спортобъектов (на примере теннисной академии) разработаны практические рекомендации. В основной ассортимент включены три вида. Кипарис вечнозеленый (*Cupressus sempervirens* L.) рекомендуется создавать в виде ветрозащитных полос и живых изгородей. Сосну пинию (*Pinus pinea* L.) целесообразно высаживать одиночными экземплярами (солитерами) или формировать из нее аллейные посадки. Олива европейская (*Olea europaea* L.) оптимальна для размещения в зонах отдыха. Для магнолии крупноцветковой (*Magnolia grandiflora* L.) и кедра гималайского (*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don) обязательны устройство дренажной системы и применение корневых барьеров. Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.) разрешен к посадке исключительно мужскими экземплярами. Платан восточный (*Platanus orientalis* L.) не следует высаживать вблизи теннисных кортов и участков с твердым покрытием.

Впервые в условиях Южного берега Крыма проведена количественная оценка санитарного состояния семи значимых интродуцированных видов с применением непараметрических статистических методов. Разработана и прошла валидацию балльная система интегральной оценки жизнеспособности, адаптированная под особенности спортивных объектов, включая параметры корневой агрессивности, аллергенности и листопада. Данный подход может использоваться как для оптимизации существующего ассортимента зеленых насаждений, так и при проектировании новых спортивных комплексов в субтропическом климате. Полученные результаты способствуют более рациональному управлению дендрологическими ресурсами региона и повышению надежности и долговечности зеленых насаждений.

Целесообразно расширить перечень изучаемых пород (павловния, катальпа, кипарисовики), а также провести долгосрочный мониторинг приживаемости и санитарного состояния после фактической посадки. Перспективна автоматизация подбора ассортимента на основе созданной базы данных с весовыми коэффициентами и разработка программного модуля для ландшафтных архитекторов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Акимов Ю. А., Остапчук И. Ф., Захаренко Г. С. Методические рекомендации по применению местных и интродуцированных растений в санаторных парках Южного берега Крыма. Ялта: Никитский ботанический сад; 1987. 30 с. [Akimov Yu. A., Ostapchuk I. F., Zakharenko G. S. Methodological recommendations on the use of local and introduced plants in health resort parks of the Southern coast of Crimea. Yalta: Nikitsky Botanical Garden; 1987. 30 p.].

Баранова А. Ю., Токунова Г. Ф., Осокин А. И., Черных А. Г. Интеграция спортивной и зеленой инфраструктур на примере городов Финляндии. *Архитектура и строительство России*. 2025;(3):74-77. [Baranova A. Yu., Tokunova G. F., Osokin A. I., Chernykh A. G. Integration of sports and green infrastructures on the example of Finnish cities. *Arkhitektura i Stroitel'stvo Rossii = Architecture and Construction of Russia*. 2025;(3):74-77].

Герасимчук В. Н., Новицкий М. Л. Влияние эдафических факторов на жизненное состояние магнолии крупноцветковой (*Magnolia grandiflora* L.) в Никитском ботаническом саду. *Бюлл. Государственного Никитского ботанического сада*. 2021;(140):16-24. doi: 10.36305/0513-1634-2021-140-16-24 [Gerasimchuk V. N., Novitsky M. L. Influence of edaphic factors on the vital state of *Magnolia grandiflora* L. in the Nikitsky Botanical Garden. *Byull.' Gosudarstvennogo Nikitskogo Botanicheskogo Sada = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2021;(140):16-24. doi: 10.36305/0513-1634-2021-140-16-24].

Герасимчук В. Н., Новицкий М. Л., Новицкая А. П., и др. Эдафические факторы, влияющие на жизненное состояние магнолии крупноцветковой (*Magnolia grandiflora* L.) в условиях Южного берега Крыма. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2024;(2):35-43. [Gerasimchuk V. N., Novitsky M. L., Novitskaya A. P., et al. Edaphic factors affecting the vital state of Magnolia grandiflora L. on the Southern coast of Crimea. *Biologiya Rastenii i Sadovodstvo: Teoriya, Innovatsii = Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2024;(2):35-43].

Захаренко Г. С., Галушко Р. В., Шкарлет О. Д. Деревья и кустарники в озеленении Судака. *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 1985;(56):18-21. [Zakharenko G. S., Galushko R. V., Shkarlet O. D. Trees and shrubs in the landscaping of Sudak. *Byulleten' Nikitskogo Botanicheskogo Sada = Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden*. 1985;(56):18-21.]

Карпун Ю. Н. Субтропическая декоративная дендрология. СПб.: ВВМ; 2010. 580 с. [Karpun Yu. N. Subtropical ornamental dendrology. St. Petersburg: VVM; 2010. 580 p.].

Клемешова К. В. Благоустройство и озеленение парковой территории курортного района «Имеретинский» (г. Сочи). *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2023;85:48-58. doi: 10.31360/2225-3068-2023-85-48-59 [Klemeshova K. V. Landscaping of the park territory in the resort area "Imeretinsky" (Sochi). *Subtropicheskoe i Dekorativnoe Sadovodstvo = Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2023;85:48-58. doi: 10.31360/2225-3068-2023-85-48-59]

Клемешова К. В., Келина А. В., Слепченко Н. А. Современное состояние озелененных территорий города Сочи. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2019;(4):112-120. doi: 10.34677/0021-342-2019-4-112-120 [Klemeshova K. V., Kelina A. V., Slepchenko N. A. The current state of the green areas in Sochi. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii = Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2019;(4):112-120. doi: 10.34677/0021-342-2019-4-112-120].

Корсакова С. П., Ковалев М. С. Особенности фенологического развития некоторых видов декоративных интродуцентов на Южном берегу Крыма. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022;(97):95-100. doi: 10.21515/1999-1703-97-95-100 [Korsakova S. P., Kovalev M. S. Features of phenological development of some species of ornamental introducents on the Southern coast of Crimea. *Trudy Kubanskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022;(97):95-100. doi: 10.21515/1999-1703-97-95-100].

Кохно М. А., Кузнєцов С. І., та ін. Дендрофлора міст півдня УРСР. *Український ботанічний журнал*. 1983;40(5):12-14. [Kokhno M. A., Kuznetsov S. I., et al. Dendroflora of cities in the south of the Ukrainian SSR. *Ukrains'kyi Botanichnyi Zhurnal = Ukrainian Botanical Journal*. 1983;40(5):12-14].

Литвинская С. А. Чужеродная флора Краснодарского края и Крыма: анализ, инвазии, управление. Краснодар: Кубанский государственный университет; 2024. 312 с. [Litvinskaya S. A. Alien flora of Krasnodar Krai and Crimea: analysis, invasions, management. Krasnodar: Kuban State University; 2024. 312 p.].

Нгамбу Г. Г. Т., Тазина С. В. Анализ благоустройства и озеленения территории спортивных объектов. *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2021;(25):20-24. [Ngambu G. G. T., Tazina S. V. Analysis of improvement and landscaping of sports facilities. *Vestnik Landshaftnoi Arkhitektury = Bulletin of Landscape Architecture*. 2021;(25):20-24].

Плугатарь Ю. В., Шармагий А. К., Плугатарь С. А., и др. Методические рекомендации по подбору ассортимента декоративных растений для использования в озеленении Южного берега Крыма. Симферополь; 2022. 52 с. [Plugatar Yu. V., Sharmagiy A. K., Plugatar S. A., et al. Methodological recommendations for the selection of ornamental plants assortment for use in landscaping the Southern coast of Crimea. Simferopol; 2022. 52 p.].

Репецкая А. И., Захаренко Г. С., Маринова Ю. А., Макриди И. Б. Паркообразующие древесные породы Массандровского парка. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. 2015;1(67)(2):125-142. [Repetskaya A. I., Zakharenko G. S., Marinova Yu. A., Makridi I. B. Park-forming tree species of the Massandra Park. *Uchenye Zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya = Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2015;1(67)(2):125-142].

Сунгурова Н. Р., Страздаускене С. Р., Стругова Г. Н., и др. Ландшафтная организация территории спортивных сооружений в г. Архангельске. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2024;(251):45-61. doi: 10.21266/2079-4304.2024.251.45-61 [Sungurova N. R., Strazdauskene S. R., Strugova G. N., et al. Landscape organization of the territory of sports facilities in Arkhangelsk. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi Lesotekhnicheskoi Akademii = Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Academy*. 2024;(251):45-61. doi: 10.21266/2079-4304.2024.251.45-61].

Сухачева Е. Ю., Ревина Т. А. Почвенно-экологическое районирование Южного берега Крыма для целей интродукции древесных растений. *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 2020;(135):45-52. [Sukhacheva E. Yu., Revina T. A. Soil-ecological zoning of the Southern coast of Crimea for the purpose of introduction of woody plants. *Byulleten' Nikitskogo Botanicheskogo Sada = Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden*. 2020;(135):45-52].

Ghazalli F., Brack C., Bai X., Said I. Multi-criteria decision analysis for tree selection in urban green spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2018;34:302-312.

Meifang Su. Assessment of the resilience of urban tree species to climate change. *Journal of Sustainable Forestry*. 2024;43(1-4):112-128.

Wierzchowski P. S., Koryciński K., Żuk-Gołaszewska K. Root barriers as a method to mitigate tree root damage to paved surfaces. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2024;34(1):87-102.

Информация об авторе

Яковенко Наталия Владимировна, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, НИИ ИТЛК ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8, Россия e-mail: n.v.yakovenko71@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4203-0040.

Подласкина Светлана Юрьевна, соискатель кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения, ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8, Россия, e-mail: podlaskina@mail.ru, ORCID: 0009-0009-8172-1902.

Information about the author

Yakovenko Nataliya Vladimirovna, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chief Researcher, Research Institute of Innovative Technologies and Forestry Complex, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 394087, Voronezh, 8 Timiryazev Street, , Russia, e-mail: n.v.yakovenko71@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4203-0040.

Podlaskina Svetlana Yurievna, PhD Applicant, Department of Ecology, Forest Protection and Game Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 394087, Voronezh, 8 Timiryazev Street, , Russia, e-mail: podlaskina@mail.ru, ORCID: 0009-0009-8172-1902.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Author of this research paper has directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Author of this paper has read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Author declares no conflict of interest.

УДК 504.064 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.005.58-70

Биоиндикация факторов антропогенного стресса с применением насекомых-вредителей хвойного леса

Онистратенко Н. В.✉; Холоденко А. В.; Баранов В. С.
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет», г. Волгоград, Россия

Аннотация. Статья описывает результаты исследования жизненных и популяционных показателей наиболее часто встречающихся насекомых-фитофагов в условиях комплексного воздействия климатических и техногенных факторов, создающих общее состояние экологического стресса, обусловленного прямым и опосредованным прессингом аридизации, естественных и антропогенных пожаров, химического и биологического загрязнения.

Исследование проводилось на территории Волгоградской области в пределах 12 лесничеств, различавшихся по степени и механизмам антропогенного прессинга – Быковском, Волгоградском, Иловлинском, Калачёвском, Камышинском, Михайловском, Ольховском, Новоаннинском, Подтелковском, Светлоярском, Старополтавском и Урюпинском.

В ходе исследований были применены такие методы как сбор и обработка фактической информации непосредственно во время маршрутных обследований территорий лесничеств, ретроспективный анализ отчетной документации лесничеств, анализ литературных источников и материалов государственного лесопатологического мониторинга. Для выявления статистически значимых корреляционных связей применялись методы непараметрического корреляционного анализа, дисперсионный анализ. Достоверность различий между выборками с участков с разным уровнем нагрузки оценивалась с использованием U-критерия Манна-Уитни.

Анализ применимости филлофагов и ксилофагов в качестве организмов-биоиндикаторов выявил наиболее перспективные для данной методики виды. Также в статье приводятся результаты апробации собственной балльной системы оценки уровня экологического благополучия древесных насаждений с учетом степени пораженности лесонасаждений насекомыми-вредителями. Интегральный индекс, рассчитанный по комплексу биоиндикационных и лесоводственных показателей, выявил пять лесничеств с напряженной экологической ситуацией (Иловлинское, Калачёвское, Подтелковское, Старополтавское и Урюпинское), где плотность популяций хвоегрызущих пилильщиков достигает максимальных значений

Ключевые слова. Биоиндикация; ксилофаги; филлофаги; антропогенный прессинг; лесные насаждения.

Цитирование. Онистратенко Н. В., Холоденко А. В., Баранов В. С. Биоиндикация факторов антропогенного стресса с применением насекомых-вредителей хвойного леса // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):58-70. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.005.58-70.

Поступила в редакцию:24.08.2026 Принята к печати:09.09.2026

UDC 504.064 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.005.58-70

Bioindication of anthropogenic stress using insect pests of coniferous forests

Onistratenko N. V.✉; Kholodenko A. V.; Baranov V. S.
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Volgograd State University", Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of a study of the life-history and population parameters of the most common phytophagous insects under the combined effects of climatic and human-induced stressors. These stressors contribute to an overall state of environmental stress through direct

✉ – Для контактов/Corresponding author

and indirect pressures associated with aridification, wildfires and human-caused fires, and chemical and biological pollution. The study was conducted across 12 forest districts in Volgograd Region that differed in the intensity and mechanisms of anthropogenic pressure: Bykovsky, Volgogradsky, Ilovlinsky, Kalachevsky, Kamyshinsky, Mikhailovsky, Olkhovsky, Novoanninsky, Podtelkovsky, Svetloyarsky, Staropoltavsky, and Uryupinsky. Field data were collected during surveys conducted along predetermined routes within the forest districts. The study also included a retrospective analysis of forest district records, a review of published literature, and an analysis of data from the State Forest Pathology Monitoring program. Nonparametric correlation analysis was used to identify statistically significant associations between variables, while analysis of variance (ANOVA) was used to assess variation among groups. Differences between samples collected from sites exposed to different levels of anthropogenic pressure were evaluated using the Mann-Whitney U test. The suitability of phyllophagous and xylophagous insects as bioindicators was assessed, and the species most promising for this purpose were identified. The study also tested an original scoring system developed by the authors to evaluate the ecological condition of forest stands while accounting for the extent of insect pest damage. An integrated index calculated from a combination of bioindication and silvicultural indicators classified five forest districts – Ilovlinsky, Kalachevsky, Podtelkovsky, Staropoltavsky, and Uryupinsky – as environmentally stressed. These districts had the highest population densities of conifer-feeding sawflies.

Keywords. Bioindication; xylophagous insects; phyllophagous insects; anthropogenic pressure; forest stands.

For citation. Onistratenko N. V., Kholodenko A. V., Baranov V. S. Bioindication of anthropogenic stress factors using pest insects of coniferous forests // Scientific Agronomy Journal. 2026;3(134):58-70. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.005.58-70.

Received: 24.08.2026 Accepted: 09.09.2026

Введение. Современное развитие экономической деятельности человека характеризуется беспрецедентным воздействием на природные экосистемы. Промышленные предприятия, агропромышленные комплексы, транспортная инфраструктура и производство энергии способствуют экономическому росту и социальной стабильности, но они также создают серьезные экологические проблемы. По данным Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, в 2024 г. было зафиксировано 1,472 млн случаев превышения допустимой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, что на 16 % выше показателя 2023 г.[1].

Особую озабоченность вызывает состояние лесных экосистем, которые выполняют ключевые экологические, водоохранные, климаторегулирующие и рекреационные функции. Российские леса не только удовлетворяют экономические потребности страны в древесине, но и играют решающую роль в обеспечении экологической безопасности: поглощают парниковые газы, регулируют сток воды и сохраняют биоразнообразие. В 2024 г. Российская Федерация занимала четвертое место в мире по общему объему выбросов парниковых газов, демонстрируя последовательный многолетний устойчивый рост. В этих условиях способность лесных экосистем к регенерации и поддержанию экологического равновесия снижается.

Южный федеральный округ (ЮФО) является одним из наиболее экологически уязвимых регионов России. Территории Астраханской, Ростовской и Волгоградской обл. характеризуются засушливым климатом, частыми засухами, дефицитом воды и низкой устойчивостью природных систем к антропогенным воздействиям. По данным государственного лесопатологического мониторинга, на конец 2024 г. площадь насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью составляла 11,4 тыс. га в Астраханской обл., 30,0 тыс. га в Ростовской обл. и 42,7 тыс. га в Волгоградской обл.[2]. Основными факторами, способствующими ослаблению ле-

[1] Антропогенное воздействие на окружающую среду Арктической зоны Российской Федерации: официальный доклад / Минприроды России. – М.: Минприроды России, 2017. – 48 с.

[2] Материалы государственного лесопатологического мониторинга лесов Астраханской, Волгоградской и Ростовской областей за 2024 год / Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «Центр защиты леса Волгоградской области». – Волгоград, 2025. – 500 с.

сов, являются лесные пожары, неблагоприятные погодные условия и ущерб, причиняемый вредителями (Кубасов и др., 2010).

В этих условиях разработка и внедрение эффективных методов оценки экологического состояния природных систем приобретает особое значение, поскольку они позволяют не только фиксировать уже произошедшие изменения, но и выявлять негативные процессы на ранней стадии. Комплексная оценка состояния естественных и антропогенно измененных экосистем требует использования биоиндикации наряду с химико-аналитическими и аппаратными методами (Рассадина, 2007).

Насекомые-вредители лесов занимают особое место в исследованиях биоиндикации. Изменения в численности популяций, видовом составе комплексов вредителей и динамике очагов массового размножения напрямую отражают физиологическое состояние деревьев, которое, в свою очередь, зависит от уровня антропогенной нагрузки (Иванцова, 2013; Иванцова, Вострикова, 2015; Синицына, Федосеев, 2023). Значительный вклад в изучение насекомых-вредителей защитных лесных насаждений аридной зоны внесла Е. А. Иванцова[1, 2] с соавторами. В ее работах (Иванцова, 2013; Иванцова, Вострикова, 2015) раскрываются эколого-фаунистические характеристики паразитов и вредителей, зоогеографическая структура энтомокомплексов агролесоландшафтов Нижнего Поволжья, а также вопросы многоядных вредителей и мер защиты.

Именно актуальность расширения биоиндикационного инструментария обосновала цель нашего исследования – анализ санитарного и лесопатологического состояния искусственных хвойных насаждений Южного федерального округа и оценку возможности использования насекомых-вредителей в качестве биоиндикаторов антропогенного стресса.

Материалы и методы. По состоянию на 1 января 2024 г. общая площадь лесов в Волгоградской обл. составляла 680000 га, из которых 464700 га были заняты лесными насаждениями, что составляет 68,3 % от общей площади лесов. Это означает, что лесистость региона не превышает 4,2 %. Подавляющее большинство лесных насаждений имеют искусственное происхождение (следует отметить широкое использование хвойных пород, в первую очередь – сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L.) и были созданы в рамках государственных программ защитного лесоразведения с середины XX века. Естественные лесные сообщества фрагментированы и встречаются в основном в поймах рек (пойменные дубравы, ивняки и ольховые леса), оврагах и песчаных зонах речных террас (Кузенко, Кошелев, 2025).

Расположенные на территории области лесничества стали теми географическими объектами, в пределах которых осуществлялась биоиндикационная оценка влияния комплекса антропогенных факторов. Расположенные в районах области (рис. 1) лесничества подвержены влиянию климатических факторов, а также хозяйственному, промышленному и транспортному прессингу в разной степени.

Сбор и обработка фактической информации проводились в полевой период исследований (март – ноябрь 2024 г., учитывая фенологию исследуемых видов) непосредственно во время маршрутных обследований территорий лесничеств, с применением справочной литературы и определителей, а также в ходе ретроспективного анализа отчетной документации лесничеств за анализируемый период.

На основании анализа литературных[3,, 4] источников (Иванцова, Вострикова, 2015; Криволуцкий и др., 2019) и материалов государственного лесопатологического мониторинга за 2024 г. можно сформулировать следующие критерии, которым должны отвечать виды-индикаторы для целей биоиндикации антропогенного стресса: чувствительность к фактору;

---

[1] Иванцова Е. А. Многоядные вредители и меры защиты // Волгоградский фермер. – 2014. – № 2. – С. 26-27.

[2] Иванцова Е.А. Экологическое значение защитных лесных насаждений в Нижнем Поволжье // Научно-производственное обеспечение инновационных процессов в орошаемом земледелии Северного Прикаспия. – М.: Изд-во «Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук», 2013. – С. 31-35.

[3] Ирковский Э. Р. Дубовая зеленая листовертка как индикатор состояния дубового насаждения. – [Б. м.], [б. г.].

[4] Патент РФ № 2154372, МПК A01G 23/00, A01M 1/00. Способ оценки жизнеспособности лесных насаждений / В. В. Царалунга, А. В. Царалунга; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. лесотехн. акад. – № 98123039/13 ; заявл. 18.12.1998 ; опубл. 20.08.2000.

достаточная численность и встречаемость; удобство учета; экологическая значимость; достаточная изученность.

Руководствуясь перечисленными критериями и принимая во внимание результаты анализа материалов государственного лесопатологического мониторинга за 2024 г., для проведения биоиндикационных исследований в искусственных хвойных лесах Волгоградской области предлагаются следующие модельные группы:

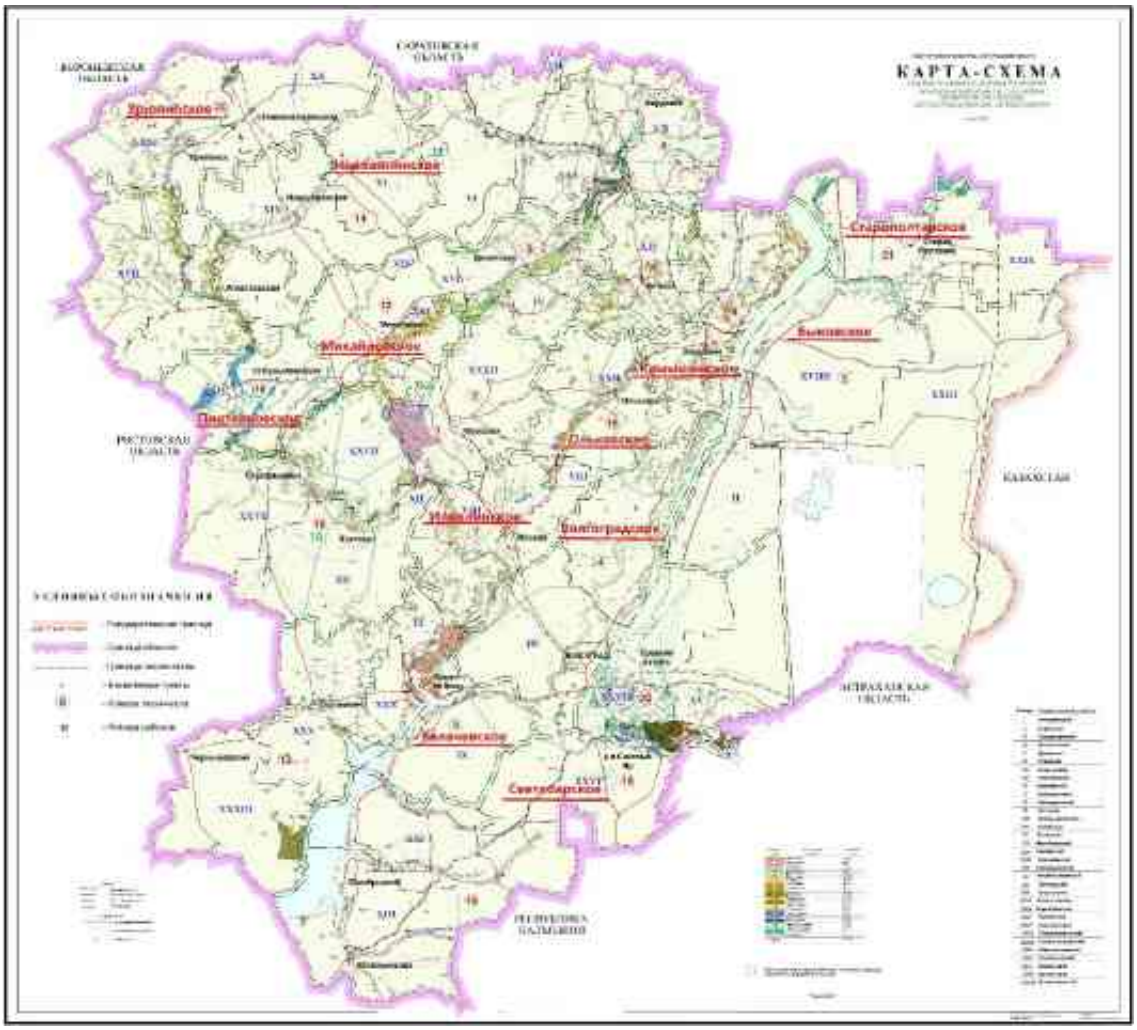

Рис. 1. Лесничества Волгоградской обл. *выбранные для исследования лесничества выделены красным подчеркиванием)*

1. Рыжий сосновый пилильщик (*Neodiprion sertifer*). Вид широко распространен на территории области, где его устойчивые очаги действуют на площади 6197 га, его численность легко поддается инструментальному учету. Анализ динамики численности и фазового состояния очагов данного фитофага может служить индикатором экологического неблагополучия, вызванного засухами, пожарами и антропогенным загрязнением (Иванцова, Вострикова, 2015; Колтунов, Ердаков, 2015).

2. Комплекс стволовых вредителей (ксилофагов) сосны, заселяющих ослабленные и усыхающие деревья[1]. Видовой состав ксилофагов, плотность их поселения и характер распределения по стволу являются надежными критериями степени физиологического ослабления древостоя (Трофимов, 2014).

Оценка антропогенного стресса с использованием выбранных видов-индикаторов осуществляется на основе сопоставления их популяционных характеристик на участках с контрастным уровнем антропогенной нагрузки – от условно фоновых (контрольных) до им-

[1]Индекс загрязнения атмосферы в Волгограде и Волжском вырос втрое // Новости экологии Волгограда: [сайт]. – 2024. – URL: https://ecology34.ru/news/air-quality-2024 (дата обращения: 15.04.2025).

пактных зон (промышленные эмиссии, рекреационные зоны, гари). Применяются следующие методические подходы: закладка сети постоянных пунктов наблюдения в насаждениях, однородных по таксационным показателям, но различающихся по степени антропогенного воздействия; учет зимующего запаса рыжего соснового пилильщика в осенний период путем взятия почвенно-подстилочных проб на площадках размером 1 × 1 м (в трехкратной повторности для каждого пункта наблюдения) с последующей сортировкой коконов по категориям и расчетом средней плотности здорового зимующего запаса (Гниненко и др., 2015); оценка степени дефолиации крон по стандартной шкале для калибровки данных о плотности популяции вредителя (Лямцев, 2015); учет плотности поселения вершинного короеда на модельных деревьях III-V категорий (по 3 модельных дерева каждой категории) состояния путем закладки палеток размером 20 × 25 см на высоте 1,3 и 5,5 м с подсчетом числа брачных камер и маточных ходов и выражением плотности поселения как числа семей на 1 дм^2 (Мешкова и др., 2009); расчет интегральных индексов, характеризующих уровень антропогенного стресса – коэффициента дефолиации, индекса агрессивности ксилофагов, коэффициента хронической вспышки пилильщика.

В качестве показателей обилия хвоегрызущих вредителей использованы: для рыжего соснового пилильщика – средняя плотность здоровых коконов в подстилке (экз./м^2) по данным осенних учетов; для пилильщиков-ткачей – плотность здоровых пронимф (экз./м^2); для соснового шелкопряда и сосновой совки – площадь действующих очагов (га) как интегральный показатель численности. Для стволовых вредителей привлечены данные о площадях отработанных ксилофагами насаждений.

Для выявления статистически значимых корреляционных связей между популяционными показателями насекомых-индикаторов и факторами антропогенного стресса (расстояние до источника эмиссии, плотность рекреационной нагрузки, степень постпирогенного повреждения, значения гидротермического коэффициента) применяются методы непараметрического корреляционного анализа (коэффициент ранговой корреляции Спирмена), дисперсионный анализ (ANOVA) (Овсянникова и др., 2026). Достоверность различий между выборками с участков с разным уровнем нагрузки оценивается с использованием U-критерия Манна-Уитни (Mann, Whitney, 1947).

Результаты. Анализ выполнен по 12 лесничествам, в которых в 2024 г. зафиксированы действующие очаги рыжего соснового пилильщика, и по 9 лесничествам – для пилильщиков-ткачей. В табл. 1 систематизированы популяционные показатели вредителей и факторы ослабления насаждений для ряда репрезентативных лесничеств.

Представленные данные демонстрируют, что максимальные показатели плотности зимующего запаса рыжего соснового пилильщика (8-11 экз./м^2) приурочены к Иловлинскому, Новоаннинскому, Урюпинскому, Светлоярскому и части очагов Быковского лесничеств. Все указанные территории характеризуются высокой долей насаждений, ослабленных засухами. В Иловлинском и Волгоградском лесничествах к хроническому водному стрессу добавляется значительная площадь гарей (730 и 911 га соответственно), что усугубляет ослабление сосняков и создает благоприятные условия для роста численности филлофагов (Иванцова, Вострикова, 2015).

Для звездчатого пилильщика-ткача максимальная плотность пронимф зафиксирована в Калачёвском лесничестве (20-27 экз./м^2), где площадь поврежденных засухой и пожарами насаждений достигает 3249 и 842 га соответственно. В Ольховском лесничестве в 2024 г. средняя численность вредителя составляла 24 здоровых пронимфы на 1 м^2. Высокая численность вредителя в Камышинском лесничестве (12-17 экз./м^2) также согласуется со значительной площадью гарей (890 га).

Красноголовый пилильщик-ткач представлен крупными очагами в Михайловском (1613,5 га) и Светлоярском (316,4 га) лесничествах. В Михайловском лесничестве при площади очагов звездчатого и красноголового пилильщиков-ткачей свыше 1600 га фоновый уровень антропогенной нагрузки определяется сочетанием засухи (1310,2 га ослабленных насаждений) и последствий пожаров (327,3 га)

Сосновая совка и сосновый шелкопряд представлены локально. Очаги сосновой совки в Волгоградской области в 2024 г. не регистрировались, однако в Ростовской обл. они занимали 490,1 га, что свидетельствует о потенциальной угрозе для волгоградских сосняков при нарас-

тании стрессовых факторов. Сосновый шелкопряд отмечен лишь в Старополтавском лесничестве на площади 6,6 га, что указывает на начальную стадию формирования очага в условиях максимальной в области площади гарей (1080,9 га).

Таблица 1

Показатели обилия хвоегрызущих вредителей и степень антропогенной нагрузки в лесничествах Волгоградской обл. на конец 2024 г. (составлено авторами по данным государственного лесопатологического мониторинга лесов Астраханской, Волгоградской и Ростовской обл. за 2024 г.)

Лесничество	Плотность, экз./м^2			Площадь, га				
	коконов рыжего соснового пилильщика	пронимф звездчатого пилильщика-ткача	пронимф красноголового пилильщика-ткача	очагов сосновой совки	очагов соснового шелкопряда	насаждений, поврежденных засухой	гарей	отработанных стволовыми вредителями насаждений
Быковское	2-9	-	-	-	-	534,9	76,5	0
Волгоградское	5-7	8,0	-	-	-	2468,3	910,9	0
Иловлинское	6-11	-	-	-	-	743,4	730,1	0
Калачёвское	-	20-27	-	-	-	3249,2	842,2	0
Камышинское	3-6	12-17	-	-	-	254,3	890,2	0
Михайловское	-	-	-	1613,5 (очагов пилильщика-ткача красноголового)	-	1310,2	327,3	0
Ольховское	-	7,0	-	-	-	2047,0	228,7	0
Новоаннинское	3-8	6-8	-	-	-	3117,6	53,0	0
Подтелковское	3-8	7-16	-	-	-	3429,2	718,1	0
Светлоярское	8,0	-	316,4 (площадь очагов)	-	-	519,3	113,6	0
Старополтавское	4-6	6-7	-	-	6,6	370,5	1080,9	0
Урюпинское	5-10	5,0	-	-	-	2048,9	415,7	0

Примечание: прочерком в таблице отмечено отсутствие индикаторного вредителя в результатах обследования учетных площадок, что является важным сигналом о степени экологического благополучия лесных насаждений.

Особого внимания заслуживают стволовые вредители. По данным ГЛПМ, в Волгоградской обл. в 2024 г. отработанные ксилофагами насаждения зафиксированы преимущественно в Среднеахтубинском лесничестве (152,8 га ясеневых и 4,5 га дубовых насаждений), а также локально в Лещевском, где отмечена гибель насаждений от златки ясеневой изумрудной узкотелой. В сосновых насаждениях области очаги вершинного короеда (*Ips acuminatus*) и других стволовых вредителей хвойных пород в 2024 г. не регистрировались, что указывает на то, что степень ослабления сосняков, несмотря на высокую численность хвоегрызущих филлофагов, в большинстве лесничеств еще не достигла критического уровня, при котором происходит массовое заселение деревьев ксилофагами.

Для оценки уровня антропогенного стресса использованы следующие группы данных:

1. Промышленное загрязнение. Волгоградская область относится к регионам с высокой техногенной нагрузкой. По данным доклада о состоянии окружающей среды, в 2024 г. индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) в Волгограде и Волжском вырос втрое по сравнению с 2020 г.,

достигнув 7,7 единицы (категория «повышенного» загрязнения)[1]. Основные источники выбросов – предприятия топливной энергетики, машиностроения, металлургии, нефтехимии, а также автомобильный транспорт, общий объем выбросов которого в 2024 г. составил 79,5 тыс. т. Наибольшее количество жалоб населения на загрязнение воздуха поступает из Красноармейского (52 %), Тракторозаводского и Дзержинского р-нов Волгограда, что связано с высокой концентрацией промышленных предприятий.

2. Лесные пожары. В 2024 г. на территории Волгоградской обл. зарегистрирован 301 природный пожар, главной причиной которых явился человеческий фактор – неосторожное обращение с огнем[2]. Площадь поврежденных и погибших от огня насаждений на конец года составила 10,96 тыс. га[2].

3. Засухи как антропогенно-климатический фактор. Площадь насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью от неблагоприятных погодных условий (преимущественно засух) составила 30,4 тыс. га.

Регистрируемое в Волгоградской обл. промышленное загрязнение носит преимущественно локальный характер и сконцентрировано в городских агломерациях (Волгоград, Волжский). Лесные массивы, в которых действуют очаги хвоегрызущих вредителей, удалены от основных промышленных зон, поэтому прямой корреляции между плотностью выбросов и численностью филлофагов в масштабах области не обнаруживается. Антропогенный стресс проявляется опосредованно – через климатические изменения (учащение засух) и лесные пожары, подавляющая часть которых имеет антропогенное происхождение. Именно сочетанное действие дефицита влаги и постпирогенного ослабления выступает ведущим предиктором вспышек массового размножения рассмотренных видов.

Сравнительный анализ подтверждает биоиндикационную информативность показателей обилия хвоегрызущих филлофагов. Плотность зимующего запаса рыжего соснового пилильщика и пилильщиков-ткачей закономерно возрастает в лесничествах с наибольшей площадью ослабленных засухой и пройденных пожарами насаждений. Комплекс стволовых вредителей, напротив, остается в латентном состоянии и может служить индикатором перехода экосистемы в критическую стадию деградации. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование данных показателей для интегральной оценки степени антропогенного стресса хвойных экосистем Волгоградской обл.

Методика интегральной оценки. Интерпретация результатов биоиндикации осуществляется с использованием разработанной авторами шкалы, в рамках которой выделяются четыре уровня антропогенного стресса – низкий (фоновый), средний, высокий и критический – с соответствующими каждому уровню диапазонами значений плотности коконов пилильщика, степени дефолиации, плотности поселения короеда и доли заселенных деревьев.

Для расчета степени экологического благополучия были отобраны 12 лесничеств Волгоградской обл., в которых, по данным ГЛПМ за 2024 г., зафиксированы действующие очаги массового размножения хвоегрызущих вредителей. Оценка проводилась по трем группам показателей, каждая из которых отражает определенный аспект состояния лесной экосистемы.

Первую группу составили биоиндикационные показатели, характеризующие отклик популяций филлофагов на ослабление кормовых пород: плотность здоровых коконов рыжего соснового пилильщика (экз./м^2) и плотность здоровых пронимф звездчатого пилильщика-ткача (экз./м^2), а также общая площадь очагов хвоегрызущих вредителей (га) как мера пространственного охвата дефолиацией. Вторую группу – показатели санитарного состояния насаждений: удельная гибель лесов от всех причин (отношение площади погибших насаждений к покрытой лесом площади лесничества в тысячах гектаров) и плотность очагов вредителей и болезней леса (отношение площади очагов к покрытой лесом площади, га/тыс. га). Тре-

[1]Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году / Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. — Волгоград: Комитет природных ресурсов, 2025. – 212 с.

[2]Сведения о лесных пожарах, действовавших в 2024 году на территории Волгоградской области / ГУ МЧС России по Волгоградской области // Официальный сайт ГУ МЧС России по Волгоградской области: [сайт]. – 2025. – URL: https://34.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/2024-pozhary (дата обращения: 22.01.2025).

тью группу – показатели стрессовой нагрузки: доля насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью от лесных пожаров и засух в общей площади поврежденных древостоев (%), отражающая вклад ведущих факторов ослабления.

Для каждого показателя были установлены пороговые значения, соответствующие четырем градациям экологического благополучия: I – благополучное (низкий уровень стресса), II – относительно благополучное (средний уровень), III – напряженное (высокий уровень), IV – критическое (чрезвычайно высокий уровень). Соответствие фактических значений пороговым интервалам оценивалось в баллах от 1 (благополучное) до 4 (критическое). Интегральный индекс экологического неблагополучия (I) рассчитывался как среднее арифметическое балльных оценок по всем используемым показателям. На основании значения интегрального индекса каждое лесничество отнесено к одной из четырех категорий: благополучное (I ≤ 1,5), относительно благополучное (1,6-2,5), напряженное (2,6-3,5), критическое (3,6-4,0).

Выбор именно такого набора показателей обусловлен их высокой информативностью, подтвержденной в ходе предшествующего анализа, а также доступностью в материалах государственного лесопатологического мониторинга, что обеспечивает воспроизводимость методики.

Значения исходных показателей и результаты их балльной оценки для исследуемых лесничеств систематизированы в табл. 2. Для каждого лесничества приведены фактические данные, использованные при расчете интегрального индекса.

Таблица 2

Балльная оценка экологического благополучия искусственных хвойных насаждений Волгоградской обл. по данным 2024 г. (составлено авторами по данным государственного лесопатологического мониторинга лесов Астраханской, Волгоградской и Ростовской обл. за 2024 г.)

Лесничество	Средняя плотность, экз./м^2(балл)		Площадь очагов хвоегрызущих вредителей, га(балл)	Удельная гибель лесов, балл	Плотность очагов вредителей и болезней, балл	Доля пожаров и засух в ослаблении насаждений, %(балл)	Сумма баллов	Интегральный индекс (I)	Категория благополучия
	коконов рыжего соснового пилильщика	пронимф звездчатого пилильщика-ткача							
Быковское	2-9(3)	-(1)	726,8(2)	0,99(2)	222,26 (4)	89(3)	15	2,5	Относительно благополучное
Волгоградское	5-7(3)	8,0(2)	21,6(1)	2,19(3)	1,13(1)	95(4)	14	2,3	
Иловлинское	6-11(4)	-(1)	1031,7(3)	0,03(1)	57,14(3)	97(4)	16	2,7	Напряженное
Калачёвское	-(1)	20-27(4)	1932,0(4)	0,25(1)	154,80 (4)	93(4)	18	3,0	
Камышинское	3-6(2)	12-17(3)	583,1(2)	0,12(1)	71,82(3)	91(3)	14	2,3	Относительно благополучное
Михайловское	-(1)	-(1)	1613,5(4)	0,23(1)	79,47(3)	87(3)	13	2,2	
Ольховское	-(1)	7,0(2)	818,8(3)	0,07(1)	41,80(2)	82(3)	12	2,0	
Новоаннинское	3-8(2)	6-8(2)	985,6(3)	0,20(1)	54,50(3)	98(4)	15	2,5	
Подтелковское	3-8(2)	7-16(3)	1581,3(4)	1,68(3)	40,39(2)	88(3)	17	2,8	Напряженное
Светлоярское	8,0(3)	-(1)	401,9(2)	1,93(3)	57,60(3)	68(2)	14	2,3	Относительно благополучное
Старополтавское	4-6(2)	6-7(2)	426,3(2)	6,14(4)	73,21(3)	97(4)	17	2,8	Напряженное
Урюпинское	5-10(3)	5,0(2)	1261,4(4)	0,81(2)	36,98(2)	95(4)	17	2,8	

Анализ полученных результатов позволяет дифференцировать исследуемые лесничества по степени экологического благополучия. К категории «напряженное» отнесены пять лесничеств – Иловлинское, Калачёвское, Подтелковское, Старополтавское и Урюпинское. Для этих территорий характерно сочетание высоких значений плотности популяций хвоегрызущих вредителей и значительной доли насаждений, ослабленных пожарами и засухами (от 88 до 98 %). В Калачёвском и Старополтавском лесничествах ситуация усугубляется экстремально высокой плотностью очагов вредителей и болезней (154,8 и 73,21 соответственно), что свидетельствует о масштабном неблагополучии лесных массивов. В Старополтавском лесничестве зафиксирован максимальный среди всех анализируемых территорий показатель удельной гибели лесов (6,14), что многократно превышает среднеобластной уровень (0,71) и однозначно указывает на критический характер деградационных процессов.

Остальные семь лесничеств вошли в категорию «относительно благополучное». Несмотря на наличие действующих очагов хвоегрызущих вредителей и значительные масштабы повреждения засухами, интегральные показатели здесь ниже, чем в группе напряженных территорий, прежде всего за счет меньшей плотности очагов вредителей и болезней и относительно невысокой удельной гибели. Исключение составляет Волгоградское лесничество, где при низкой плотности очагов (1,13) удельная гибель достигает значения 2,19, что связано с обширными площадями ослабленных засухой и пожарами насаждений.

Матрица коэффициентов ранговой корреляции Спирмена, отражающая силу и направленность связей между популяционными показателями хвоегрызущих вредителей и факторами антропогенного и климатического стресса, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (rs) между популяционными показателями хвоегрызущих вредителей и факторами стресса (n = 12) (составлено авторами по данным государственного лесопатологического мониторинга лесов Астраханской, Волгоградской и Ростовской обл. за 2024 г.)

Показатель (биоиндикационный отклик)	Площадь гарей, га	Площадь ослабленных засухой насаждений, га	Удельная гибель лесов	Доля пожаров и засух в ослаблении, %
Средняя плотность коконов рыжего соснового пилильщика	0,68*	0,21	0,18	0,48
Средняя плотность пронимф звездчатого пилильщика-ткача	0,73*	0,35	0,09	0,64*
Общая площадь очагов хвоегрызущих вредителей	0,45	0,61*	0,52	0,71*

*Примечание: * – корреляция статистически значима на уровне p < 0,05.*

Анализ полученных данных позволяет выделить несколько принципиальных закономерностей. Прежде всего, обращает на себя внимание статистически значимая положительная корреляция средней силы между плотностью коконов рыжего соснового пилильщика и площадью гарей в лесничестве (rs = 0,68, p = 0,015). Это означает, что с увеличением площади насаждений, пройденных лесными пожарами, закономерно возрастает плотность зимующего запаса доминирующего хвоегрызущего филлофага. Данный результат полностью согласуется с теоретическими представлениями о механизмах ослабления сосняков под действием пирогенного фактора: огневые повреждения корневых систем и стволов, деградация ассимиляционного аппарата и послепожарное снижение резистентности деревьев создают оптимальные условия для выживания и размножения пилильщика (Иванцова, Вострикова, 2015). Учитывая, что практически все лесные пожары в регионе носят антропогенный характер, выявленная корреляция служит прямым подтверждением биоиндикационной роли рыжего соснового пилильщика в оценке антропогенной нагрузки.

Аналогичная, но несколько более сильная корреляционная связь обнаружена между плотностью пронимф звездчатого пилильщика-ткача и площадью гарей (rs = 0,73, p = 0,030). Кроме того, для этого вида зафиксирована значимая корреляция с долей пожаров и засух в общей структуре

ослабления насаждений (rs = 0,64, p = 0,046), что указывает на его чувствительность к совокупному действию пирогенного и климатического стрессоров. Полученные данные позволяют рассматривать звездчатого пилильщика-ткача как более специфичного индикатора постпирогенного ослабления сосняков по сравнению с рыжим сосновым пилильщиком.

Обсуждение. Общая площадь очагов хвоегрызущих вредителей демонстрирует статистически значимую прямую корреляцию с площадью засухо-ослабленных насаждений (rs = 0,61, p = 0,035) и долей пожаров и засух в ослаблении (rs = 0,71, p = 0,010). Это свидетельствует о том, что пространственная экспансия филлофагов определяется сочетанным действием обоих ведущих факторов стресса, и подтверждает правомерность использования данного показателя в качестве интегрального биоиндикационного критерия.

Статистически значимой корреляции плотности популяций вредителей с удельной гибелью лесов не выявлено ни для одного из рассмотренных видов (rs от 0,09 до 0,52, p > 0,05). Данный факт имеет важное методическое значение: он подтверждает, что хвоегрызущие вредители маркируют ранние и средние стадии ослабления насаждений, в то время как удельная гибель отражает уже конечную, необратимую фазу деградации. Следовательно, мониторинг популяций пилильщиков позволяет выявлять экологическое неблагополучие на более ранних этапах, когда насаждение еще сохраняет потенциал к восстановлению.

Следует отметить, что прямая корреляция плотности вредителей с площадью засухо-ослабленных насаждений оказалась статистически незначимой для рыжего соснового пилильщика (rs = 0,21) и звездчатого пилильщика-ткача (rs = 0,35) при рассмотрении этого фактора изолированно. Вероятной причиной является то, что хронический водный дефицит, действуя на обширных территориях, создает фоновый уровень ослабления сосняков, на который накладывается локальное воздействие пожаров, выступающее триггером вспышки. Иными словами, засуха формирует предпосылки для роста численности филлофагов, но реализация этого потенциала происходит при дополнительном воздействии антропогенного фактора – пожара.

Биоиндикационная интерпретация. Проведенный корреляционный анализ позволяет предложить биоиндикационную шкалу для оценки степени антропогенной нагрузки на искусственные хвойные насаждения Волгоградской обл. по комплексу популяционных показателей хвоегрызущих пилильщиков.

Исходя из сформулированных ранее критериев (чувствительность к фактору, массовость, удобство учета, экологическая значимость и изученность) и опираясь на анализ данных государственного лесопатологического мониторинга (ГЛПМ) Волгоградской обл. за 2024 г., в качестве модельных организмов-индикаторов антропогенного прессинга на искусственные хвойные экосистемы региона предлагаются два вида: рыжий сосновый пилильщик (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) и вершинный короед (*Ips acuminatus* Gyll.). Эти представители хвоегрызущей и стволовой экологических групп соответственно позволяют оценивать разные стадии деградации насаждений – от хронического ослабления до критического распада.

Рыжий сосновый пилильщик является доминирующим видом среди хвоегрызущих вредителей в лесах Волгоградской обл. В 2024 г. действующие очаги этого фитофага зафиксированы в двенадцати лесничествах на общей площади 6197 га, что составляет 47,8 % от площади всех очагов хвоегрызущих насекомых региона. Биоиндикационная ценность вида определяется следующими особенностями его биологии и экологии: чувствительностью к состоянию кормового растения (ослабление сосны под действием водного дефицита или техногенного загрязнения приводит к повышению содержания растворимых углеводов и свободных аминокислот в хвое, что способствует увеличению выживаемости личинок, сокращению сроков их развития и росту плодовитости имаго); удобством количественного учета (зимующий запас популяции определяется методом раскопок лесной подстилки на стандартных учетных площадках размером 1 м^2, при этом средняя численность здоровых коконов на 1 м^2 в очагах 2024 г. варьировала от 2 до 11 экземпляров при общем среднем по области значении 6 шт./м^2); четкой фазовой динамикой (популяция проходит продромальную, эруптивную и кризисную стадии; переход вспышки в хроническую эруптивную фазу служит надежным сигналом о постоянном действии стрессового фактора на экосистему).

Вершинный короед является одним из наиболее агрессивных представителей комплекса стволовых вредителей сосны в аридной зоне. Его очаги регулярно формируются в насаждениях, пройденных пожарами, подвергшихся длительному воздействию засухи или поврежденных хвоегрызущими фитофагами. Для Волгоградской обл. характерна тесная сопряженность очагов короеда с участками, где санитарно-оздоровительные мероприятия проведены в недостаточном объеме, что ведет к накоплению фаутной древесины и захламленности. Биоиндикационная роль вершинного короеда базируется на следующих положениях: индикация критической стадии ослабления (заселению подвергаются исключительно деревья с сильно подавленными защитными механизмами, прежде всего с резко сниженным смоловыделением; здоровое дерево успешно заливает смолой попытки внедрения жуков под кору, тогда как в ослабленном древостое эта защита практически отсутствует) (Иванцова, Вострикова, 2015); измеримость популяционных параметров (количественными критериями служат плотность поселения - число материнских ходов или брачных камер на 1 дм^2 поверхности ствола, продукция – количество вылетевшего молодого поколения и короедный запас – количество зимующих особей под корой); завершающая роль в процессе деградации (массовое размножение вершинного короеда, как правило, завершает процесс распада древостоя, начавшийся под воздействием первичных стрессоров, и указывает на переход насаждения в категорию необратимой деградации).

Заключение. Биоиндикационная оценка искусственных хвойных насаждений двенадцати лесничеств Волгоградской области, осуществленная на основе разработанной балльной методики, позволила количественно дифференцировать исследуемые территории по степени экологического благополучия. Интегральный индекс, рассчитанный по комплексу биоиндикационных и лесоводственных показателей, выявил пять лесничеств с напряженной экологической ситуацией (Иловлинское, Калачёвское, Подтелковское, Старополтавское и Урюпинское), где плотность популяций хвоегрызущих пилильщиков достигает максимальных значений, а доля насаждений, ослабленных пожарами и засухами, превышает 88 %. Остальные лесничества отнесены к категории относительно благополучных, что отражает общий неблагоприятный фон состояния сосняков региона, однако свидетельствует о сохранении ими потенциала к самовосстановлению.

Корреляционный анализ подтвердил наличие статистически значимых положительных связей между популяционными показателями видов-индикаторов и факторами антропогенного и климатического стресса. Установлена прямая корреляция средней силы между плотностью коконов рыжего соснового пилильщика и площадью гарей в лесничествах ($r_s = 0{,}68$, $p = 0{,}015$), а также между плотностью пронимф звездчатого пилильщика-ткача и площадью гарей ($r_s = 0{,}73$, $p = 0{,}030$). Общая площадь очагов хвоегрызущих вредителей продемонстрировала значимую корреляцию с долей пожаров и засух в структуре ослабления насаждений ($r_s = 0{,}71$, $p = 0{,}010$). Полученные зависимости подтверждают валидность предложенного методического подхода и обоснованность выбора рыжего соснового пилильщика и звездчатого пилильщика-ткача в качестве наиболее информативных видов-индикаторов антропогенного стресса.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Гниненко Ю. И., Серый Г. А., Бондаренко Е. Ю. Звездчатый пилильщик-ткач: вредоносность, лесопатологические обследования в очагах и меры защиты. *Пушкино: Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства*, 2015. 60 с. [Gninenko Yu. I., Seryy G. A., Bondarenko E. Yu. Starry Sawfly-Weaver: Harmfulness, Forest Pathology Surveys in Outbreaks and Protection Measures. *Pushkino: All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry*, 2015. 60 p.].

Иванцова Е. А., Вострикова Ю. В. Эколого-фаунистическая характеристика паразитов листогрызущих чешуекрылых защитных лесных насаждений аридной зоны. *Научный альманах*. 2015;8(10):1063-1066 [Ivantsova E. A., Vostrikova Yu. V. Ecological and faunistic characteristics of parasites of leaf-eating Lepidoptera in protective forest plantations of the arid zone. *Nauchnyy Almanakh = Scientific Almanac*. 2015;8(10):1063-1066].

Иванцова Е. А. Зоогеографическая структура и формирование энтомофаунистических сообществ агролесоландшафтов степной зоны Нижнего Поволжья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2013;1:85-90

[Ivantsova E. A. Zoogeographical structure and formation of entomofaunistic communities of agroforest landscapes in the steppe zone of the Lower Volga region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo Kompleksa: Nauka i Vysshee Professionalnoe Obrazovanie = News of the Nizhne-Volzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2013;1:85-90].

Ижевский С. С., Мозолевская Е. Г. Изумрудная узкотелая златка (*Agrilus planipennis Fairmaire*) на московских ясенях. *Российский журнал биологических инвазий*. 2008;1(1):20-25 [Izhevskiy S. S., Mozolevskaya E. G. Emerald ash borer (*Agrilus planipennis Fairmaire*) on Moscow ash trees. *Rossiyskiy Zhurnal Biologicheskikh Invaziy = Russian Journal of Biological Invasions*. 2008;1(1):20-25].

Колтунов Е. В., Ердаков Л. Н. Сравнительный анализ цикличности многолетней популяционной динамики хвоегрызущих пилильщиков. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;3:534 [Koltunov E. V., Erdakov L. N. Comparative analysis of the cyclicity of long-term population dynamics of needle-eating sawflies. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2015;3:534].

Криволуцкий Д. А., Тихомиров Ф. А., Фёдоров Е. Г. Биоиндикация и биомониторинг. *Москва: Наука*, 2019 [Krivolutsky D. A., Tikhomirov F. A., Fedorov E. G. Bioindication and Biomonitoring. *Moscow: Nauka*, 2019].

Кубасов А. В., Гаврилина О. М., Гурский А. А. Общая оценка санитарного и лесопатологического состояния лесных насаждений Департамента лесного хозяйства Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2010;3(27-1):34-37 [Kubasov A. V., Gavrilina O. M., Gursky A. A. General assessment of the sanitary and forest pathological condition of forest stands of the Forestry Department of the Orenburg Region. *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta = News of the Orenburg State Agrarian University*. 2010;3(27-1):34-37].

Кузенко А. Н., Кошелев А. В. Исторический аспект формирования защитных лесных насаждений из сосны обыкновенной в Волгоградской области. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2025;1(79):227-234. doi: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-23 [Kuzenko A. N., Koshelev A. V. Historical aspect of the formation of protective forest plantations from Scots pine in the Volgograd region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo Kompleksa: Nauka i Vysshee Professional'noe Obrazovanie = News of the Nizhne-Volzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2025;1(79):227-234. doi: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-23].

Лямцев Н. И. Анализ моделей краткосрочного прогнозирования повреждения дубрав непарным шелкопрядом (*Lymantria dispar* L.). *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2017;220:6-19 [Lyamtsev N. I. Analysis of Short-Term Forecasting Models for Oak Forest Damage by the Gypsy Moth (Lymantria dispar L.). *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii = News of the Saint Petersburg Forestry Academy*. 2017;220:6-19].

Мешкова В. Л., Давиденко Е. В., Кукина О. Н., Соколова И. Н., Скрыльник Ю. Е. Методические аспекты исследования стволовых насекомых. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2009;(187):201-209 [Meshkova V. L., Davidenko E. V., Kukina O. N., Sokolova I. N., Skrylnik Yu. E. Methodological Aspects of Studying Stem Insects. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii = News of the Saint Petersburg Forestry Academy*. 2009;(187):201-209].

Овсянникова Е. И., Берим М. Н., Крохалев Р. С. Применение непараметрических методов статистического анализа для оценки связей видового состава и динамики численности тлей, отловленных ловушками Малеза, с метеорологическими показателями в 2021-2024 гг. *Аграрная наука*. 2026;8:139-150. doi: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-139-150 [Ovsyannikova E. I., Berim M. N., Krokhalev R. S. Application of Nonparametric Statistical Analysis Methods to Assess the Relationships between the Species Composition and Population Dynamics of Aphids Caught in Malaise Traps and Meteorological Indicators in 2021–2024. *Agrarnaya Nauka = Agricultural Science*. 2026;8:139-150. doi: https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-139-150].

Рассадина Е. В. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2007;2(5):48-53 [Rassadina E. V. Bioindication and its place in the environmental monitoring system. *Vestnik Ul'yanovskoy*

Gosudarstvennoy Sel'skokhozyaystvennoy Akademii = Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2007;2(5):48-53].

Синицына Е. В., Федосеев Н. З. Особенности мониторинга коричнево-мраморного клопа Halyomorpha halys (Stål) с помощью феромонных ловушек в условиях Северного Кавказа. *Лесной вестник*. 2023;27(2):87-95. doi https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-2-87-95 [Sinitsyna E. V., Fedoseev N. Z. Features of monitoring the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys (Stål) using pheromone traps in the conditions of the North Caucasus. *Lesnoy Vestnik = Forestry Bulletin*. 2023;27(2):87-95. doi https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-2-87-95].

Трофимов В. Н. Особенности распределения плотностей поселения и экологических группировок стволовых вредителей по стволу заселенного ими дерева. *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2014;18(6):164-171 [Trofimov V. N. Features of the distribution of settlement densities and ecological groups of stem pests along the trunk of the tree they inhabit. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Lesa – Lesnoy Vestnik = Bulletin of the Moscow State Forest University – Forest Bulletin*. 2014;18(6):164-171].

Mann H. B., Whitney D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*. 1947;18:50-60.

Информация об авторах

Онистратенко Николай Владимирович, кандидат биологических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», 400062, Волгоградская область, г. Волгоград, просп. Университетский, д. 100, onistratenko@volsu.ru , ORCID 0000-0003-1533-1462.

Холоденко Анна Викторовна, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии и природопользования, ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», 400062, Волгоградская область, г. Волгоград, просп. Университетский, д. 100, kholodenko@volsu.ru , ORCID 0000-0001-9053-9373.

Баранов Виктор Сергеевич, бакалавр, учащийся, ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», 400062, Волгоградская область, г. Волгоград, просп. Университетский, д. 100, epb-221_437674@volsu.ru.

Information about the authors

Nikolai Vladimirovich Onistratenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State University, 400062, Volgograd Region, Volgograd, Universitetsky Ave., 100, onistratenko@volsu.ru , ORCID 0000-0003-1533-1462.

Anna Viktorovna Kholodenko, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Volgograd State University, 400062, Volgograd Region, Volgograd, Universitetsky Ave., 100, kholodenko@volsu.ru , ORCID 0000-0001-9053-9373.

Viktor Sergeevich Baranov, Undergraduate student, Volgograd State University, 400062, Volgograd Region, Volgograd, Universitetsky Ave., 100, epb-221_437674@volsu.ru.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 631.42.2 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.006.71-87

Влияние опустынивания и деградации земель на углеродный баланс наземных экосистем

Федотова А. В.; Тимофеев Е. П.✉
Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Федеральный научный агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения» РАН , г. Волгоград, Россия

Аннотация. В данном обзоре систематизированы современные представления о влиянии наиболее распространенных типов деградации земель на пулы органического углерода в почвах аридных и семиаридных регионов. Показано, что деградационные процессы трансформируют наземные экосистемы из стоков в источники парниковых газов за счет изменения условий их функционирования, усиливая положительные обратные связи с изменением климата. В частности, при опустынивании потери почвенного углерода достигают порядка 20-50 %, а годовая эмиссия варьирует от 0,5 до 3 т С/га в зависимости от степени, вида деградации и природно-климатических условий. Проведен региональный анализ потерь углерода почвой (от 0,5 до 3 т С/га в год в зависимости от степени и вида деградации, а также природно-климатических условий). Рассмотрены механизмы воздействия деградации на микробную активность, растительный покров и физико-химические свойства почв, разрушение агрегатной структуры почвы, угнетение ферментативной активности при засолении и сокращение растительной биомассы при эрозии. Особо подчеркнута необходимость переоценки вклада засушливых экосистем в глобальный углеродный цикл, поскольку их роль как регулятора климата ранее недооценивалась. Обоснована необходимость переоценки вклада засушливых экосистем в глобальный углеродный цикл, что позволит включить аридные территории в национальные стратегии углеродной нейтральности. Предложены приоритетные направления восстановительных мероприятий для пастбищ, борьбы с засолением и эрозией почв, а также организация эффективного мониторинга за состоянием земель.

Ключевые слова. Опустынивание, деградация почв, почвенный органический углерод, секвестрация углерода, эрозия, засоление, перевыпас, углеродный баланс, аридные экосистемы.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного Задания «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России» (шифр FNFE-2025-0012).

Цитирование. Федотова А. В., Тимофеев Е. П. Влияние опустынивания и деградации земель на углеродный баланс наземных экосистем // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):71-87. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.006.71-87.

Поступила в редакцию: 03.08.2026 Принята к печати:09.09.2026

UDC 631.42.2 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.006.71-87

Effects of desertification and land degradation on the carbon balance of terrestrial ecosystems

Fedotova A. V.; Timofeev E. P.✉
Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

Abstract. This review synthesizes current knowledge of the effects of the most widespread forms of land degradation on soil organic carbon pools in arid and semiarid regions. The available evidence indicates that, by altering ecosystem functioning, degradation processes can transform terres-

✉ – Для контактов/Corresponding author

trial ecosystems from greenhouse gas sinks into sources, thereby strengthening positive feedbacks with climate change. Desertification has been associated with soil carbon losses of approximately 20-50 %, while annual carbon emissions range from 0.5 to 3 t C ha^{-1} yr^{-1}, depending on the type and severity of degradation and the prevailing environmental and climatic conditions. The review examines the mechanisms through which land degradation affects soil microbial activity, vegetation cover, and soil physicochemical properties. These mechanisms include the breakdown of soil aggregates, suppression of soil enzyme activity due to salinization, and loss of plant biomass associated with erosion. Particular attention is given to the need to reassess the contribution of dryland ecosystems to the global carbon cycle because their role in climate regulation has historically been underestimated. Incorporating drylands into national carbon-neutrality strategies would allow their carbon balance and restoration potential to be considered in climate policy. Priority measures include pasture restoration, control of soil salinization and erosion, and the establishment of effective land-condition monitoring systems.

Keywords. Desertification; land degradation; soil organic carbon; carbon sequestration; erosion; salinization; overgrazing; carbon balance; dryland ecosystems.

Funding. The research was carried out within the framework of the State Assignment "Theoretical foundations and methodology for assessing the greenhouse gas balance in freshwater reservoirs in the arid conditions of southern Russia" (code FNFE-2025-0012).

For citation. Fedotova A. V., Timofeev E. P. Effects of desertification and land degradation on the carbon balance of terrestrial ecosystems // Scientific Agronomy Journal. 2026;3(134):71-87. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.006.71-87.

Received: 03.08.2026 Accepted:09.09.2026

Введение. Опустынивание как глобальный вызов. Факт признания опустынивания глобальной проблемой человечества закреплен на мировом уровне (Kertész, 2009; Зонн, Куст, Андреева, 2017; Glantz, 2019; Глобальный климат…, 2021; Do Nascimento, 2023). Вопросы борьбы с опустыниванием и деградацией включены в мировые повестки крупнейших международных форумов и конвенций (Dregne, 1984; Islam et al., 2025). Страны, подверженные опустыниванию, выделены в отдельную группу, где работают специалисты и эксперты по вопросам борьбы с опустыниванием (Heshmati, Squires, 2013; Leighton, 2016, Bauer, 2017).

Подавляющая доля территорий, подверженных процессам опустынивания, расположена в аридных, полуаридных (субаридных) и сухих субгумидных регионах. То есть там, где климат характеризуется малым количеством осадков, высокими температурами воздуха и частыми засухами. Эти зоны занимают около 41 % земной суши, и на них проживает более 2 млрд человек (Ahmed et al., 2024). В целом в РФ около 120 млн га земель подвержены опустыниванию (Акишин, Подколзин, 2008; Национальная программа действий…, 2024).

Углеродная повестка и роль почв. Почва является важной частью глобального пула углерода и играет решающую роль в изменении содержания углекислого газа в атмосфере. Сегодняшняя углеродная мировая повестка также является крайне насыщенной, включая как экономические вопросы, так и аспекты охраны окружающей среды и безуглеродного цикла (Lu et al., 2018; Rogers, 2021; Chen G. et al., 2026).

Потеря органического углерода почвами признана одним из основных критериев деградации и, возможно, имеет смысл по ее значимости выделить как отдельный индикатор деградации почв (FAO, 2017). По оценкам ученых, опустынивание приводит к потере 20-50 % запасов органического углерода в верхних слоях почвы (0-30 см) за 20-50 лет. В абсолютных значениях это составляет 0,5-3,0 т С/га в год в зависимости от региона и степени деградации (Hailu, 2023; Liu J. et al., 2024; Федотова, Емельяненко, 2025). За последние 50-100 лет из-за опустынивания в атмосферу выделилось около 4-8 Гт углерода (эквивалентно 15-30 Гт CO_2) (Яцухно, 2020). В засушливых регионах мира (аридных и полуаридных зонах) ежегодные потери углерода оцениваются в 1-2 Гт из-за деградации почв (Федотова, 2023; Mohammadzadeh, Azimzadeh, 2023).

По данным ФАО, в деградированных засушливых районах запасы углерода в почве снижаются на 25-40 % по сравнению с ненарушенными экосистемами (Climate Change..., 2019). В целом в РФ около 120 млн га земель подвержены опустыниванию, что ведет к потерям 0,5-2,0 т С/га в год на деградированных участках (Акишин, Подколзин, 2008; Кретинин и др., 2023).

В плане оценки вклада природных экосистем в углеродный баланс большинство взглядов исследователей и ученых обращено к лесным и болотным экосистемам (Li, 2025). Однако исследования источников и поглотителей углерода в пустынных и засушливых экосистемах играют большое значение для понимания углеродного цикла и его реакции на изменение климата. В засушливых регионах общие запасы углерода составляют более трети мировых запасов. Роль и вклад процессов опустынивания в углеродный баланс явно недооценена.

Сохранение и увеличение запасов органического углерода в почвах обеспечит поддержание плодородия, продовольственную устойчивость и адаптацию к климатическим изменениям (Minelli, Erlewein, Castillo, 2017; FAO, 2019; IPCC, 2019; Bray, 2019; Malone et al., 2020).

Механизмы воздействия деградации на углеродный цикл. Наиболее распространенными типами опустынивания являются засоление и эрозия почв (дефляция и водная эрозия). Каждый из этих типов деградации приводит в той или иной степени к потерям почвенного углерода.

Ниже представлена обобщающая табл. 1 основных типов опустынивания и их воздействия на состояние почвы.

Таблица 1

Типы опустынивания и их влияние на состояние почвы (Романовская, Савин, 2020; Акперова, 2020; Иванищев и др., 2020; Хиясов и др., 2026)

Тип опустынивания	Характеристика	Негативное воздействие на почву
Ветровая эрозия (дефляция)	Разрушение структуры и перенос почвенных частиц под действием ветра. Наиболее проявляется в условиях отсутствия растительного покрова, на легких и бесструктурных почвах	Утрата плодородного слоя; потеря органического углерода; образование подвижных песков и пыльных бурь; ухудшение структуры почвы, образование корки; уменьшение влагоемкости; деградация почвенной биоты
Водная эрозия	Размыв почвы потоками воды (дождевыми, талыми, ирригационными), формирование оврагов, промоин, смыв верхнего слоя	Потеря плодородного слоя на склонах; вынос питательных веществ; формирование овражно-балочной сети; локальное переувлажнение и заболачивание в понижениях; фрагментация почвенного покрова
Засоление почв	Процесс накопления в почвенном профиле легкорастворимых солей, не компенсируемый их выносом (чаще всего из-за неправильного орошения или высокого уровня минерализованных грунтовых вод)	Токсичное воздействие солей на растения; нарушение водно-солевого баланса; разрушение почвенной структуры, образование солевой корки; угнетение почвенной микрофлоры; снижение доступности питательных веществ

Ниже рассматриваются конкретные механизмы воздействия каждого типа деградации почвы на углеродный цикл.

Изменение растительного покрова. Опустынивание сопровождается деградацией, часто исчезновением естественной растительности и изменению видового состава. Например для Дагестана выделяют 4 стадии изменения растительности при опустынивании в засушливых регионах (Залибекова и др., 2012):

1. Начальная стадия (слабая деградация почвы): снижение плотности травянистого покрова; выпадение из травостоя наиболее влаголюбивых видов; появление отдельных экземпляров засухоустойчивых растений (полыни, солянки); сокращение проективного покрытия до 50-70 %; преобладают злаки: ковыли, типчак, житняк; разнотравье: шалфей, тимьян; бобовые: люцерна, эспарцет.

2. Средняя стадия (умеренная деградация почвы): проективное покрытие снижается до 30-50 %; доминируют ксерофиты (растения, приспособленные к засухе) и галофиты (солеустойчивые виды); формирование мозаичного растительного покрова с участками оголенной почвы; уменьшение видового разнообразия; преобладание короткоживущих видов и эфемеров (полыни (*Artemisia spp*.); солянки (*Salsola spp*.); прутняк (*Kochia prostrata*); камфоросма (*Camphorosma monspeliaca*)).

3. Сильная деградация (выраженное опустынивание): проективное покрытие – 10-30 %; редкие куртины засухоустойчивых кустарников и полукустарников; большие площади оголенной почвы, подверженной ветровой эрозии; доминирование видов с глубокой корневой си-

стемой (эфедра (*Ephedra spp*.); терескен (*Eurotia ceratoides*); джузгун (*Calligonum spp*.); полынь белая (*Artemisia lercheana*)).

4. Крайняя стадия (полное опустынивание): проективное покрытие менее 10 %; единичные экземпляры наиболее устойчивых видов (верблюжья колючка (*Alhagi spp*.); песчаная акация (*Ammodendron conollyi*); саксаул (*Haloxylon spp.*); некоторые виды солянок); преобладание открытых песчаных или каменистых поверхностей; практически полное отсутствие травянистой растительности.

При нарастании степени опустынивания наблюдается сокращение биомассы растений, уменьшается площадь растительного покрова (Теймуров и др., 2018), соответственно снижается поглощение CO_2 в процессе фотосинтеза растений, что снижает депонирование углерода. Снижение поступления растительных остатков уменьшает пополнение запасов почвенного органического углерода, что приводит к потери плодородия почвы (Vermeulen et al., 2019). Гибель же растительности, разложение или сгорание биомассы приводит к высвобождению накопленного в ней углерода.

Выпас скота также влияет на депонирование и эмиссию углерода, так как меняется видовой состав растительности и снижается надземная биомасса (Chen Y. et al., 2017). При перевыпасе преобладают однолетние травы (Pfeiffer M, et al 2019; Vega et al., 2011). Именно однолетние травы создают большую надземную биомассу, чем подземную, что и приводит к низкому уровню корневого дыхания (Bat-Oyun T. et al., 2016).

Физико-химическая деградация почвы. Эрозия. Деградация почв при опустынивании делает их более уязвимыми к эрозионным процессам. В условиях засушливого климата одним из основных деградационных процессов является именно эрозия почв, способствующая выносу органического вещества из экосистемы и частичной потере поверхностных слоев почвы (Полуэктов, 1995; Баасандорж и др., 2019; Барабанов, 2024). В результате эрозии происходит высыхание верхнего слоя почвы и усиление минерализации органического вещества. Сухая почва еще более подвержена эрозии, то есть процессы цикличны и усугубляются.

Эрозия способствует переносу частиц почвы, содержащих органический углерод, в другие места, где он может быстрее минерализоваться или попадать в водные системы, высвобождая CO_2. Это приводит к высвобождению еще большего количества накопленного углерода в виде CO_2 в атмосферу. В условиях интенсивной эрозии, когда выносятся тонкодисперсные частицы, включая гумус, ключевой фактор уменьшения почвенного углерода – это недостаток глинистых минералов с высокой удельной поверхностью во фракции физической глины, которые образуют органоминеральные комплексы, стабилизирующие гумус. Гранулометрический состав, особенно доля глинистых фракций, оказывает значительное влияние на секвестрацию органического углерода и, соответственно, истощение его запасов (SOC) (Когут, Семенов, 2020; Чимитдоржиева, 2023).

В России около 15 % потерь почвенного углерода вызвано эрозией почвы (Minasny, 2017). Анализ данных о микроэлементном составе неэродированных и эродированных почв показал значимое уменьшение запасов микроэлементов в корнеобитаемом слое почвы при эрозии (Томаровский, 2016; Кожемяченко, 2022). Нарушается почвенная структура, уплотнение почвы снижает ее способность удерживать влагу и органическое вещество.

Засоление. Наличие легкорастворимых солей (ЛРС) в почвенном профиле, а также капиллярный подъем минерализованных грунтовых вод способствует аккумуляции солей в верхних горизонтах. При испарении с поверхности почвенной влаги соли накапливаются, создавая неблагоприятные условия для почвенной биоты. На территориях, подверженных периодическому затоплению в результате паводков и половодий (дельты и поймы рек) почвы находятся в повторяющихся циклах засоления-рассоления, что дополнительно подавляет гумификацию (Федотова, 2023).

Увеличение степени засоления ускоряет развитие опустынивания, ухудшает качество почвы, нарушает ключевые микробные процессы (например, анаэробное окисление аммония (анаммокс)) снижая при этом общую микробную активность, включая круговорот питательных веществ и трансформацию азота, изменяет состав микробного сообщества, усиливая выбросы CO_2 (Yang, 2026). Это приводит к низкому содержанию гумуса, слабой структуре и низкому плодородию аридных почв.

Многие аридные засоленные почвы имеют щелочную реакцию (pH 7,5-8,5) из-за присутствия карбонатов кальция. Это в свою очередь снижает активность некоторых групп мик-

роорганизмов, участвующих в гумификации и способствует быстрой минерализации органического вещества (Lund et al., 2020; Mitsuta et al., 2025). Быстрая минерализация легкодоступных соединений (протеинов, сахаров) приводит к выделению CO_2 и образованию минеральных форм азота, фосфора.

Перевыпас и уплотнение почвы. Наиболее опасен чрезмерный выпас, так как приводит к вытаптыванию и уплотнению почвы, а также уничтожению растительности, что снижает накопление углерода и может стимулировать эрозию. Количественная оценка потоков углерода на пастбищах необходима для выделения основных контролирующих факторов и оценки поглощения углерода конкретными пастбищными экосистемами посредством фотосинтеза против величины эмиссии (Благовещенский, 20017; Munjonji et al., 2020).

Кроме того, под влиянием выпаса отмечено увеличение запасов неорганического углерода в почве, при этом факторы окружающей среды влияли на общий углерод преимущественно косвенно (Zhao, 2025; Chen Y. et al., 2017) сообщили о сокращении выбросов CO_2 на 25-47 % в результате выпаса скота на пастбищах разных типов. За последние 60 лет в результате чрезмерного выпаса скота почвы под пастбищами потеряли 46 ± 13 млрд т углерода (Shuai, 2024).

Другие исследователи утверждают, что выпас скота и засуха оказывают косвенное влияние на накопление углерода в почве и выбросы парниковых газов на засушливых пастбищах, через воздействие на производство биомассы (Ferner et al., 2018; Jones et al., 2005, Gaitán et al., 2019). Из этих двух факторов засуха оказывает большее влияние на производство биомассы, чем выпас скота (Bat-Oyun T et al, 2016). Есть мнение, что экстремальная засуха может снижать выбросы CO_2 и повышать концентрацию основных макроэлементов в верхних слоях почвы, что способствует сохранению существующих запасов углерода. Экстремальная засуха уже снизила интенсивность выбросов CO_2 на 32 % по сравнению с обычными условиями, так как в условиях засухи запасы углерода в почве выше из-за замедления процесса разложения. А вот выпас скота не влиял на поток CO_2 (Munjonji et al, 2020). Однако авторы отмечают, что выпас скота снижает концентрацию азота и фосфора в верхнем слое почвы. Информации о том, как засуха и выпас скота совместно влияют на запасы почвенного углерода и потоки CO_2 на засушливых пастбищах, крайне мало.

Исследования показали, что оценка влияния выпаса скота на содержание углерода в почве неоднозначна. Liu N. и другие (Liu et al., 2012) показали противоположные результаты для типичной степной зоны Монголии, они сообщили о повышении содержания органического углерода в почве, а Wang B. и другие (Wang et al., 2020) обнаружили снижение его содержания из-за выпаса скота. Действительно, выпас скота может способствовать аэрации почвы из-за разрушения почвенной корки копытами животных. Кроме того, животные удобряют почву навозом, повышая содержание органического углерода в почве (Sandhage-Hofmann et al., 2015) и способствуя росту растений.

Микробиологическая активность и климатические факторы. Микробное дыхание и влажность почвы. Предполагают, что реакция микробного дыхания на влажность одинакова для всех экосистем, независимо от истории климата, и это предположение подвергается сомнению во многих эмпирических исследованиях (Haj-Amor et al., 2022). Эти пробелы в понимании реакции микробного дыхания на влажность способствуют неопределенности в прогнозах модели (Evans, 2022).

В засушливых зонах, на фоне малого количества осадков и высокого испарения, микроорганизмы (бактерии, грибы), отвечающие за гумификацию, имеют низкую активность (Bogati et al., 2025). Засуха создает анаэробные микрозоны, в первую очередь в поверхностных слоях почвы. Увлажнение же улучшает аэрацию и активизируются аэробные микроорганизмы – основные деструкторы органики. При дефиците почвенной влаги деятельность почвенных микроорганизмов резко снижается или прекращается совсем.

В периоды кратковременного увлажнения процессы вновь ускоряются, нарушается стабильность микробных сообществ. Кроме того, в условиях засушливого климата период биологической активности достаточно короткий (Malik et al., 2022). Исследования ряда авторов предполагают, что большая часть органических веществ растительного происхождения перерабатывается почвенными микробами в течение относительно коротких периодов времени (от месяцев до лет). Микробная же некромасса и продукты метаболизма взаимодействуют с минеральной матрицей или становятся частью агрегатов, создавая стабильные комплексы, которые сохраняются в течение нескольких десятилетий (Metze et al., 2023; Schmidt et al., 2011).

Исследования показывают тесную зависимость скорости минерализации от влажности почвы. Так при увеличении влажности почвы с 15 до 30 % минерализация возрастает в 1,2-1,4 раза. При дальнейшем повышении до 45 % минерализация увеличивается еще в 1,1-1,2 раза.

Влажность почвы является основным фактором микробной активности и, следовательно, эмиссии углерода в атмосферу. До сих пор нет единого мнения о наличии и тесноте взаимосвязи между влажностью почвы и микробным дыханием. Вклад разложения подстилки/опада в общее почвенное дыхание может вырасти с 5 % (в засуху) до 37 % после увлажнения. В засушливый период активность микроорганизмов резко снижается, замедляется метаболизм клеток; часть переходят в покоящиеся формы (споры, цисты); ограничивается диффузия питательных веществ и ферментов в почвенной массе. При увлажнении же клетки реанимируются; возобновляется активный метаболизм; ускоряется размножение микроорганизмов.

Минерализация органического вещества. В засушливых зонах преимущественно происходит минерализация органического вещества, а не гумификация. В засушливых экосистемах преобладает корневая масса растений с высоким содержанием лигнина и целлюлозы (трудноразлагаемые соединения) (Brunner et al., 2015). А надземная фитомасса содержит много зольных элементов и протеинов (легкоразлагаемые вещества), и в целом общий объем растительных остатков невелик. При поступлении легкоразлагаемого материала в условиях периодического увлажнения происходит быстрая минерализация без формирования стабильных гумусовых соединений (Brunn et al., 2025). Растительные остатки не успевают пройти полный цикл гумификации и происходит частичное разложение (минерализация до простых соединений), а при наступлении засухи полуразложившийся материал «консервируется» (Семенова и др., 2022).

Влияние климатических факторов. Следует отметить, что влияние факторов опустынивания на углеродный цикл различается по регионам и климатическим зонам. В засушливых зонах ключевым фактором контроля углеродного цикла является количество осадков. Именно дефицит воды ограничивает рост растений и поступление органики в почву.

Как показали исследования, температура не оказывала существенного влияния на нетто-фотосинтез и нетто-эмиссию углерода, в то время как осадки положительно повлияли на увеличение нетто-фотосинтеза и нетто-эмиссии углерода.

Известно, что осадки способствуют росту растений, что, в свою очередь, приводит к увеличению ассимиляции CO_2 (Berger et al., 2019). Однако те же осадки, которые способствуют поглощению CO_2, стимулируют его выделение за счет усиления дыхания растений (Xu, Z. et al., 2013). Таким образом, недостаток осадков во время засухи может подавлять как ассимиляцию, так и выделение CO_2 из-за замедления роста растений и снижения почвенного дыхания.

Региональный анализ потерь углерода. Потери углерода из почвы в среднем варьируются от 78 ПгС до 135 ПгК (Lal et al., 2018). Важно отметить, что данные варьируются в зависимости от региона, типа почвы, климатических условий и других факторов. Для точных оценок необходимы локальные исследования с учетом конкретных условий. Также стоит учитывать, что некоторые процессы могут усиливать друг друга: например, эрозия после пожара или сочетание чрезмерного выпаса с засушливым климатом. То есть необходимо признать, что точная количественная оценка потерь почвенного углерода по видам деградации затруднена из-за разнообразия факторов, влияющих на этот процесс (климат, тип почвы, интенсивность воздействия и др.). Но можно выделить некоторые обобщенные данные и тенденции, основанные на исследованиях.

В табл. 2 представлены потери органического углерода при различных видах деградации, в табл. 3 региональный анализ потерь органического углерода.

Таблица 2

Потери органического углерода при различных видах деградации

Вид деградации	Описание	Примерные потери углерода
1	2	3
Эрозия почв	Усиление минерализации органических веществ при распашке и вынос материала гумусированного верхнего горизонта	В России масса смытой почвы содержит от 50 до 230 кг углерода на гектар в год. При этом около 70 % смытого органического углерода аккумулируется в местных понижениях рельефа, около 20 % поступает в атмосферу в виде CO_2, 10 % выносится в аквальные системы. На склонах потери могут быть значительнее: например, при распашке почв максималь-

Продолжение табл. 2

1	2	3
Эрозия почв		ные потери органического углерода ($C_{орг}$) в верхнем 15-сантиметровом слое достигали 13-15 т/га на средней и нижней частях склона. В Ростовской обл. из-за опустынивания и эрозии запасы углерода снизились на 20-35 % (Безуглова и др., 2015). Ежегодные потери углерода на участках с ветровой эрозией в Китае оцениваются от 0,7-2,0 т С/га (Yan et al., 2005)
Выпас скота	Чрезмерный выпас наносит ущерб растительному покрову и провоцирует почвенную эрозию. Умеренный выпас может стимулировать рост растений и связывание углерода, но при чрезмерном использовании пастбищ происходит деградация	На деградированных пастбищах потери могут достигать 1-3 т С/га в год (Власенко и др., 2019). За последние 60 лет из-за чрезмерного выпаса скота почвы под пастбищами потеряли 46 ± 13 млрд т углерода. Наиболее сильная эрозия отмечена в тропиках и центральной Африке. Потери в тропических регионах составили около 23,4 %. В Центральной Африке потери составили почти 30 % запаса углерода в верхнем метровом слое почвы и достигли почти 30 % за последние 60 лет (в основном из-за чрезмерного выпаса скота) (Ren et al., 2024). На засушливых пастбищах Австралии содержание углерода снизилось на 20-40 % из-за перевыпаса и засух (Nolan et al., 2018). В Калмыкии (первая антропогенная пустыня в Европе) потери углерода достигают 30-40 % на деградированных пастбищах (Дедова и др., 2020)
Засоление почвы	Засоление снижает содержание органического углерода в почве через подавление растительности, угнетение микрофлоры, ухудшение структуры почвы	Легкое засоление (электропроводность EC 4-8 дСм/м): потери углерода могут составлять 10-20 % от исходного уровня за 10-15 лет. Умеренное засоление (EC 8-16 дСм/м): снижение запасов углерода на 20-40 % за тот же период. Сильное засоление (EC > 16 дСм/м): потери достигают 40-60 % и более, особенно если сочетаются с засухой и неправильной ирригацией. В аридных регионах (Центральная Азия, Ближний Восток) при интенсивном орошении и накоплении солей потери углерода в верхних 30 см почвы могут достигать 0,5-1,5 т С/га в год (Sommer et al., 2011). В дельте Волги (Россия) на сильнозасоленных участках содержание органического углерода снижается на 30-50 % по сравнению с незасоленными аналогами (Сальникова и др., 2008). В Китае (Лёссовое плато) засоление в сочетании с эрозией приводит к потерям до 2 т С/га в год, особенно на орошаемых полях без дренажа (Li et al., 2016). По глобальным оценкам, засоление может снижать запасы углерода в почвах на 0,1-0,3 % в год в пострадавших регионах, что в сумме дает миллиарды тонн CO_2, выделяющихся в атмосферу (Setia et al., 2013). Потери углерода при засолении варьируются от 10 % (легкое засоление) до 60 % и более (сильное), а в абсолютных значениях могут достигать 0,5-2,0 т С/га в год. Точные цифры требуют локального мониторинга с учетом типа почвы, климата и агротехнологий
Неправильная обработка почвы	Регулярная машинная обработка (вспашка, культивация) приводит к поступлению в почву кислорода и усилению минерализации органического вещества. Также к потерям углерода ведет удаление с полей послеуборочных остатков и огневое пал травы	В сельскохозяйственных почвах, которые регулярно обрабатываются, происходит обеднение органическим веществом, что ведет к ухудшению углеродного баланса по сравнению с естественными почвами

Таблица 3

Региональные потери органического углерода при опустынивании

Регион	Показатель потерь органического углерода	Период наблюдений	Тип почв/ландшафтов
Центральная Африка	Почти 30 % за последние 60 лет (в основном из-за чрезмерного выпаса скота)	60 лет	Саванны, деградированные пастбища
Тропические регионы Африки	Снижение запасов углерода на 23,4 % за тот же период	60 лет	Тропические саванны, пастбища
Деградированные пастбища Африки	До 1-3 т С/га в год	Не указан	Пастбищные экосистемы, аридные зоны
Опустыненные территории	Снижение запасов углерода в верхних 30 см почвы на 30-45 %	Не указан	Солончаки, серо-бурые пустынные почвы, полупустынные степи
Деградированные степи и полупустыни	Ежегодные потери 0,8-2,5 т С/га	Не указан	Каштановые почвы степей, бурые полупустынные почвы
Опустыненные территории	Падение содержания органического углерода на 25-50 %	Не указан	Песчаные почвы, серо-бурые пустынные почвы
Участки с ветровой эрозией в Китае	Ежегодные потери углерода 0,7-2,0 т С/га	Не указан	Эродированные песчаные почвы, подвижные пески
Калмыкия (первая антропогенная пустыня в Европе)	Потери углерода 30-40 % на деградированных пастбищах	Не указан	Солонцы, каштановые почвы сухих степей
Ростовская область	Снижение запасов углерода на 20-35 % из-за опустынивания и эрозии	Не указан	Черноземы южные, каштановые почвы
РФ в целом (около 120 млн га земель, подверженных опустыниванию)	Потери 0,5-2,0 т С/га в год на деградированных участках	Не указан	Степные и сухостепные ландшафты, солонцовые комплексы
Засушливые пастбища	Снижение содержания углерода на 20-40 % из-за перевыпаса и засух	Не указан	Красно-бурые почвы аридных зон, солончаки
Засушливые пастбища Австралии	Ежегодные потери 0,6-1,8 т С/га	Не указан	Аридизоли (аридные почвы), солонцеватые почвы
Южная Америка (Амазония)	С 2003 по 2019 гг. валовые потери углерода составили 3042 млн т.н.э. Большая часть потерь (56 %) связана с обезлесением, остальная часть (44 %) – с деградацией/нарушением лесов	2003-2019 гг.	Тропические леса, опушки лесов
США	За последние 40 лет была оставлена почти треть пахотного угодья страны из-за эрозии. Ежегодно еще 200 тыс. га пахотной земли становятся слишком истощенными для производства урожая	Последние 40 лет	Пахотные земли, засушливые регионы (особенно Калифорния)
Европа (торфяники)	Торфяники в Европе перестали поглощать CO_2 из-за высыхания. Критическое снижение уровня влажности наблюдается после 1751 г.	Последние 200 лет	Торфяные болота, осушенные торфяники
Швеция (осушенные торфяники)	Осушенные торфяные леса на севере Швеции ассимилировали до 153 г углерода на каждый квадратный метр площади в год, но граничащее с ними ненарушенное болото выделяло углерод в атмосферу	Не указан	Осушенные торфяные леса, бореальные леса на бедных элементами питания почвах
Юго-Восточная Азия (торфяники)	Осушение торфяников с помощью дренажных каналов привело к выбросу углерода. С каждого квадратного метра поверхности таких каналов в атмосферу поступает ежедневно в среднем 70 мг углерода	Не указан	Торфяники с дренажными каналами

Методологические пробелы и неопределенности. В настоящее время имеется ограниченное количество эмпирических данных о накоплении и выбросах углерода в природных экосистемах. Наземные экосистемы в формировании углеродного цикла крайне важны, но природные условия и человеческая деятельность привели к деградации земель в широком смысле (Lal, 2000). В деградированных почвах снижается содержание органического углерода, происходит сокращение растительного покрова, что усиливает парниковый эффект (Schlesinger et al., 1990). Деградация почв является одной из главных причин снижения секвестрации углерода в почве (Ai et al., 2018).

В современном мире растет запрос на разработку стратегий по увеличению секвестрации почвенного углерода в различных биомах и системах землепользования (Minasny et al., 2017).

Понимание того, как опустынивание и деградация влияют на содержание почвенного органического углерода, будет способствовать разработке более устойчивых методов землепользования в засушливых районах с целью стимулирования и сохранения накопления почвенного органического вещества (Gaitán et al., 2019).

Основные методологические пробелы включают:

Разрозненность данных: отсутствие унифицированных протоколов мониторинга SOC в разных странах.

Сложность разделения факторов: трудно отделить влияние климата (засухи) от антропогенного (выпас) – их эффекты аддитивны или синергичны.

Недостаток эмпирики по микробному дыханию: реакция микроорганизмов на влажность нелинейна и плохо моделируется (Evans, 2022).

Игнорирование неорганического углерода (SIC): в аридных почвах велика доля карбонатов. Их динамика при засолении и орошении изучена слабо (Zhao, 2025).

В Южном федеральном округе при неизменном хозяйствовании наблюдаются потери запасов углерода почвы (в 1,5 раза и более в степной и сухостепной зоне), на фоне того, что в других федеральных округах России происходит накопление углерода (Романенков и др., 2023).

В засушливых регионах общие запасы углерода составляют более трети мировых запасов. Для подобных территорий имеют место интенсивно развивающиеся процессы деградации почвенного покрова и опустынивания, что отражается на состоянии всей экосистемы, перестраиваются ее функции, распространение, состав, структура (Tan et al., 2004).

Обратные связи в системе «опустынивание – климат». Процессы опустынивания имеют обратные связи с климатом. Опустынивание может усиливать эффект от изменения климата по нескольким направлениям:

1. Терминальная связь: потеря растительности → транспирации → уменьшение влажности воздуха → сокращение осадков;

2. Углеродная связь: выброс CO_2 из почв → усиление парникового эффекта → повышение температуры → усиление засух;

3. Радиационная связь: увеличение альбедо поверхности → локальное изменение циркуляции атмосферы → изменение режима осадков (Золотокрылин и др., 2011; Xu et al., 2025).

Таким образом, опустынивание и деградация приводит к потере углерода из наземных экосистем, а программы экологического восстановления могут увеличить накопление углерода в пустынных экосистемах (Feng et al., 2023).

Пустыни и полупустыни ранее часто рассматривались как биологически малоактивные зоны, но современные исследования показывают, что они могут быть как источниками, так и поглотителями углерода в зависимости от климатических условий и антропогенного воздействия (Feng et al., 2023). Опустынивание нарушает углеродный баланс как на локальном, так и на глобальном уровнях, приводит к деградации почв и экосистем, что снижает их способность накапливать углерод и может способствовать его высвобождению в атмосферу. Опустыненные территории из потенциальных поглотителей углерода превращаются в его источники, функцию поглотителя углерода теряется. Это усиливает климатические изменения, которые, в свою очередь, могут ускорять опустынивание (Кудеяров, 2022; Голубятников, Курганова, Лопес де Гереню, 2023; Fedotova, Emelyanenko, 2025).

Заключение. Таким образом:

1. Опустынивание трансформирует засушливые экосистемы из нетто-стоков в нетто-

источники CO_2. Потери SOC в глобальном масштабе составляют миллиарды тонн углерода. При опустынивании почва теряет 20-50 % углерода за несколько десятилетий, что составляет 0,5-3,0 т С/га в год. Наибольшие потери наблюдаются в Африке, Центральной Азии и Австралии.

2. Ключевые типы деградации (эрозия, засоление, перевыпас) имеют различные механизмы, но все ведут к снижению микробной биомассы и ускорению минерализации гумуса. В аридных регионах опустынивание может снижать запасы почвенного углерода на 10-17 % в поверхностном метровом слое почвы (Lal, 2026).

3. Существующие климатические модели недооценивают вклад деградации, так как большинство данных получено для лесных экосистем. Необходима рекалибровка моделей с учетом аридных зон.

4. На региональном уровне потери углерода варьируются (от 0,5 до 3,0 т/га/год), что требует локальных стратегий восстановления.

Ключевыми факторами потерь углерода являются выпас скота, засухи и нерациональное землепользование. Восстановление углеродного пула возможно через фитомелиорацию, ограничение выпаса и защиту от эрозии.

Практические рекомендации. Борьба с опустыниванием и сохранение углероддепонирующей способности почв – важные задачи для смягчения климатических изменений и поддержания экосистем.

Защита наземных экосистем от деградации имеет первостепенное значение, а проекты по восстановлению экосистем необходимы для борьбы с опустыниванием, что будет способствовать сохранению почвенной влаги и может эффективно увеличить поглощение углерода.

Приоритетные направления восстановительных мероприятий:

1. Пастбища: внедрение систем ротационного выпаса. Расчеты показывают, что снижение нагрузки на 75 % деградированных пастбищ и усиление на 25 % потенциально позволит накопить 63 ± 18 млрд т углерода (Ren, 2024). Восстановление пастбищ при оптимизации выпаса может компенсировать потери углерода.

2. Эрозия: создание лесополос и геотекстильных покрытий для стабилизации подвижных песков. Защита от эрозии предотвращает вынос углерода с почвой.

3. Засоление: промывка почв и фитомелиорация (высадка галофитов) с утилизацией солей.

4. Мониторинг: создание сети станций для измерения потоков CO_2 (эдди-ковариация) именно в аридных регионах.

В разрезе экосистемы наиболее уязвимы к проявлению процессов опустынивания являются растительность и почвенная биота, которые играют ведущую роль в формировании углеродного баланса. Соответствующие исследования, проводимые в последние годы, в т. ч. анализ влияния различных типов деградации земель на почвенный углерод, не только помогут в глобальной оценке экологического воздействия деградации земель, но и заложат основу для будущих решений по восстановлению и управлению земельными ресурсами.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Акишин А. С., Подколзин М. М., Акишин А. С. Земельные ресурсы России и Волгоградской области и формирование новой агропродовольственной политики (2005-2012): учебное пособие. Michael Podkolzin, 2008. [Akishin A. S., Podkolzin M. M., Akishin A. S. *Land resources of Russia and Volgograd region and formation of a new agri-food policy (2005-2012): textbook*. Michael Podkolzin, 2008].

Акперова У. З. Эрозия почвы водой и меры борьбы с ней. *Евразийский Союз Ученых*. 2020;8(77):45-51. doi: https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.986. [Akperova U. Z. Soil erosion by water and measures to combat it. *Eurasian Union of Scientists*. 2020;8(77):45-51. doi: https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.986].

Баасандорж Я., Дэлгэрцэцэг Р., Баярбат Г., Билгуун О., Золзаяа Н., Гуркова Е. А., Андроханов В. А., Жеребцов С. И. Влияние степени деградации каштановых почв сухостепной зоны Монголии на их устойчивость и гумусное состояние. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(7):29-32. doi: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10707. [Baasandorzh Ya., Delgertsetsetseg R., Bayarbat G., Bilguun O., Zolzayaa N., Gurkova E. A., Androkhanov V. A., Zherebtsov S. I. Influence of the degree of degradation of chestnut soils in the dry-steppe zone of Mon-

golia on their stability and humus state. *Achievements of Science and Technology of Agriculture*. 2019;33(7):29-32. doi: https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10707].

Барабанов А. Т. Теоретическое обоснование технологии агролесомелиоративного обустройства сельскохозяйственных земель для защиты от деградации и опустынивания. *Аридные экосистемы*. 2024;30(1):147-152. doi: https://doi.org/10.24412/1993-3916-2024-1-147-152. [Barabanov A. T. Theoretical substantiation of the technology of agroforestry arrangement of agricultural lands for protection against degradation and desertification. *Arid Ecosystems*. 2024;30(1):147-152. doi: https://doi.org/10.24412/1993-3916-2024-1-147-152].

Безуглова О. С., Голозубов О. М., Полуян Д. И. Региональные особенности процессов опустынивания в Ростовской области. *Аридные экосистемы*. 2015;21(1):17-21. DOI: 10.7531/ae.2015.21.1.2. [Bezuglova O. S., Golozubov O. M., Poluyan D. I. Regional features of desertification processes in Rostov region. *Arid Ecosystems*. 2015;21(1):17-21. DOI: 10.7531/ae.2015.21.1.2].

Благовещенский Г. В., Конончук В. В., Тимошенко С. М. Углеродная секвестрация в травяных экосистемах. *Кормопроизводство*. 2019;(9):17-21. [Blagoveshchensky G. V., Kononchuk V. V., Timoshenko S. M. Carbon sequestration in grass ecosystems. *Forage Production*. 2019;(9):17-21].

Власенко М. В., Кулик А. К., Салугин А. Н. Оценка экологического состояния и потерь продуктивности аридных пастбищных экосистем Сарпинской низменности. *Аридные экосистемы*. 2019;25(4):71-81. doi: https://doi.org/10.24411/1993-3541-2019-10057. [Vlasenko M. V., Kulik A. K., Salugin A. N. Assessment of ecological state and productivity losses of arid pasture ecosystems of the Sarpinskaya lowland. *Arid Ecosystems*. 2019;25(4):71-81. https://doi.org/10.24411/1993-3541-2019-10057].

Голубятников Л. Л., Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О. Оценка баланса углерода степных экосистем России. Известия РАН. *Физика атмосферы и океана*. 2023;59(1):71-87. [Golubyatnikov L. L., Kurganova I. N., Lopez de Gerenyu V. O. Assessment of carbon balance of steppe ecosystems of Russia. Izvestiya RAS. *Physics of Atmosphere and Ocean*. 2023;59(1):71-87].

Дедова Э. Б., Гольдварг Б. А., Цаган-Манджиев Н. Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления. *Аридные экосистемы*. 2020;26(2):63-71. doi: https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10097. [Dedova E. B., Gol'dvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N.L. Land degradation in the Republic of Kalmykia: problems and ways of restoration. *Arid Ecosystems*. 2020;26(2):63-71. doi: https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10097].

Залибекова М. З., Галимова У. А. Об оценке основных критериев стадий опустынивания почв в условиях современного климатического потепления. *Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН*. 2012;(61):177-184. [Zalibekova M. Z., Galimova U. A. On the assessment of the main criteria of soil desertification stages under conditions of modern climate warming. *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of RAS*. 2012;(61):177-184].

Золотокрылин А. Н., Титкова Т. Б. Новый подход к мониторингу очагов опустынивания. *Аридные экосистемы*. 2011;17(3):14-22. [Zolotokrylin A. N., Titkova T. B. New approach to monitoring of desertification foci. *Arid Ecosystems*. 2011;17(3):14-22].

Зонн И. С., Куст Г. С., Андреева О. В. Парадигма опустынивания: 40 лет развития и глобальных действий. *Аридные экосистемы*. 2017;23(3):3-16. doi: https://doi.org/10.7531/ae.2017.23.3.1. [Zonn I. S., Kust G. S., Andreeva O. V. Paradigm of desertification: 40 years of development and global actions. *Arid Ecosystems*. 2017;23(3):3-16. doi: https://doi.org/10.7531/ae.2017.23.3.1].

Иванищев В. В., Евграшкина Т. Н., Бойкова О. И., Жуков Н. Н. Засоление почвы и его влияние на растения. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2020;(3). [Ivanischev V. V., Evgrashkina T. N., Boykova O.I., Zhukov N. N. Soil salinization and its effect on plants. *Izvestiya TulGU. Earth Sciences*. 2020;(3)].

Когут Б. М., Семенов В. М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2020;(102):103-124. doi: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-103-124. [Kogut B. M., Semenov V. M. Assessment of soil organic carbon saturation. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 2020;(102):103-124. doi: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-103-124].

Кожемяченко А. А. Исследование причин и последствий эрозии почвенного покрова. *Экономика и предпринимательство*. 2022;2(139):1211-1214. doi: https://doi.org/10.34925/EIP.2022.139.2.241. [Kozhemyachenko A .A. Study of causes and conse-

quences of soil erosion. *Economics and Entrepreneurship*. 2022;2(139):1211-1214. doi: https://doi.org/10.34925/EIP.2022.139.2.241].

Кретинин В. М., Кошелев А. В., Шатровская М. О., Веденеева В. А., Поташкина Ю. Н. Аккумуляция углерода в почве и фитомассе защитных лесных насаждений юга России. *Научно-агрономический журнал*. 2023;4(123):52-59. doi: https://doi.org/10.34736/FNC.2023.123.4.008.52-59. [Kretinin V. M., Koshelev A. V., Shatrovskaya M. O., Vedeneeva V. A., Potashkina Yu. N. Carbon accumulation in the soil and phytomass of protective forest plantations in the south of Russia. *Scientific-Agronomic Journal*. 2023;4(123):52-59. doi: https://doi.org/10.34736/FNC.2023.123.4.008.52-59].

Кудеяров В. Н. Влияние удобрений и системы земледелия на секвестрацию углерода в почвах. *Агрохимия*. 2022;(12):79-96. doi: https://doi.org/10.31857/S0002188122120092. [Kudeyarov V. N. Effect of fertilizers and farming systems on carbon sequestration in soils. *Agrochemistry*. 2022;(12):79-96. doi: https://doi.org/10.31857/S0002188122120092].

Кулик К. Н., Беляев А. И., Барабанов А. Т. [и др.]. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Волгоградской области. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, 2024;256 с. [Kulik K. N., Belyaev A. I., Barabanov A. T. [et al.]. National Action Program to Combat Desertification in the Volgograd Region. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2024;256 p.].

Полуэктов Е. В. Потери почвы от эрозии и дефляции в зоне их совместного проявления. *Почвоведение*. 1995;(3):358-364. [Poluektov E. V. Soil losses from erosion and deflation in the zone of their joint manifestation. *Soil Science*. 1995;(3):358-364].

Романенков В. А., Мешалкина Ю. Л., Горбачева А. Ю., Добровольская В. А., Кренке А. Н. Прогноз динамики запасов углерода в почвах возделываемых земель Европейской России в контексте стратегии низкоуглеродного развития. *Известия РАН. Серия географическая*. 2023;87(4):584-596. doi: https://doi.org/10.31857/S2587556623040106. [Romanenkov V. A., Meshalkina Yu. L., Gorbacheva A. Yu., Dobrovolskaya V. A., Krenke A. N. Forecast of carbon stock dynamics in soils of cultivated lands of European Russia in the context of low-carbon development strategy. *Izvestiya RAS. Geographical Series*. 2023;87(4):584-596. doi: https://doi.org/10.31857/S2587556623040106].

Романовская А. Ю., Савин И. Ю. Современные методы мониторинга ветровой эрозии почв. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2020;(104):110-157. doi: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-110-157. [Romanovskaya A. Yu., Savin I. Yu. Modern methods of monitoring wind soil erosion. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 2020;(104):110-157. doi: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-110-157].

Сальникова Н. А. и др. Оценка содержания запасов углерода в гидроморфных почвах дельты Волги. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2008;(12-1):139-142. [Salnikova N. A. et al. Assessment of carbon stocks in hydromorphic soils of the Volga delta. *Bulletin of Orenburg State University*. 2008;(12-1):139-142].

Семенова В. М., Лебедева Т. Н., Зинякова Н. Б., Хромычкина Д. П., Соколова Д. А., Лопес де Гереню В. О., Кравченко И. К., Лис Х., Семенов М. В. Зависимость разложения органического вещества почвы и растительных остатков от температуры и влажности в длительных инкубационных экспериментах. *Почвоведение*. 2022;(7):860-875. doi: https://doi.org/10.31857/S0032180X22070085. [Semenova V. M., Lebedeva T. N., Zinyakova N. B., Khromychkina D. P., Sokolova D. A., Lopez de Gerenyu V. O., Kravchenko I. K., Lis H., Semenov M. V. Dependence of decomposition of soil organic matter and plant residues on temperature and moisture in long-term incubation experiments. *Soil Science*. 2022;(7):860-875. doi: https://doi.org/10.31857/S0032180X22070085].

Теймуров С. А., Ибрагимов К. М., Гамидов И. Р., Умаханов М. А. Формирование почвенного покрова в ландшафтно-пастбищных комплексах под влиянием процессов деградации и опустынивания. *Горное сельское хозяйство*. 2018;(1):62-68. doi: https://doi.org/10.25691/GSH.2018.1.014. [Teymurov S. A., Ibragimov K. M., Gamidov I. R., Umakhanov M.A. Formation of soil cover in landscape-pasture complexes under the influence of degradation and desertification processes. *Mountain Agriculture*. 2018;(1):62-68. doi: https://doi.org/10.25691/GSH.2018.1.014].

Томаровский А. А., Спицына С. Ф., Оствальд Г. В. Утрата микроэлементов из почвы при дефляции в условиях зоны сухой степи Алтайского края. *Вестник Алтайского государственно-*

го аграрного университета. 2016;11(145):43-48. [Tomarovsky A. A., Spitsyna S. F., Ostvald G. V. Loss of microelements from soil during deflation in the dry steppe zone of Altai Krai. *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2016;11(145):43-48].

Федотова А. В. Оценка запасов углерода почв в засушливых условиях юга европейской части России. *Научно-агрономический журнал*. 2023;4(123):105-110. doi: https://doi.org/10.34736/FNC.2023.123.4.016.105-110. [Fedotova A. V. Assessment of soil carbon stocks in arid conditions of the southern European part of Russia. *Scientific-Agronomic Journal*. 2023;4(123):105-110. doi: https://doi.org/10.34736/FNC.2023.123.4.016.105-110].

Федотова А. В., Емельяненко В. И. Оценка запасов органического углерода в засушливых деградированных почвах юга России. *Аридные экосистемы*. 2025;31(2):61-68. doi: https://doi.org/10.24412/1993-3916-2025-2-61-68. [Fedotova A. V., Emelyanenko V.I. Assessment of organic carbon stocks in arid degraded soils of southern Russia. *Arid Ecosystems*. 2025;31(2):61-68. doi: https://doi.org/10.24412/1993-3916-2025-2-61-68].

Федотова А. В., Умарова А. Б., Шваров А. П., Яковлева Л. В. Динамика физических свойств почв и запасов гумуса в засоленных почвах в условиях опустынивания. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2023;(115):107-128. doi: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-107-128. [Fedotova A. V., Umarova A. B., Shvarov A. P., Yakovleva L. V. Dynamics of physical properties and humus stocks in saline soils under desertification conditions. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 2023;(115):107-128. doi: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-107-128].

Хиясов М. Г., Насиев Б. Н., Жанаталапов Н. Ж., Беккалиев А. К., Өкшебаев А. Е. Изменчивость качества почвы в результате динамических воздействий выпаса. *Почвоведение и агрохимия*. 2026;(1):49-60. doi: https://doi.org/10.51886/1999-740X_2026_1_49. [Khiyasov M. G., Nasiev B. N., Zhanatalapov N. Zh., Bekkaliev A. K., Okshebaev A. E. Variability of soil quality as a result of grazing dynamic impacts. *Soil Science and Agrochemistry*. 2026;(1):49-60. doi: https://doi.org/10.51886/1999-740X_2026_1_49].

Чимитдоржиева Г. Д. Пути секвестрации углерода при землепользовании (обзор литературы). *Сибирский экологический журнал*. 2023;(3):238-252. doi: https://doi.org/10.15372/SEJ20230302. [Chimitdorzhieva G. D. Ways of carbon sequestration in land use (literature review). *Siberian Ecological Journal*. 2023;(3):238-252. doi: https://doi.org/10.15372/SEJ20230302].

Эдельгериев Р. С. Х., Иванов А. Л., Донник И. М. [и др.]. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). Т. 3. Москва: Издательство МБА, 2021;700 с. doi https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1 [Edelgeriev R. S. Kh., Ivanov A. L., Donnik I. M. [et al.]. Global climate and soil cover of Russia: manifestations of drought, measures for prevention, control, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry). Vol. 3. Moscow: MBA Publishing House, 2021;700 p. doi https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1].

Яцухно В. М. О специальном докладе МГЭИК. *Земля Беларуси*. 2020;(1):35-36. [Yatsukhno V. M. On the special report of the IPCC. *Land of Belarus*. 2020;(1):35-36].

Ahmed Z. et al. An overview of global desertification control efforts: Key challenges and overarching solutions. *Soil Use and Management*. 2024;40(4):e13154. doi: https://doi.org/10.1111/sum.13154.

Ai M., Sun Y., Yan B., Wei Y. A Summary of the Impact of Land Degradation on Soil Carbon Sequestration. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*. 2018;394(5):052028. doi: https://doi.org/10.1088/1757-899X/394/5/052028.

Bat-Oyun T., Shinoda M., Cheng Y., Purevdorj Y. Effects of grazing and precipitation variability on vegetation dynamics in a Mongolian dry steppe. *Journal of Plant Ecology*. 2016;9(5):508-519. doi: https://doi.org/10.1093/jpe/rtv083.

Bauer S. Desertification. *Handbook of Globalization and the Environment. Routledge*, 2017:77-94. doi: https://doi.org/10.4324/9781315093253.

Berger S., Braeckevelt E., Blodau C., Burger M., Goebel M., Klemm O., Knorr K.-H., Wagner-Riddle C. A 1-year greenhouse gas budget of a peatland exposed to long-term nutrient infiltration and altered hydrology: high carbon uptake and methane emission. *Environmental monitoring and assessment*. 2019;191(9):533. doi: https://doi.org/10.1007/s10661-019-7639-1.

Bogati K. A., Sewerniak P., Walczak M. Unraveling the effect of soil moisture on microbial diversity and enzymatic activity in agricultural soils. *Microorganisms*. 2025;13(6):1245. doi: https://doi.org/10.3390/microorganisms13061245.

Bray N. Effects of Soil Invertebrates on Microbial Communities and Carbon and Nutrient Cycling in Managed Urban Grass Systems. 2019.

Brunn M., Mueller C. W., Chari N. R., Meier I. C., Obersteiner S., Phillips R. P., Klein T. Tree carbon allocation to root exudates: implications for carbon budgets, soil sequestration and drought response. *Tree Physiology*. 2025;45(4):tpaf026. doi: https://doi.org/10.1093/treephys/tpaf026.

Brunner I., Herzog C., Dawes M. A., Arend M., Sperisen C. How tree roots respond to drought. *Front. Plant Sci*. 2015;6:547. doi: https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00547.

Chen G. et al. Net zero vs. carbon neutrality: supply chain management challenges and future research agenda. International Journal of Logistics Research and Applications. 2026;29(1):35-70. doi: https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2359058.

Chen Y., Ju W., Groisman P., Li J., Propastin P., Xu X., Zhou W., Ruan H. Quantitative Assessment of Carbon Sequestration Reduction Induced by Disturbances in Temperate Eurasian Steppe. *Environmental Research Letters*. 2017;12(11):115005. doi: https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa849b.

Climate Change and Land: an IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security and greenhouse fluxes in terrestrial ecosystems. WMO, UNEP, Geneva, 2019. 874 p.

Dregne H. E. Combating desertification: evaluation of progress. *Environmental Conservation*. 1984;11(2):115-121. doi: https://doi.org/10.1017/S0376892900013801.

Evans S. E., Allison S. D., Hawkes C. V. Microbes, memory and moisture: Predicting microbial moisture responses and their impact on carbon cycling. *Functional Ecology*. 2022;36(6):1430-1441. doi: https://doi.org/10.1111/1365-2435.14034.

FAO. Global Strategic Mechanism for Food Security and Nutrition. 2017. URL: http://www.fao.org/3/MR173RU/mr173ru.pdf.

FAO. The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome, 2019. URL: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d02-92235b8d7dc7/content.

Fedotova A. V., Emelyanenko V. I. Assessment of Organic Carbon Stocks in Arid Degraded Soils of Southern Russia. *Arid Ecosystems*. 2025;15(2):173-179. doi: https://doi.org/10.1134/S2079096125700076.

Feng X., Fan Q., Qu J., Ding X., Niu Z. Characteristics of carbon sources and sinks and their relationships with climate factors during the desertification reversal process in Yulin, China. Front. *For. Glob. Change*. 2023;6:1288449. doi: https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1288449.

Ferner J., Schmidtlein S., Guuroh R. T., Lopatin J., Linstädter A. Disentangling effects of climate and land-use change on West African drylands' forage supply. *Global Environmental Change*. 2018;53:24-38. doi: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.007.

Gaitán J. J., Maestre F. T., Bran D. E., Buono G. G., Dougill A. J., Garcia Martinez G., Ferrante D., Guuroh R. T., Linstädter A., Massara V., Thomas A. D., Oliva G. E. Biotic and abiotic drivers of topsoil organic carbon concentration in drylands have similar effects at regional and global scales. *Ecosystems*. 2019;22(7):1445-1456. doi: https://doi.org/10.1007/s10021-019-00348-y.

Glantz M. H. The UN and desertification: Dealing with a global problem. Desertification. CRC Press, 2019:1-15; Do Nascimento F. R. Global environmental changes, desertification and sustainability. Springer, 2023. 90p. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-32947-0.

Hailu F. Climate change as a trigger for desertification and possible alternatives to reduce biodiversity loss. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 2023;11(1):94-111. doi: https://doi.org/10.36610/j.jsab.2023.110100091.

Haj-Amor Z. et al. Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions, crop yield, biodiversity and desertification: A review. *Science of The Total Environment*. 2022;843:156946. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156946.

Heshmati G. A., Squires V. R. Combating desertification in asia, africa and the Middle East. Springer, New York, 2013. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-6652-5.

Hicks Pries C. E. et al. Long term decomposition: the influence of litter type and soil horizon on retention of plant carbon and nitrogen in soils. *Biogeochemistry*. 2017;134(1):5-16. doi: https://doi.org/10.1007/S10533-017-0345-6.

IPCC. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019. In press.

Islam W., Zeng F., Siddiqui J. A., Zhihao Z., Du Y., Zhang Y., Alshaharni M. O., Khan K. A. Combating desertification: comprehensive strategies, challenges, and future directions for sustainable solutions. *Biological Reviews*. 2025;100(4):1594-1614. doi: https://doi.org/10.1111/brv.70015.

Jones C. et al. Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil. *Global Change Biology*. 2005;11(1):154-166. doi: https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00885.x.

Kertész Á. The global problem of land degradation and desertification. *Hungarian Geographical Bulletin*. 2009;58(1):19-31.

Lal R. Почвы и антропогенное изменение климата. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2026;(127):62-71. doi: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2026-127-62-71.

Lal R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*. 2018;24(8):3285-3301. doi: https://doi.org/10.1111/gcb.14054.

Lal R. Carbon sequestration in drylands. *Annals of Arid Zone*. 2000;39(1):1-10. doi: https://doi.org/10.56093/aaz.v39i1.65901.

Lal R. Global potential of carbon sequestration in dryland ecosystems. *Global Change Biology*. 2004;10:715-728.

Leighton M. Desertification and migration. Governing global desertification. Routledge, 2016:63-78. doi: https://doi.org/10.4324/9781315253916.

Li Z., Nie X., Chang X., Liu L., Sun L. Characteristics of Soil and Organic Carbon Loss Induced by Water Erosion on the Loess Plateau in China. *PLoS ONE*. 2016;11(4):e0154591. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154591.

Li Y. et al. Soil organic carbon loss due to land degradation in arid regions of China. *Catena*. 2018;165:220-228. doi: https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.038.

Li Y., Liu Z., Li P., Zhou X., Deng Z., Zou Z., Tang J., Zhang C., Li T., Peng C. Dissolved and particulate organic carbon transport among forest, river, and wetland ecosystems: a review of processes, controlling factors, challenges, and prospects. *Environmental Reviews*. 2025;33:1-22. doi: https://doi.org/10.1139/er-2024-0078.

Liu J. et al. How much carbon storage will loss in a desertification area? Multiple policy scenario analysis from Gansu Province. *Science of the Total Environment*. 2024;913:169668. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169668.

Liu N., Zhang Y., Chang S., Kan H., Lin L. Impact of Grazing on Soil Carbon and Microbial Biomass in Typical Steppe and Desert Steppe of Inner Mongolia. *PLoS ONE*. 2012;7(5):e36434. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036434.

Lu F., Hu H., Sun W., Zhu J., Liu G., Zhou W., et al. Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 2018;115:4039-4044. doi: https://doi.org/10.1073/pnas.1700294115.

Lund P. A., De Biase D., Liran O., Scheler O., Mira N. P., Cetecioglu Z., Fernández E. N., Bover-Cid S., Hall R., Sauer M., O'Byrne C. Understanding How Microorganisms Respond to Acid pH Is Central to Their Control and Successful Exploitation. *Front. Microbiol*. 2020;11:556140. doi: https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.556140.

Malik A. A., Bouskill N. J. Drought impacts on microbial trait distribution and feedback to soil carbon cycling. *Functional Ecology*. 2022;36(6):1442-1456. doi: https://doi.org/10.1111/1365-2435.14010.

Malone R. et al. Drainage N loads under climate change with winter rye cover crop in a northern Mississippi River Basin corn-soybean rotation. *Sustainability*. 2020;12(18):7630. doi: https://doi.org/10.3390/su12187630.

McAllister R. R. J. et al. Carbon loss from soil degradation in Australian rangelands. *Environmental Science & Policy*. 2017;76:88-96. doi: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.003.

Metze D., Schnecker J., Canarini A., Fuchslueger L., Koch B. J., Stone B. W., Hungate B. A., Hausmann B., Schmidt H., Schaumberger A., Bahn M., Kaiser C., Richter A. Microbial growth under drought is confined to distinct taxa and modified by potential future climate conditions. *Nature Communications*. 2023;14(1):5895. doi: https://doi.org/10.1038/s41467-023-41524-y.

Minasny B., Malone B. P., McBratney A. B., Angers D. A., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Cheng K., Das B. S., Field D. J., Gimona A., Hedley C. B., Hong S. Y., Mandal B., Marchant B. P., Martin M., McConkey B. G., Mulder V. L., O'Rourke S., Richer-de-Forges A. C., Odeh I., Padarian J., Paustian K., Pan G., Poggio L., Savin I., Stolbovoy V., Stockmann U., Sulaeman Y., Tsui C.-C., Vågen T.-G., Wesemael B., Winowiecki L. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*. 2017;292:59-86. doi: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002.

Minelli S., Erlewein A., Castillo V. Land degradation neutrality and the UNCCD: from political vision to measurable targets. International yearbook of soil law and policy 2016. Springer International Publishing, Cham, 2017:85-104. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42508-5_9.

Mirzabaev A. et al. Land degradation in Central Asia: Drivers, trends, and policy responses. *Environmental Development*. 2019;31:1-12. doi: https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.01.002.

Mitsuta A., Lourenço K. S., de Oliveira B. G., de Assis Costa O. Y., Cantarella H., Kuramae E. E. Soil pH determines the shift of key microbial energy metabolic pathways associated with soil nutrient cycle. *Applied Soil Ecology*. 2025;208:105992. doi: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.105992.

Mohammadzadeh A., Azimzadeh Y. The effect of climate change on the physical and chemical properties of arid and semi-arid soils. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 2023;12(3):139-152. doi: https://doi.org/10.30495/WSRCJ.2023.71490.11347.

Munjonji L., Ayisi K. K., Mudongo E. I., Mafeo T. P., Behn K., Mokoka M. V., Linstädter A. Disentangling Drought and Grazing Effects on Soil Carbon Stocks and CO_2 Fluxes in a Semi-Arid African Savanna. *Front. Environ. Sci.* 2020;8:590665. doi: https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.590665.

Nolan R. H. et al. Biophysical risks to carbon sequestration and storage in Australian drylands. *Journal of Environmental Management*. 2018;208:102-111. doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.002.

Pfeiffer M., Langan L., Linstädter A., Martens C., Gaillard C., Ruppert J. C., Higgins S., Mudongo E., Scheiter S. Grazing and aridity reduce perennial grass abundance in semi-arid rangelands – Insights from a trait-based dynamic vegetation model. *Ecological Modelling*. 2019;395:11-22. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.12.013.

Ren S., Terrer C., Li J., et al. Historical impacts of grazing on carbon stocks and climate mitigation opportunities. *Nat. Clim. Chang*. 2024;14:380-386. doi: https://doi.org/10.1038/s41558-024-01957-9.

Rogers B. The carbon agenda. The Annals of The Royal College of Surgeons of England. 2021;103(10):707-708. doi: https://doi.org/10.1308/rcsann.2021.0292.

Sandhage-Hofmann A. et al. Rangeland management effects on soil properties in the savanna biome, South Africa: A case study along grazing gradients in communal and commercial farms. *Journal of Arid Environments*. 2015;120:14-25. doi: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.004.

Schlesinger W. H., Reynolds J. F., Cunningham G. L., Huenneke L. F., Jarrell W. M., Virginia R. A., Whitford W. G. Biological Feedbacks in Global Desertification. *Science.* 1990;247(4946):1043-1048. doi: https://doi.org/10.1126/science.247.4946.1043.

Schmidt M. W., Torn M. S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I. A., Kleber M., Kögel-Knabner I., Lehmann J., Manning D. A. C., Nannipieri P., Rasse D. P., Weiner S., Trumbore S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*. 2011;478(7367):49-56. doi: https://doi.org/10.1038/nature10386.

Setia R. et al. Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks. *Science of the Total Environment*. 2013;465:267-272. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.028.

Ren S., Terrer C., Li J., Cao Y., Yang S., Liu D. Historical impacts of grazing on carbon stocks and climate mitigation opportunities. *Nature Climate Change*. 2024;14:380-386. doi: https://doi.org/10.1038/s41558-024-01957-9.

Sommer R., De Pauw E. Organic carbon in soils of Central Asia--status quo and potentials for sequestration. *Plant and Soil*. 2011;338(1):273-288. doi: https://doi.org/10.1007/s11104-010-0479-y.

Tan Z. X., Lal R., Smeck N. E., Calhoun F. G. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. *Geoderma*. 2004;(121):187-195. doi: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.11.003.

Titova N. et al. Desertification and carbon losses in the steppe regions of Russia. *Arid Land Research and Management*. 2020;34(3):321-335. doi: https://doi.org/10.1007/s12098-020-00915-x.

Vega E., Montaña C. Effects of overgrazing and rainfall variability on the dynamics of semiarid banded vegetation patterns: A simulation study with cellular automata. *Journal of Arid Environments*.

2011;75(1):70-77. doi: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.08.001.

Vermeulen S., Bossio D., Lehmann J., Luu P., Paustian K., Webb C., Augé F., Bacudo I., Baedeker T., Havemann T., Jones C., King R., Reddy M., Sunga I., Unger V. M., Warnken M. A global agenda for collective action on soil carbon. *Nature Sustainability*. 2019;2(1):2-4. doi: https://doi.org/10.1038/s41893-018-0212-z.

Wang B. et al. Grazing simplifies soil micro-food webs and decouples their relationships with ecosystem functions in grasslands. *Global Change Biology*. 2020;26(2):960-970. doi: https://doi.org/10.1111/gcb.14841.

Xu Z., Liang W., Lei J., Wu Y., Wang Z. Monitoring and assessment of desertification reversal in ecologically fragile areas: A case study of the Mu Us Sandy Land. *Journal of Environmental Management*. 2025;373:123695. doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123695.

Xu Z., Shimizu H., Yagasaki Y., Ito S., Zheng Y., Zhou G. Interactive effects of elevated CO_2, drought, and warming on plants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2013;32(4):692-707. doi: https://doi.org/10.1007/s00344-013-9337-5.

Yan H. et al. Losses of soil organic carbon under wind erosion in China. *Global Change Biology*. 2005;11(5):828-840. doi: https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00950.x.

Yang R., Sha Y., Li Y., Sun Z., Zhou L., Ji H., Zhu Y., Yang B. Salinity Effects on Anammox Biodegradation and Microbial Resilience in Land-Degraded Soils. *Land Degradation & Development*. 2026;37(4):1179-1192. doi: https://doi.org/10.1002/ldr.70170.

Zhao G., Zhang Z., Tariq A., Sabit R., Sardans J., Graciano C., Li X., Zhu Y., Peñuelas J., Al-Bakre D. A., Zeng F. Grazing exclusion significantly reduced soil organic carbon stocks but enhanced soil inorganic carbon stocks in desert steppe of northwest China. *Ecological Indicators*. 2025;172:113341. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113341.

Информация об авторах

Федотова Анна Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» ФНЦ агроэкологии РАН, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97, Россия, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru, ORCID 0000-0003-0241-179.

Тимофеев Евгений Павлович, младший научный сотрудник ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» ФНЦ агроэкологии РАН, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97, Россия, e-mail: timofeev-e@vfanc.ru , ORCID 0009-0000-6779-4894.

Information about the authors

Fedotova Anna Vladislavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russia, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru, ORCID 0000-0003-0241-1797.

Timofeev Evgeniy Pavlovich, Junior Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russia, e-mail: timofeev-e@vfanc.ru , ORCID 0009-0000-6779-4894.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declares no conflict of interests.

УДК 633.11:631.46 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.007.88-97

Реакция пшеницы на инокуляцию коммерческим препаратом «жидкая микориза»

Энхбат Мэнд-Амар[1]; Мижидсүрэн Бямбасурэн[1,✉]; Бэгз Дорж[2]
[1]Монгольский научно-исследовательский институт защиты растений, Улан-Батор, Монголия
[2]Монгольский государственный университет сельского хозяйства, Улан-Батор, Монголия

Аннотация. Арбускулярные микоризные грибы рассматриваются как перспективный биологический инструмент для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения плодородия почвы, однако их эффективность в условиях богарного земледелия Монголии изучена недостаточно. Цель исследования – оценить влияние инокуляции арбускулярными микоризными грибами (АМГ) на отдельные показатели роста, урожайности, развития корневой системы и плодородия почвы при возделывании яровой пшеницы в условиях богарного земледелия Центральной Монголии. Полевой опыт проводили в 2024-2025 гг. в условиях богарного земледелия в двух вариантах: контроль (без инокуляции) и инокуляция АМГ. Оценивали показатели роста растений, урожайность, массу и длину корней, степень микоризной колонизации, содержание гломалин-связанного почвенного белка (GRSP), органического вещества, общего азота и подвижного фосфора. Статистическую обработку данных выполняли с использованием t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$). Инокуляция АМГ способствовала повышению средней урожайности на 20,9 % и массы 1000 зерен на 4,0 % по сравнению с контролем. При этом степень микоризной колонизации увеличилась в 5,3 раза, масса корней – в 4,5 раза, а содержание гломалин-связанного почвенного белка (GRSP) – в 1,98 раза. Корреляционный анализ выявил статистически значимые положительные связи между содержанием GRSP, степенью микоризной колонизации, массой корней и урожайностью пшеницы. Полученные результаты показывают, что применение арбускулярных микоризных грибов способствует улучшению показателей роста пшеницы, развитию корневой системы и повышению плодородия почвы в условиях богарного земледелия Центральной Монголии. Полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований в данном направлении.

Ключевые слова. Яровая пшеница; арбускулярные микоризные грибы; богарное земледелие; микоризная колонизация; гломалин-связанный почвенный белок (GRSP); плодородие почвы; урожайность.

Цитирование. Энхбат М.-А., Мижидсүрэн Б., Бэгз Д. Реакция пшеницы на инокуляцию коммерческим препаратом «жидкая микориза» // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):88-97. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.007.88-97.

Поступила в редакцию: 12.07.2026 Принята к печати: 10.09.2026

UDC 633.11:631.46 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.007.88-97

Response of spring wheat to inoculation with the commercial product "Liquid Mycorrhiza"

Enkhbat Mend-Amar[1]; Mijidsuren Byambasuren[1,✉]; Begz Dorj[2]
[1]Mongolian Institute of Plant Protection Research, Ulaanbaatar, Mongolia
[2]Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

Abstract. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are considered a promising means of increasing crop productivity and improving soil properties. However, information on their use under the rainfed farming conditions of Mongolia remains limited. The aim of this study was to evaluate the response of spring wheat to inoculation with the commercial product "Liquid Mycorrhiza" under rainfed conditions in Central Mongolia. Field experiments were conducted in 2024 and 2025 and included two

✉ – Для контактов/Corresponding author

treatments: an untreated control and inoculation with the commercial product. Plant growth, grain yield, thousand-kernel weight, root length and biomass, mycorrhizal colonization, glomalin-related soil protein (GRSP), soil organic matter, total nitrogen, and available phosphorus were determined. The results were analyzed using Student's t-test at a significance level of $p < 0.05$. Inoculation increased the mean grain yield by 20.9 % and thousand-kernel weight by 4.0 % compared with the control. Mycorrhizal colonization increased 5.3-fold, while root biomass increased 4.5-fold. GRSP content was 1.98 times higher than in the control. Correlation analysis revealed positive relationships among GRSP content, mycorrhizal colonization, root biomass, and grain yield. AMF inoculation improves wheat growth and productivity and contributes to the improvement of soil fertility. The results provide a scientific basis for the use of commercial mycorrhizal products in sustainable wheat production under the rainfed conditions of Mongolia.

Keywords. Spring wheat; arbuscular mycorrhizal fungi; commercial product; rainfed farming; mycorrhizal colonization; glomalin-related soil protein; grain yield.

For citation. Enkhbat M.-A., Mijidsuren B., Begz D. Response of spring wheat to inoculation with the commercial product "Liquid Mycorrhiza" // Scientific Agronomy Journal 2026;3(134):88-97. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.007.88-97.

Received: 12.07.2026 Accepted: 10.09.2026

Введение. Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из важнейших продовольственных культур мира и играет ключевую роль в обеспечении глобальной продовольственной безопасности (Shiferaw et al., 2013). По прогнозам, к 2050 г. численность населения Земли достигнет около 9 млрд человек, что требует внедрения устойчивых технологий земледелия, обеспечивающих повышение урожайности при сохранении экологического равновесия (Smith & Gregory, 2013).

В настоящее время для повышения продуктивности пшеницы широко применяются синтетические удобрения и средства защиты растений. Однако их длительное и интенсивное использование может приводить к ухудшению состояния окружающей среды, снижению устойчивости агроэкосистем и усилению негативного воздействия биотических и абиотических стрессов на сельскохозяйственные культуры (Begum et al., 2019; Ferreira et al., 2022; Huang et al., 2023; Lopes- Prettl et al., 2024). В связи с этим возрастает интерес к экологически безопасным биологическим технологиям, способным повысить эффективность использования почвенных ресурсов и устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды (Begum et al., 2019; Prettl et al., 2024).

Арбускулярные микоризные грибы (AMF) являются одним из важнейших компонентов устойчивых агроэкосистем, особенно в условиях засушливых регионов с ограниченной обеспеченностью растений элементами минерального питания (Chow-dhary & Songachan, 2025a; Mjokwe et al., 2025). Образуя взаимовыгодный симбиоз с корнями растений, AMF обеспечивают обмен питательными веществами между грибом и растением, повышая доступность малоподвижных элементов, прежде всего фосфора, в обмен на продукты фотосинтеза.

Благодаря этому микоризная симбиоза способствует развитию корневой системы, улучшению поглощения воды и элементов минерального питания, а также повышению устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам (Mwampashi et al., 2024; Shukla et al., 2025). Кроме того, AMF способствуют поддержанию плодородия почвы и круговорота элементов питания (Huang et al., 2023; Lopes-Ferreira et al., 2022).

Одним из наиболее перспективных биологических подходов является применение арбускулярных микоризных грибов (AMF). Арбускулярная микориза образует взаимовыгодный симбиоз с большинством наземных растений и обеспечивает обмен питательными веществами между грибом и растением, повышая доступность малоподвижных элементов минерального питания, прежде всего фосфора, в обмен на продукты фотосинтеза (Huang et al., 2023; Lopes-Ferreira et al., 2022).

Благодаря этому AMF способствуют развитию корневой системы, улучшению поглощения воды и элементов минерального питания, повышению устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам, а также увеличению продуктивности сельскохозяйственных культур (Akbar et al., 2023; Khaliq et al., 2022; Ya-Dong Shao a, 2021). Кроме того, микоризный

симбиоз способствует поддержанию плодородия почвы, активизации круговорота питательных веществ и более эффективному использованию почвенных ресурсов, что делает его важным элементом устойчивых агроэкосистем (Khaliq et al., 2022; Ya-Dong Shao a, 2021).

Несмотря на многочисленные исследования, посвященные применению арбускулярных микоризных грибов, их эффективность в условиях богарного земледелия засушливых степных регионов остается недостаточно изученной. В Монголии исследования арбускулярной микоризы преимущественно проводились на древесных, пастбищных и кормовых растениях, тогда как влияние препаратов на основе арбускулярных микоризных грибов на урожайность и качество зерна пшеницы, а также на агрохимические свойства почвы в условиях Центральной земледельческой зоны страны практически не исследовано.

Целью настоящего исследования являлась оценка влияния препарата на основе арбускулярных микоризных грибов на урожайность и качество зерна пшеницы, а также на агрохимические свойства почвы в условиях Центральной земледельческой зоны Монголии.

Материалы и методы. Полевой эксперимент проводился в течение двух последовательных вегетационных сезонов (2024-2025 гг.) на опытном поле «Баянгол» Института научных исследований защиты растений в сомоне Борнуур Центрального аймака Монголии (48.62782270° с.ш., 106.32924090° в.д.). Территория исследования относится к лесостепной зоне и характеризуется резко континентальным климатом с полузасушливыми условиями и неравномерным распределением атмосферных осадков в течение вегетационного периода.

До закладки полевого опыта были отобраны объединенные образцы почвы с глубины 0-30 см для определения исходных агрохимических показателей. Почва исследуемого участка характеризовалась следующими свойствами: pH (соотношение почва:вода 1:2,5) – 7,65; содержание гумуса – 2,68 %; содержание органического углерода – 1,55 %; содержание общего азота – 0,12 %; содержание подвижного фосфора (P_2O_5) – 29 мг/кг; содержание обменного калия (K_2O) – 220 мг/кг.

Метеорологические условия регистрировали ежедневно с использованием автоматической метеостанции. Среднемесячные значения температуры воздуха и количества атмосферных осадков представлены на рис. 1.

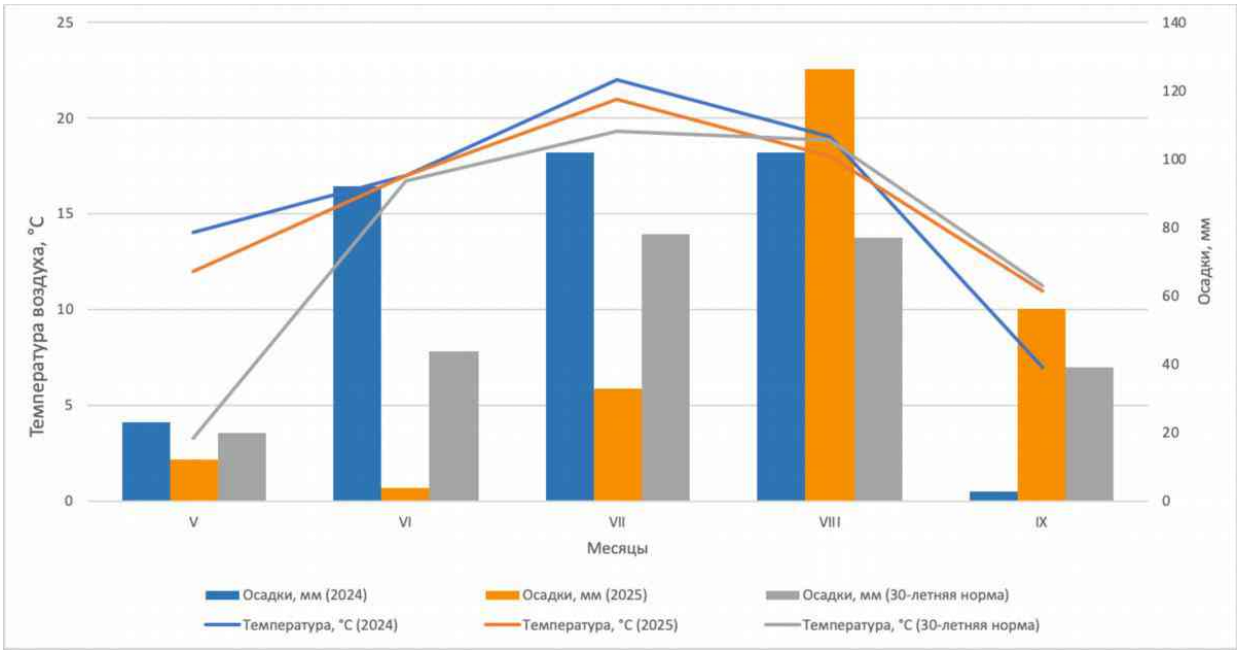

Рис. 1. Месячное количество осадков и среднемесячная температура воздуха в течение вегетационных сезонов 2024 и 2025 гг. в сомоне Борнуур, аймак Тув, Монголия, в сравнении со средними многолетними (30-летними) значениями. Данные получены с помощью автоматической метеостанции, расположенной вблизи экспериментального участка

Полевой эксперимент был заложен по схеме рандомизированных полных блоков (Randomized Complete Block Design, RCBD) в трехкратной повторности. В опыте были предусмот-

рены два варианта: Контроль – посев пшеницы без инокуляции арбускулярными микоризными грибами; АМГ – посев пшеницы с инокуляцией арбускулярными микоризными грибами.

Посев проводили 15 мая в соответствии с региональными агротехническими рекомендациями. Семена высевали на глубину 5 см нормой 120 кг/га при ширине междурядий 22 см.

В варианте с инокуляцией AMF применяли коммерческий жидкий препарат «Жидкая микориза» (ООО НВП «БашИнком», Россия), содержащий арбускулярный микоризный гриб *Rhizophagus irregularis* (не менее 2×10^5 спор/мл). Препарат вносили в посевную борозду одновременно с посевом в дозе, рекомендованной производителем (100 мл/га, приблизительно 2×10^7 спор/га). Препарат равномерно распыляли по дну посевной борозды на глубину заделки семян перед их заделкой почвой, обеспечивая контакт инокулята с зоной формирования корневой системы.

В фазе полной спелости определяли основные показатели роста и структуры урожая пшеницы. Учитывали количество продуктивных стеблей, высоту растений, длину колоса, число зерен в колосе и массу 1000 зерен. Урожайность определяли с учетной площади каждой делянки, пересчитывали на стандартную влажность зерна и выражали в т/га.

Показатели качества зерна определяли в соответствии со стандартизированными методами AACCI (AACCI, 2010). Содержание белка (%) определяли методом Кьельдаля (AACCI Method 46-12.01) с использованием коэффициента пересчета азота в белок, равного 5,7. Содержание крахмала (%) определяли методом ферментативного гидролиза (AACCI Method 76-13.01). Содержание сырой клейковины (%) определяли методом ручной отмывки с последующим центрифугированием (AACCI Method 38-12.02). Стекловидность (%) оценивали в проходящем свете и выражали как процент стекловидных зерен.

Для определения содержания питательных элементов в зерне образцы пшеницы, отобранные после уборки урожая, высушивали на воздухе и измельчали. Содержание общего азота (N), фосфора (P) и кальция (Ca) определяли в соответствии с Монгольскими национальными стандартами (MNS). Общий азот определяли по MNS 6549:2015, фосфор – по MNS 4266:2015, кальций – по MNS 4265:1995. Содержание элементов выражали в расчете на абсолютно сухое вещество. Все анализы выполняли в трехкратной повторности.

Образцы корней отбирали в фазе кущения пшеницы в середине июня. Из каждой повторности случайным образом отбирали по пять растений, после чего корни осторожно промывали под проточной водой для удаления частиц почвы. Затем материал осветляли в 10%-ном растворе KOH при температуре 90 °C в течение 30 мин и окрашивали 0,05 %-ным раствором трипанового синего в лактоглицерине.

Степень микоризной колонизации определяли методом пересечения линий сетки (gridline-intersect method) по методике, описанной в работе (Giovannetti & Mosse, 1980). Процент колонизации корней рассчитывали по формуле:

$$\text{Колонизация (\%)} = \frac{Nm}{Nt} \cdot 100,$$

где Nt – общее число пересечений линий сетки с корнями; Nm – число пересечений, в которых выявлена микоризная колонизация.

Определение высоты растений и массы 1000 зерен.

Высоту растений определяли в фазе полной спелости, измеряя расстояние от поверхности почвы до вершины колоса без учета остей. Из каждой повторности случайным образом отбирали по пять растений, после чего рассчитывали среднее значение.

Массу 1000 зерен определяли в соответствии с Монгольским национальным стандартом (MNS 0487:2001). Образцы зерна высушивали до постоянной влажности (около 12 %), затем случайным образом отсчитывали 1000 зерен и взвешивали на электронных весах с точностью ± 0,01 г. Все измерения выполняли в трехкратной повторности.

Образцы почвы отбирали до посева и после уборки урожая из слоя 0-30 см. Композитные образцы получали путем тщательного смешивания проб, отобранных с каждой повторности. Определяли следующие показатели почвы: pH, электрическую проводимость (EC), содержание органического вещества почвы (SOM), общий азот (TN), нитратный азот (NO_3^-–N), аммонийный азот (NH_4^+–N), подвижный фосфор и обменный калий. Значения pH и EC измеряли с помощью pH-метра и кондуктометра соответственно. Содержание органического вещества определяли методом Тюрина, общий азот – полумикрометодом Кьельдаля, нитратный и аммонийный азот – с использованием автоматического анализатора, подвижный фосфор – методом

Мачигина, обменный калий – методом пламенной фотометрии в соответствии с Монгольскими национальными стандартами (MNS) и общепринятыми аналитическими методами. Все анализы выполняли в трехкратной повторности.

Концентрацию белка, связанного с гломалином почвы (GRSP), определяли методом Брэдфорда с использованием красителя Coomassie Brilliant Blue. Оптическую плотность измеряли при длине волны 595 нм. Содержание белка рассчитывали по калибровочной кривой с использованием бычьего сывороточного альбумина (BSA) (Zbíral et al., 2017)

Статистическую обработку данных проводили в программной среде R версии 4.3.2 (R Core Team, 2024). Данные анализировали с использованием t-критерия Стьюдента. Результаты представлены в виде среднего значения ± стандартной ошибки (M ± SE). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. *Влияние арбускулярной микоризы на рост и урожайность пшеницы.* Вариант с инокуляцией АМГ отличался от контроля по ряду показателей роста пшеницы (рис. 2). По сравнению с контролем в варианте с АМГ наблюдалась тенденция к увеличению массы 1000 зерен, тогда как длина колоса была ниже. Выявленные различия между вариантами были статистически значимыми ($p < 0,05$).

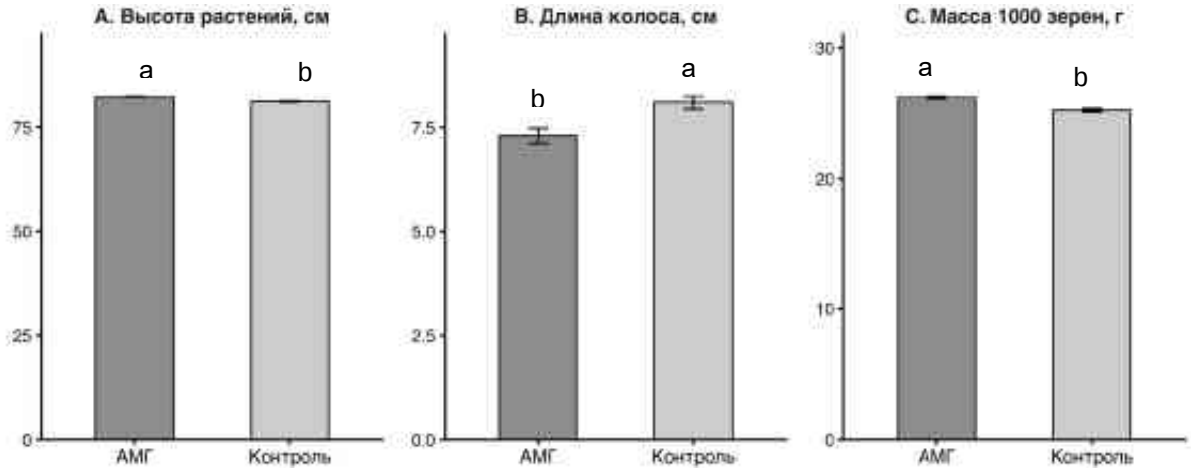

Рис. 2. Влияние инокуляции арбускулярными микоризными грибами на показатели роста пшеницы. Здесь и в рис. 3-5 различные буквы над столбцами указывают на статистически значимые различия между вариантами по критерию Стьюдента ($p < 0,05$). Данные представлены как M ± SE (n = 3)

По сравнению с контролем урожайность пшеницы в варианте с АМГ была выше в 2024 г., а также по среднему значению за два года (рис. 3). В 2025 г. урожайность также была выше, однако различия между вариантами не достигли статистической значимости ($p > 0,05$).

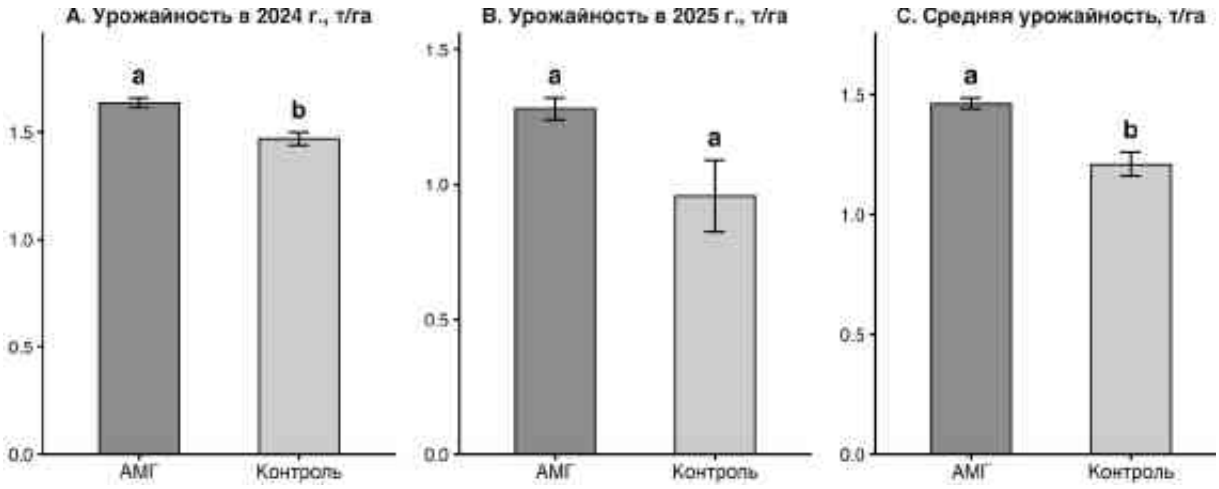

Рис. 3. Влияние инокуляции арбускулярными микоризными грибами на урожайность пшеницы

Влияние арбускулярной микоризы на развитие корневой системы пшеницы. Показатели развития корневой системы также различались между вариантами (рис. 4). По сравнению с контролем в варианте с АМГ отмечены более высокие значения массы и длины корней, а также степени микоризной колонизации корней. Различия между вариантами по всем исследованным показателям были статистически значимыми ($p < 0,05$).

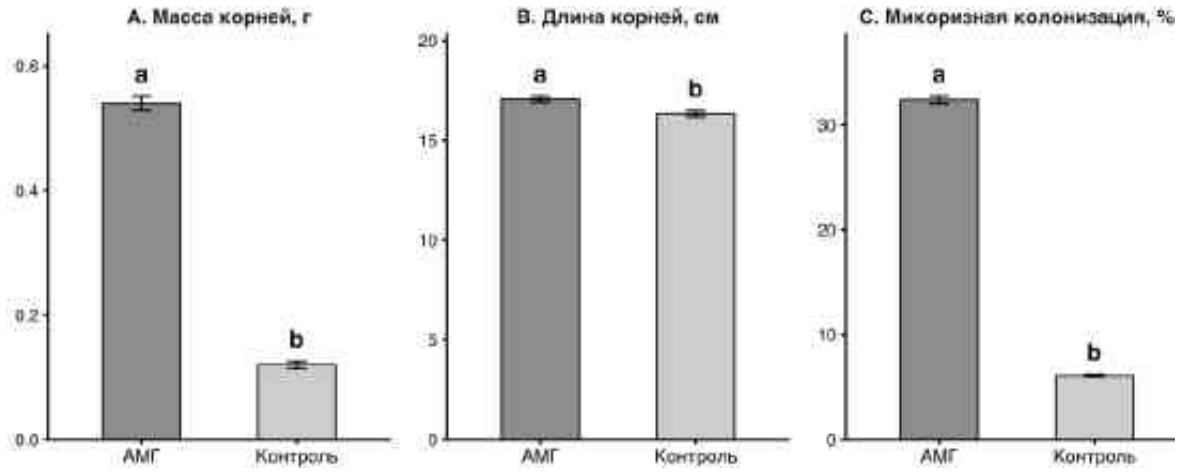

Рис. 4. Влияние инокуляции арбускулярными микоризными грибами на развитие корневой системы пшеницы

Влияние арбускулярной микоризы на плодородие почвы. Инокуляция арбускулярными микоризными грибами сопровождалась различиями в содержании гломалин-связанного белка почвы (GRSP) и отдельных агрохимических показателей почвы (рис. 5). По сравнению с контролем в варианте с АМГ отмечены более высокие значения содержания GRSP, органического вещества, общего азота и подвижного фосфора. Различия между вариантами по всем исследованным показателям были статистически значимыми ($p < 0,05$).

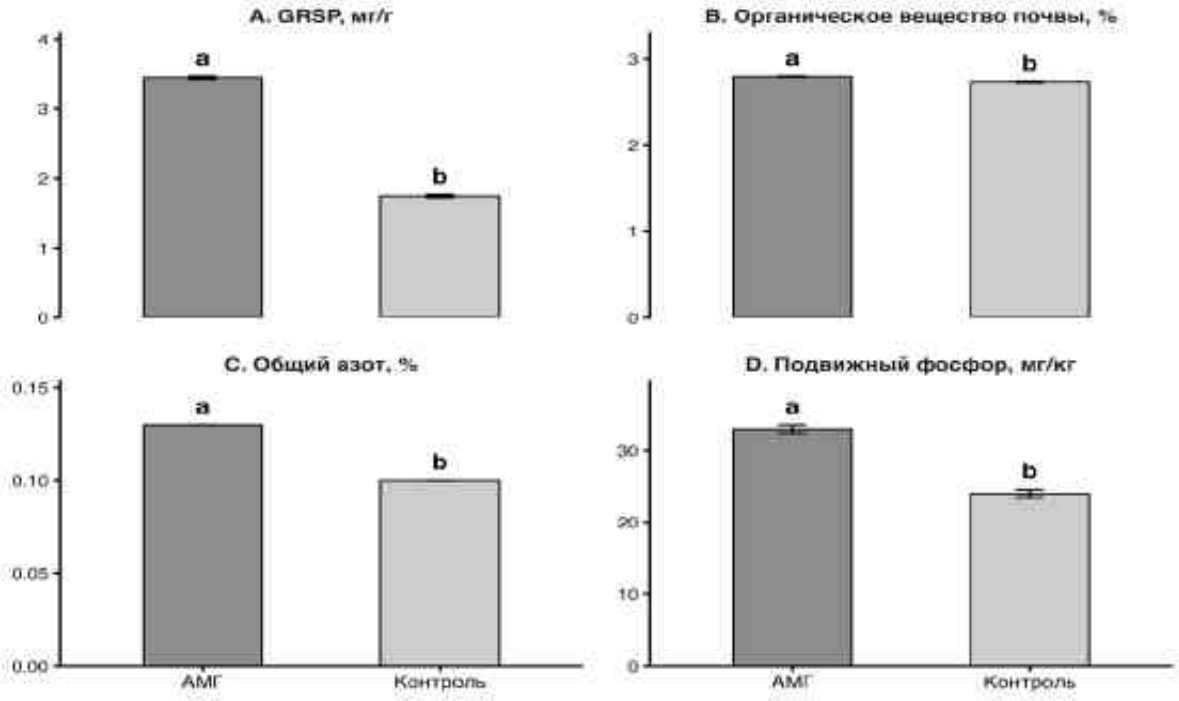

Рис. 5. Влияние инокуляции арбускулярными микоризными грибами (АМГ) на содержание гломалин-связанного белка почвы (GRSP)

Взаимосвязь между микоризацией корней, показателями плодородия почвы и урожайностью пшеницы. Корреляционный анализ выявил положительную связь между концентрацией GRSP и

средней урожайностью пшеницы (R = 0.90; p < 0.05), а также между степенью микоризной колонизации и массой корней (R = 0.99; p < 0.05) (рис. 6).

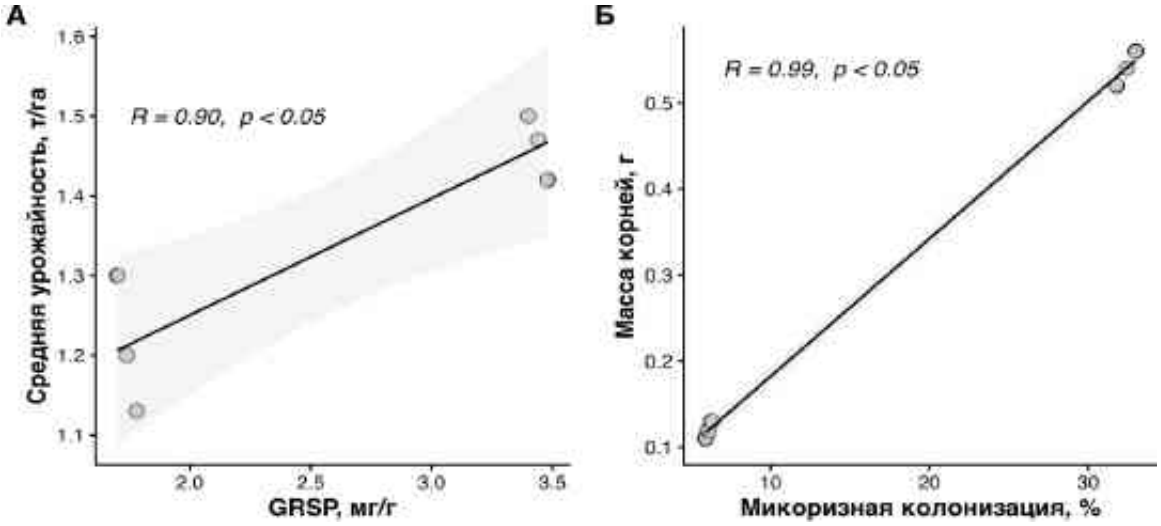

Рис. 6. Корреляционные связи между концентрацией GRSP, средней урожайностью пшеницы, степенью микоризной колонизации и массой корней (А – GRSP и средняя урожайность пшеницы; Б – микоризная колонизация корней и масса корней. Линия – линейная регрессия; затененная область – 95 %-й доверительный интервал; R – коэффициент корреляции Пирсона)

Таким образом, инокуляция арбускулярными микоризными грибами сопровождалась статистически значимыми изменениями по большинству исследованных показателей. По сравнению с контролем в варианте с АМГ отмечены более высокие значения урожайности, массы 1000 зерен, показателей развития корневой системы, степени микоризной колонизации, содержания гломалин-связанного почвенного белка (GRSP), органического вещества, общего азота и подвижного фосфора. Кроме того, выявлены статистически значимые положительные корреляционные связи между содержанием GRSP, степенью микоризной колонизации, массой корней и урожайностью пшеницы. Полученные результаты послужили основой для их дальнейшего обсуждения.

Обсуждение. Полученные данные в целом согласуются с результатами ранее опубликованных исследований, согласно которым применение арбускулярных микоризных грибов сопровождается улучшением показателей роста растений, продуктивности и плодородия почвы (Chowdhary & Songachan, 2025b; Mjokwe et al., 2025).

В полевых исследованиях (Al-Karaki et al., 2004) показано, что инокуляция арбускулярными микоризными грибами способствовала увеличению биомассы, урожайности зерна и накопления фосфора у пшеницы как при достаточном увлажнении, так и в условиях водного дефицита. Авторы также отметили, что микоризная инокуляция снижала отрицательное влияние засухи на продуктивность растений в полузасушливых условиях. В настоящем исследовании аналогично наблюдалось повышение урожайности пшеницы после инокуляции АМГ в условиях богарного земледелия Центральной Монголии, что подтверждает перспективность применения микоризной инокуляции при возделывании зерновых культур в регионах с ограниченным водообеспечением.

Аналогичные результаты были получены (Duan et al., 2021), которые в двухлетнем полевом исследовании на Лёссовом плато Китая установили, что инокуляция арбускулярными микоризными грибами достоверно повышала урожайность пшеницы, эффективность использования влаги и отдельные показатели качества почвы в условиях богарного земледелия. При этом величина положительного эффекта зависела от обеспеченности влагой и плотности посевов, а наиболее выраженное влияние наблюдалось при недостатке влаги. Аналогичная тенденция выявлена и в настоящем исследовании, где инокуляция АМГ способствовала повышению продуктивности пшеницы в условиях богарного земледелия Центральной Монголии.

Сходные данные представлены (Rani et al., 2018), которые показали, что инокуляция *Glomus mosseae* способствовала увеличению высоты растений, числа продуктивных стеблей, длины колоса, массы зерна и урожайности пшеницы как при нормальном увлажнении, так и в условиях водно-

го дефицита. Авторы пришли к выводу, что микоризная инокуляция повышает устойчивость пшеницы к засухе и способствует сохранению ее продуктивности в полузасушливых условиях. Полученные в настоящем исследовании результаты подтверждают данную закономерность и свидетельствуют о потенциальной эффективности применения АМГ при возделывании пшеницы в засушливых регионах.

Одним из наиболее выраженных эффектов инокуляции в настоящем исследовании стало увеличение степени микоризной колонизации, сопровождавшееся более высокими значениями массы и длины корней. Эти данные согласуются с обзорными исследованиями (Bhupenchandra et al., 2024; Yakasai & Rabiu, 2025), в которых показано, что симбиоз с арбускулярными микоризными грибами сопровождается морфологическими изменениями корневой системы и улучшением отдельных показателей роста растений. Вместе с тем в настоящем исследовании физиологические процессы, лежащие в основе этих изменений, не оценивались, поэтому полученные результаты отражают только различия по исследованным морфологическим показателям.

Инокуляция АМГ также сопровождалась более высоким содержанием гломалин-связанного почвенного белка (GRSP), органического вещества почвы, общего азота и подвижного фосфора. Аналогичные изменения отдельных показателей плодородия почвы при использовании арбускулярных микоризных грибов ранее были отмечены в обзорных исследованиях (Mwampashi et al., 2024; Shukla et al., 2025), а также в экспериментальной работе (Duan et al., 2024), посвященной влиянию АМГ на агрохимические свойства почвы и продуктивность пшеницы. В настоящем исследовании выявлены сходные тенденции, однако механизмы изменения содержания GRSP и агрохимических показателей почвы специально не изучались, поэтому делать выводы о причинах выявленных различий не представляется возможным.

Корреляционный анализ выявил статистически значимые положительные связи между концентрацией гломалин-связанного почвенного белка (GRSP) и средней урожайностью пшеницы, а также между степенью микоризной колонизации и массой корней. Полученные результаты свидетельствуют о наличии статистической взаимосвязи между исследованными показателями в условиях проведенного эксперимента. Полученные данные в целом согласуются с результатами исследований (Duan et al., 2024; Wang et al., 2025) в которых также показана взаимосвязь между активностью арбускулярных микоризных грибов, отдельными агрохимическими свойствами почвы и продуктивностью растений. Вместе с тем корреляционный анализ не позволяет установить причинно-следственные отношения, поэтому выявленные зависимости следует рассматривать как статистические ассоциации, требующие дальнейшего изучения.

Следует отметить, что исследование проводилось в течение двух вегетационных сезонов в условиях богарного земледелия Центральной Монголии. Несмотря на различия погодных условий между годами, общая направленность изменений основных исследованных показателей сохранялась. Это свидетельствует о воспроизводимости полученных результатов в условиях проведенного эксперимента. В то же время исследование ограничивалось оценкой морфологических показателей растений, отдельных агрохимических свойств почвы, содержания GRSP и степени микоризной колонизации. В дальнейшем представляется целесообразным дополнить подобные исследования определением накопления элементов питания в растениях, физиологических показателей и микробиологических характеристик почвы, что позволит более полно оценить роль арбускулярных микоризных грибов в условиях богарного земледелия.

Таким образом, результаты настоящего исследования показывают, что применение арбускулярных микоризных грибов в условиях богарного земледелия Центральной Монголии сопровождалось изменением показателей роста пшеницы, развития корневой системы и отдельных показателей плодородия почвы. Полученные данные согласуются с результатами ранее опубликованных исследований и подтверждают перспективность дальнейшего изучения АМГ как элемента биологизации земледелия в условиях засушливых агроэкосистем. Вместе с тем для более полного понимания механизмов выявленных изменений необходимы дальнейшие исследования в различных почвенно-климатических условиях с использованием более широкого набора физиологических, почвенных и микробиологических показателей.

Заключение. Инокуляция арбускулярными микоризными грибами сопровождалась изменением отдельных показателей роста и продуктивности пшеницы. По сравнению с контролем в варианте с АМГ отмечены более высокие значения массы 1000 зерен, а также урожайности в 2024 г. и средней урожайности за два года. В варианте с АМГ установлены более высокие значения массы и длины корней, а также степени микоризной колонизации по сравнению с контролем.

Кроме того, в варианте с АМГ отмечено более высокое содержание гломалин-связанного почвенного белка (GRSP), органического вещества, общего азота и подвижного фосфора. Корреляционный анализ выявил статистически значимые положительные связи между концентрацией гломалин-связанного почвенного белка (GRSP) и средней урожайностью пшеницы, а также между степенью микоризной колонизации и массой корней.

Полученные результаты могут служить основой для дальнейшего изучения применения арбускулярных микоризных грибов в условиях богарного земледелия Центральной Монголии. Для более полного понимания механизмов выявленных изменений целесообразно проведение дальнейших исследований с оценкой физиологических показателей растений, накопления элементов питания и микробиологических характеристик почвы.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

AACCI. Approved Methods of Analysis. 11th ed. St. Paul, MN: AACCI; 2010.

Akbar M., Chohan S., Yasin N., Ahmad A., Akram W., Nazir A. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat production and soil properties: A meta-analysis. PeerJ. 2023;11:e15686. doi https://doi.org/10.7717/peerj.15686.

Al-Karaki G. N., McMichael B., Zak J. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fun-gi and drought stress. Mycorrhiza. 2004;14(4):263–269. doi https://doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2.

Begum N., Qin C., Ahanger M. A., Raza S., Khan M. I., Ashraf M., Ahmed N., Zhang L. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science. 2019;10:1068. doi https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068.

Bhupenchandra I., Chongtham S., Devi A., Dutta P., Sahoo M., Mohanty S., Kumar S., Choudhary A., Devi E., Sinyorita S., Devi S., Mahanta M., Kumari A., Devi H., Josmee R., Pusparani A., Pathaw N., Gupta S., Meena M., Janmeda P., Seth C., Arora J., et al. Unlocking the potential of arbuscular mycorrhizal fungi: exploring role in plant growth promotion, nutrient uptake mechanisms, biotic stress alleviation, and sustaining agricultural production systems. Journal of Plant Growth Regulation. 2025;44(12):6802-6840. doi https://doi.org/10.1007/s00344-024-11467-9.

Chowdhary N., Songachan L. Boosting sustainable agriculture by arbuscular mycorrhizal fun-gi under abiotic stress condition. Plant Stress. 2025;17:100945. doi https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100945.

Duan H., Luo C., Zhou R., Zhao L., Zhu S., Chen Y., Zhu Y., Xiong Y. AM fungus promotes wheat grain filling via improving rhizospheric water & nutrient availability under drought and low density. Applied Soil Ecology. 2024;193:105159. doi: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105159.

Duan H., Luo C., Li J., Wang B., Naseer M., Xiong Y. Improvement of wheat productivity and soil quality by arbuscular mycorrhizal fungi is density- and moisture-dependent. Agronomy for Sustainable Development. 2021;41(1):3. doi https://doi.org/10.1007/s13593-020-00659-8.

Giovannetti M., Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist. 1980;84(3):489-500. doi https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x.

Huang S., Gill S., Ramzan M., Ahmad M., Danish S., Huang P., Al Obaid S., Alharbi S. Un-covering the impact of AM fungi on wheat nutrient uptake, ion homeostasis, oxidative stress, and antioxidant defense under salinity stres s. Scientific Reports. 2023;13(1):1-22. doi https://doi.org/10.1038/s41598-023-35148-x.

Khaliq A., Perveen S., Alamer K., Ul Haq M., Rafique Z., Alsudays I., Althobaiti A., Saleh M., Hussain S., Attia H. Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to enhance plant–soil interaction. Sustainability. 2022;14(13):7840. doi https://doi.org/10.3390/su14137840.

Lopes-Ferreira M., Maleski A., Balan-Lima L., Bernardo J., Hipolito L., Seni-Silva A., Batis-ta-Filho J., Falcão M., Lima C. Impact of pesticides on human health in the last six years in Brazil. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(6):3198. doi https://doi.org/10.3390/ijerph19063198.

Mjokwe S., Elephant D., Manyevere A., Mashamaite C. Unlocking soil phosphorus resources in semi-arid regions using arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus solubilising bacteria: a systematic review. Discover Soil. 2025;2(1):105. doi https://doi.org/10.1007/s44378-025-00137-1.

Mwampashi L., Magubika A., Ringo J., Theonest D., Tryphone G., Chilagane L., Nassary E. Exploring agro-ecological significance, knowledge gaps, and research priorities in ar-buscular mycorrhizal fungi. Frontiers in Microbiology. 2024;15:1491861. doi https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1491861.

Prettl N., Biró B., Nugroho P., Kotroczó Z., Kabalan S., Kovács F., Papdi E., Juhos K. Lim-ited effect of mycorrhizal inoculation depending on soil type and fertilization level in a central European field trial. Plant Growth Regulation. 2024;104(3):1669-1681. doi https://doi.org/10.1007/s10725-024-01251-w.

Rani B., Madan S., Pooja, Sharma K. D., Kumari N., Kumar A. Mitigating the effect of drought stress on yield in wheat (*Triticum aestivum*) using arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomus mosseae*). The Indian Journal of Agricultural Sciences. 2018;88(12):1903-1908. doi https://doi.org/10.56093/ijas.v88i12.85444.

Shiferaw B., Smale M., Braun H.-J., Duveiller E., Reynolds M., Muricho G. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in glob-al food security. Food Security. 2013;5(3):291–317. doi https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y.

Shukla S., Didwania N., Choudhary R. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF): a pathway to sustainable soil health, carbon sequestration, and greenhouse gas mitigation. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2025;24:22. doi https://doi.org/10.1007/s44447-025-00023-w.

Smith P., Gregory P.J. Climate change and sustainable food production. Proceedings of the Nutrition Society. 2013;72(1):21–28. doi https://doi.org/10.1017/S0029665112002832.

Wang B., Hu B., Li T., Dong Y. Long-term intercropping regulates the community structure of arbuscular mycorrhizal fungi and improves wheat yield. Field Crops Research. 2025;326:109874. doi https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109874.

Shao Y., Hu X., Wu Q., Yang T., Srivastava A., Zhang D., Gao X., Kuča K. Mycorrhizas promote P acquisition of tea plants through changes in root morphology and P trans-porter gene expression. South African Journal of Botany. 2021;137:455-462. doi https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.11.028

Yakasai U., Rabiu S. The impact of arbuscular mycorrhizal fungal inoculants on growth, nutrients, and yield of vegetable plants: a review. FUDMA Journal of Sciences. 2025;9(3):215-223. doi https://doi.org/10.33003/fjs-2025-0903-3353.

Zbíral J., Čižmář D., Malý S., Obdržálková E. Determination of glomalin in agriculture and forest soils by near-infrared spectroscopy. Plant, Soil and Environment. 2017;63(5):226-230. doi https://doi.org/10.17221/181/2017-PSE.

Информация об авторах

Энхбат Мэнд-Амар – докторант, Монгольский научно-исследовательский институт защиты растений, Улан-Батор, Монголия, e-mail: mendamar@plantprotection.mn, ORCID: 0009-0006-7082-6707.

Мижидсүрэн Бямбасүрэн – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, академик, Монгольский научно-исследовательский институт защиты растений, Улан-Батор, Монголия, e-mail: byambasuren@plantprotection.mn, ORCID: 0000-0002-7806-2039.

Бэгз Дорж – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик, Монгольский государственный университет сельского хозяйства, Улан-Батор, Монголия. e-mail: **dorjbegz@gmail.com.**

Information about the authors

Mend-Amar Enkhbat – doctoral student, Mongolian Institute of Plant Protection Research, Ulaanbaatar, Mongolia, e-mail: mendamar@plantprotection.mn, ORCID: 0009-0006-7082-6707.

Byambasuren Mijidsuren – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Academician, Mongolian Institute of Plant Protection Research, Ulaanbaatar, Mongolia, e-mail: byambasuren@plantprotection.mn, ORCID: 0000-0002-7806-2039.

Dorj Begz – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia, e-mail: dorjbegz@gmail.com.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 635.015 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.008.98-109

Влияние предпосевной обработки семян селекционного картофеля электромагнитным излучением (ЭМИ) в условиях севера России (Республика Коми)

Зайнуллин В. Г.; Пожирицкая А. Н.; Кожевников С. Ю.; Дурягина В. М.; Коковкина С. В.; Юдин А. А.✉
Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы эффективности предпосевной обработки электромагнитным излучением (ЭМИ) семенного картофеля селекционных сортов для северных территорий России на примере Республики Коми. В свете реализации продовольственной безопасности России и разработки инновационных агротехнологий, обеспечивающих стабильные урожаи картофеля, как наиболее востребованной сельхозкультуры, праймирование семенного картофеля неионизированным электромагнитным излучением (НЭМИ) является весьма перспективным экологически чистым методом, что особенно актуально в условиях слабоустойчивых агроценозов севера России из-за сложных агроклиматических условий. Цель работы: установить степень влияния предпосевной обработки ЭМИ на вегетационное развитие растений, продуктивность и урожайность сортов местной селекции Зырянец и Печорский, разработанных для северных территорий. Исследование проводилось в 2023-2025 гг. на экспериментальной площадке Республики Коми. Методы работы включали обработку клубней НЭМИ перед посевом в специальном режиме 15/5 (15 мин воздействия, 5 мин перерыв в течение 1 часа) с использованием индивидуального спектра частот) с использованием индивидуального спектра частот прибора ТОР Концерна «Гранит». С помощью фенологических наблюдений и биометрических измерений проводился анализ всхожести, интенсивности развития и показателей урожайности растений картофеля. Проведен двухфакторный дисперсионный анализ, который позволил выявить статистическую значимость влияния отдельно погодного фактора (фактор А) и влияния фактора погоды в случае обработки семенного картофеля НЭМИ (фактор В). Основные результаты исследований показали, что праймирование НЭМИ усиливает интенсивность роста и развития надземной части растений, на стадии клубнеобразования увеличивается количество и размер формируемых клубней, что происходило в сложных погодных условиях, присущих северным территориям. Новизна исследования заключается в разработке и экспериментальной верификации нового экологически безопасного подхода к предпосевной обработке семян картофеля, который обеспечивает повышенную устойчивость растений к абиотическим стрессам при снижении химической нагрузки на агроэкосистему.

Ключевые слова. Праймирование, неионизированное электромагнитное излучение, картофель, урожайность, устойчивость к абиотическим стрессам, северные территории.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания «Повышение ресурсного потенциала сортов картофеля собственной селекции путем обработки семенного материала слабыми импульсными электромагнитными полями (FUUU-2024-0015)».

Цитирование. Зайнуллин В. Г., Пожирицкая А. Н., Кожевников С. Ю., Дурягина В. М., Коковкина С. В., Юдин А. А. Влияние предпосевной обработки семян селекционного картофеля электромагнитным излучением (ЭМИ) в условиях Севера России (республика Коми) // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):98-109. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.008.98-109.

Поступила в редакцию: 22.07.2026 Принята к печати: 28.08.2026

✉ – Для контактов/Corresponding author

UDC 635.015 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.008.98-109

Effects of preplant electromagnetic radiation treatment of seed tubers from locally bred potato cultivars under northern Russian conditions (Komi Republic)

Zainullin V. G.; Pozhiritskaya A. N.; Kozhevnikov S. Yu.; Duryagina V. M.; Kokovkina S. V.; Yudin A. A.✉

Institute of Agrobiotechnology named after A.V. Zhuravsky, Komi Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Abstract. This study evaluated the effectiveness of preplant electromagnetic radiation (EMR) treatment of seed tubers from potato cultivars bred for northern Russia, using the Komi Republic as a case study. In the context of strengthening Russia's food security and developing innovative agricultural technologies capable of ensuring stable potato yields, priming seed tubers with non-ionizing electromagnetic radiation (NIEMR) represents a promising non-chemical approach. This is particularly relevant to the climatically vulnerable agroecosystems of northern Russia, where crop production is constrained by harsh agroclimatic conditions. The aim of the study was to determine the effects of preplant EMR treatment on plant growth and development, productivity, and yield performance of the locally bred potato cultivars Zyryanets and Pechorsky, which were developed for northern regions. The study was conducted from 2023 to 2025 at an experimental field site in the Komi Republic. Before planting, the seed tubers were treated with NIEMR generated by a TOR device manufactured by Concern GRANIT. The treatment was applied for 1 h using an intermittent 15/5 regime, in which 15 min of exposure alternated with 5 min pauses, and a specifically selected frequency spectrum. Phenological observations and biometric measurements were used to assess plant emergence, growth and development, and yield components. Two-way analysis of variance was used to evaluate the effects of weather conditions (factor A), NIEMR treatment (factor B), and their interaction. The results showed that NIEMR priming promoted the growth and development of the above-ground parts of potato plants. During tuber formation, the treatment also increased the number and size of tubers under the adverse weather conditions characteristic of northern regions. The novelty of the study lies in the development and experimental validation of an environmentally safe approach to the preplant treatment of potato seed tubers that may improve plant tolerance to abiotic stress while potentially reducing chemical inputs into the agroecosystem.

Keywords. Priming; non-ionizing electromagnetic radiation; potato; yield; abiotic stress tolerance; northern regions.

Funding. The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State task "Increasing the resource potential of potato varieties of their own selection by processing seed material with weak pulsed electromagnetic fields (FUUU-2024-0015)".

For citation. Zainullin V. G., Pozhiritskaya A. N., Kozhevnikov S. Yu., Duryagina V. M., Kokovkina S. V., Yudin A. A. Effects of preplant electromagnetic radiation treatment of seed tubers from locally bred potato cultivars under northern Russian conditions (Komi Republic) // Scientific Agronomy Journal. 2026;3(134):98-109. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.008.98-109.

Received: 22.07.2026 Accepted: 28.08.2026

Введение. В последние годы предпосевная обработка семян стала эффективной стратегией повышения устойчивости растений к абиотическим стрессам (Бахчевников и др., 2022; Бухаров и др., 2023; Зайнуллин и др., 2024; Кайгородова и др., 2025; Araujo et al., 2016; Kuntal et al., 2022). Традиционно для повышения урожайности сельскохозяйственных культур используются химические средства обработки (минеральные удобрения, химические регуляторы роста, химические мелиоранты, пестициды и др.), но химическое воздействие на агроэкосистемы сопряжено с рисками для окружающей среды и здоровья человека. В связи с этим все больше

✉ – Для контактов/Corresponding author

внимания уделяется разработке экологически безопасных физических методов повышения стрессоустойчивости растений, которые могут стать альтернативой химическим реагентам.

В суровых агроклиматических условиях Севера России картофель является наиболее востребованной культурой. С учетом глобального изменений климата, нарушения экологического равновесия за счет влияния антропогенного фактора, все более актуальной становится необходимость создания сортов картофеля, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды, адаптированных к агроклиматическим условиям возделывания, что особенного актуально в условиях северных территорий России (Зайнуллин, Шульгина, 2022; Шахова, Козлова, 2025).

В контексте развития экологически чистых технологий особый интерес представляет метод предпосевной обработки семян с использованием низкоинтенсивного неионизированного электромагнитного излучения (НЭМИ), как потенциально эффективного и экологически безопасного подхода (Бахчевников и др., 2022; Бухаров и др., 2023; Васильев, Полевик, 2014; Зайнуллин и др., 2024; Кайгородова и др., 2025; Симаков, Анисимов, 2006; Afzal et al., 2021; Maffei, 2014).

По мнению отечественных и зарубежных исследователей электромагнитное поле оказывает значительное влияние на многие биологические процессы в растениях, такие как рост, развитие и метаболизм (Васильев, Полевик, 2014; Зайнуллин и др., 2024; Кайгородова и др., 2025; Турканов и др., 2024; Afzal et al., 2021; Baby et al., 2011; Maffei, 2014; Romero-Galindo et al., 2022). В частности, было установлено, что в результате воздействия на семена электромагнитным излучением (ЭМИ) в них возрастает скорость протекания химических и биохимических реакций (Maffei, 2014; Romero-Galindo et al., 2022; Efthimiadou et al., 2014).

Механизм, посредством которого растения воспринимают и реагируют на ЭМИ, до конца не изучен. Необходимо проведение дополнительных исследований для расширения знаний о процессах и условиях, обеспечивающих ускорение прорастания семян и усиление жизнеспособности растений (Бахчевников и др., 2022; Бухаров и др., 2023; Зайнуллин и др., 2024; Кайгородова и др., 2025; Maffei, 2014; Romero-Galindo et al., 2022).

Полученные в этой области знания могут быть полезны для внедрения методов обработки семян сельскохозяйственных культур, адаптированных к местным условиям, для усиления положительного эффекта селекционных разработок. В целях успешного применения воздействия НЭМИ при предпосевной обработке семян необходимо определить оптимальные параметры и режимы его осуществления для конкретных культур, а также их сочетаемость с иными факторами окружающей среды.

Цель исследования – изучить влияние предпосадочной обработки семенного материала селекционного картофеля неионизированным электромагнитным излучением (НЭМИ) на развитие фенологических фаз, биометрических показателей и урожайность картофеля в зависимости от погодных условий в условиях Севера России на примере Республики Коми.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2023-2025 годах на экспериментальной базе Института агробиотехнологий им. Журавского ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (далее ИАБТ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Экспериментальный участок расположен на территории муниципального образования городского округа «Сыктывкар» (61°40′35″ с. ш., 50°48′35.6″ в. д.), который относится к IV агроклиматическому району Республики Коми.

Фактор А. Погодные условия за 2023-2025 годы. Контрольные образцы столового картофеля (К) сорта Зырянец и Печорский среднеранней группы спелости (65-80 дней) местной селекции (Коробейник, 2024). Площадь участка 30 × 20 м. Картофель был высажен по общепринятой для сельхозпредприятий Республики Коми технологии: глубина посадки 8-10 см, схема посадки 0,7 × 0,3 м, однорядковые делянки (не менее 100 клубней в рядке). Площадь однорядковой делянки 0,21 кв. м × 100 = 21 кв. м по общепринятой схеме в 4 повторностях, полевые наблюдения – по стандартной схеме (Гублер, Генкин, 1973; Доспехов, 1985; ВНИИКХ, 2017).

Фактор В. Обработанные неионизированным электромагнитным излучением (НЭМИ) образцы столового картофеля (О) сорта Зырянец и Печорский среднеранней группы спелости (65-80 дней) местной селекции. Предпосевная обработка клубней семенного картофеля производилась аппаратом ТОР в режиме 15/5 (15 минут воздействия, 5 минут перерыв в течение 1 часа) индивидуальным спектром воздействия – «предпосевное облучение» (по технологии know-how АО Концерна «ГРАНИТ»).

Устройство ТОР, разработанное Концерном «ГРАНИТ», адаптировано для использования в сельском хозяйстве (Кутис и др., 1989; Бондарчук и др., 2023). Частота импульсов для дистанционной обработки семян с помощью устройства ТОР была установлена на уровне 58 Гц.

На расстоянии 10 см от устройства ТОР периодическая магнитная составляющая импульсного электромагнитного поля (ИЭП) составляла 1,5 ± 0,2 мкТл, электрическая составляющая не превышала 210 ± 30 В/м, а плотность мощности излучения на частоте 2,45 ГГц не превышала 36 мкВт/кв. см.

Посадка картофеля контрольных (К) и обработанных (О) образцов производилась одновременно в день обработки. Средний вес клубня высаженного семенного картофеля сорта Зырянец и Печорский составляет 50-70 г.

Почва экспериментальных участков – дерново-подзолистая. Агрохимические анализы почвы проводили в аттестованных аналитических лабораториях (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы исследуемого участка

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя			
			2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее
Обменная кислотность	pH	ед.	5,50	4,91	5,69	5,37
Гидролитическая кислотность	Hг	ммоль/100 г почвы	1,53	2,80	2,57	2,30
Органическое вещество	ОВ	%	5,50	5,23	6,16	5,63
Подвижный фосфор	P_2O_5	мг/кг почвы	906,5	676,5	774,0	785,5
Обменный калий	K_2O		71,70	229,5	410,0	237,0
Кальций (ионы)	Ca^{2+}	ммоль/100 г почвы	12,00	7,50	4,81	7,94
Магний (ионы)	Mg^{2+}		6,50	2,00	2,37	3,62
Цинк (ионы)	Zn^{2+}		9,90	13,60	-	11,75

Учет оценки эффективности воздействия НЭМИ на рост и развитие сортов картофеля по фазам вегетации проводился с помощью фенологических наблюдений и биометрических измерений с использованием статистической обработки данных по стандартным протоколам (Гублер, Генкин, 1973; Доспехов, 1985; ВНИИКХ, 2017).

Результаты. Агрометеорологические условия играют значимую роль в росте и развитии сельскохозяйственных культур, формировании и качестве урожая. Согласно данным табл. 1 агрохимический состав почвы опытного участка за три года существенно не изменился: снизилось содержание солей кальция и магния, повысилась гидролитическая кислотность почвы в пределах статистической погрешности. В этом случае важнейшими и наиболее изменчивыми являются метеорологические факторы (погодные условия) в вегетационный период. Агроклиматический район (АКР) IV находится в южной части Республики Коми (РК). Данный АКР отличается наиболее высокой в республике теплообеспеченностью вегетационного периода и избыточной влажностью, за счет превышения суммы осадков над испаряемостью из-за низких температур. За период вегетации сумма активных температур (более +10 °С) по средним многолетним данным составляет 1200-1500 °С. Заморозки в летнее время возможны в течение трех-четырех лет из десяти. Продолжительность залегания снежного покрова 160-170 дней. Почва практически готова к обработке во второй декаде мая.

Анализ графика среднесуточных температур воздуха (рис. 1) показывает, что за исследуемый период наблюдались температуры выше нормы на 2-3 °С, особенно во второй половине вегетационного периода (август-октябрь). Только в 2024 году температура в июне и июле (период основного развития фенологических фаз развития надземной части растений в вегетационный период) была выше нормы на 5-6 °С, а в 2023 и 2025 годы ниже нормы на 2-3 °С.

Норма сумм активных температур (суммы среднесуточных температур воздуха выше +10 °С нарастающим итогом на последний день декады в течение одного вегетационного периода) для IV АКР Республики Коми по данным А. М. Щербаковой (Щербакова, 2021) составила – 1576 °С по сравнению со средними многолетними значениями – 1533 °С. По результатам нашего исследования сумма эффективных температур в 2023 г. составила 1850 °С; в 2024 г. – 1861 °С; в 2025 г – 1876 °С. Таким образом, имеется устойчивая тенденция повышения теплообеспеченности южной части Республики Коми.

За вегетационный период в IV АКР Республики Коми в среднем выпадает 230-240 мм осадков, однако, в 30 % случаев отмечается дефицит влаги. Исследуемый район относится к зоне повышенного увлажнения, поэтому при возделывании картофеля не требуется дополнительный полив. На рис. 2 представлен график динамики суммы осадков по декадам вегетаци-

онного периода за 2023-2025 гг. наблюдений в сравнении со средними многолетними значениями за 1998-2022 гг. (нормой).

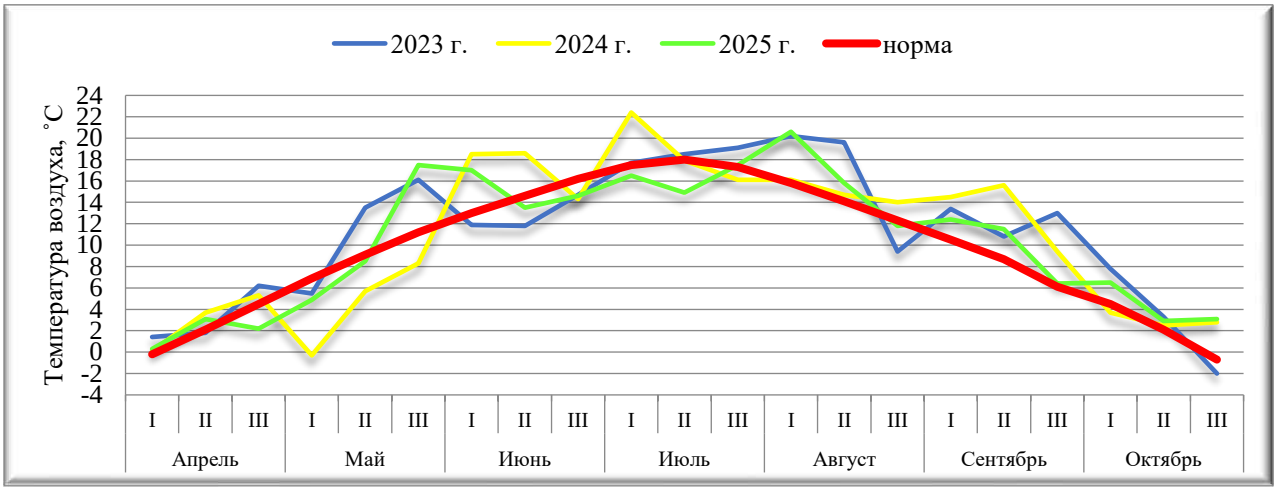

Рис. 1. Динамика среднесуточной температуры воздуха по декадам вегетационных периодов 2023-2025 гг. относительно нормы (Агрометеорологические бюллетени РК, 2023-2025 гг.; Доспехов, 1985)

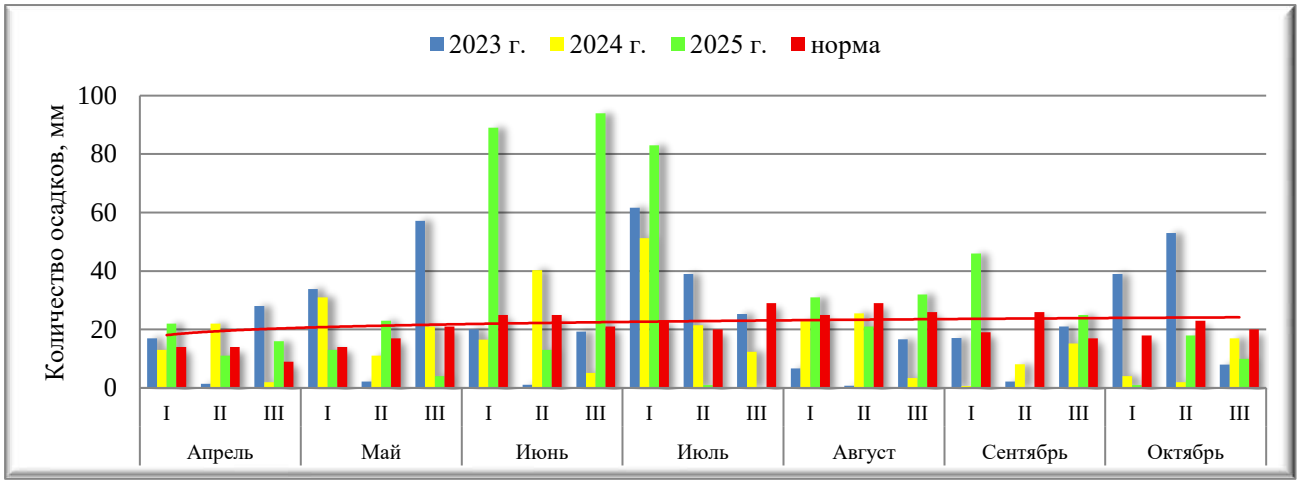

Рис. 2. Динамика суммы осадков по декадам вегетационного периода за 2023-2025 годы относительно нормы (Агрометеорологические бюллетени РК, 2023-2025 гг.; Доспехов, 1985)

В 2023 г. выпадение осадков было неравномерно, в 2024 году, начиная со второй декады июля сумма осадков наблюдалась ниже нормы вплоть до окончания вегетационного периода. Отмечено значительное превышение нормы суммы осадков в 2025 в 1 и 3 декаде июня, при этом во 2 и 3 декаде июля осадков практически не было, что сказалось на формировании клубней картофеля.

Посадка картофеля на юге Республики Коми, как правило, производится в конце мая, в начале июня. Скорость вызревания фенологических фаз картофеля во многом обусловлена погодными условиями, о которых упоминалось выше (рис. 1 и 2). При этом четко прослеживается во все годы наблюдений, что на дату окончания фазы образцы, обработанные НЭМИ (О), показывают более высокие результаты по сравнению с контрольными образцами (К) независимо от сорта и погодных условий (рис. 3). Следовательно, можно выдвинуть предположение, что предпосевная обработка семян селекционного картофеля НЭМИ сказывается на устойчивости надземной части растений к абиотическим стрессам (понижению температуры, превышению нормы суммы осадков и др.).

Растения, выросшие из обработанных НЭМИ клубней, отличались более интенсивным развитием надземной массы и ассимиляционной поверхности листьев. Масса ботвы в варианте с обработкой НЭМИ семенного материала на 7-10 % превышала контроль для сортов Печорский и Зырянец, независимо от погодных условий в исследуемые годы.

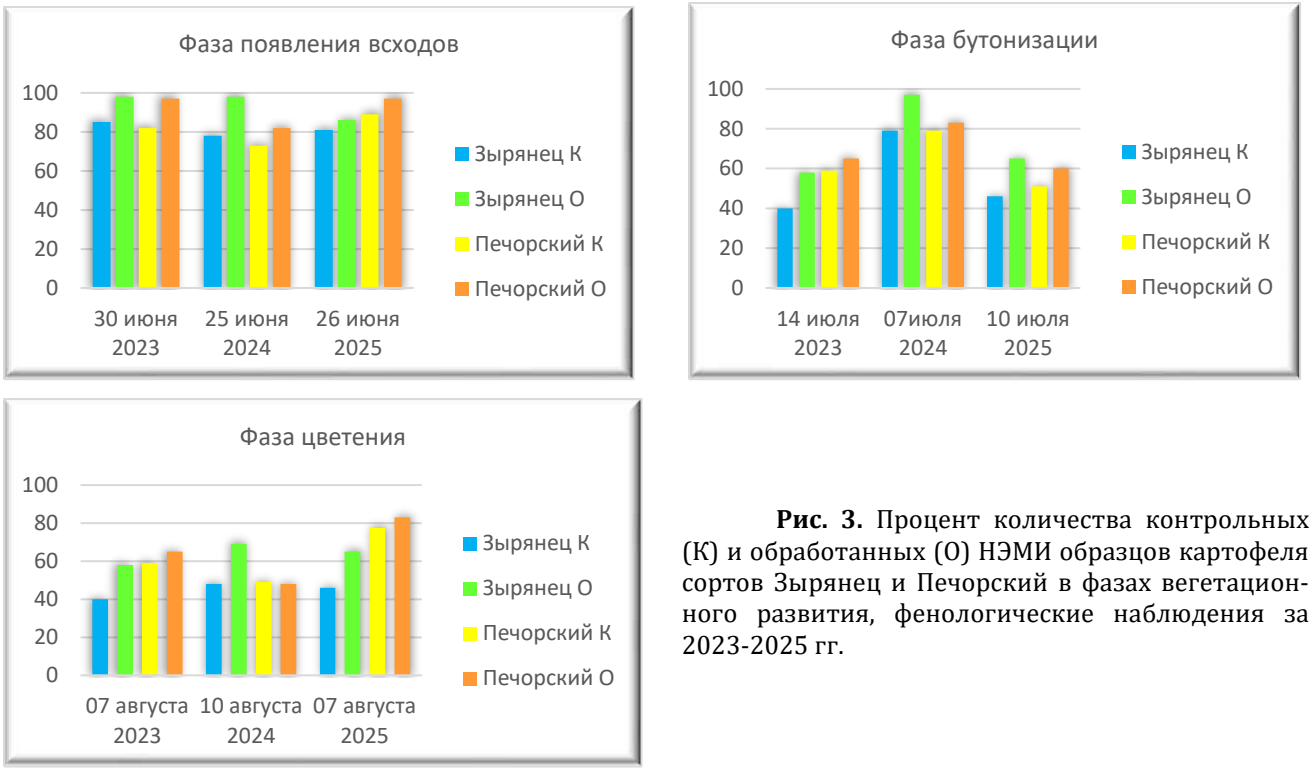

Рис. 3. Процент количества контрольных (К) и обработанных (О) НЭМИ образцов картофеля сортов Зырянец и Печорский в фазах вегетационного развития, фенологические наблюдения за 2023-2025 гг.

Ранние всходы, лучшее развитие надземной массы, формирование большей листовой поверхности обеспечивали повышение продуктивности фотосинтеза, и в итоге оказали влияние на урожайность картофеля.

Показатель отношения клубней к зеленой массе (ботве) у картофеля говорит об эффективности клубнеобразования. У контрольных образцов это соотношение колеблется от 1,12 до 1,54 в зависимости от погодных условий. У праймированных сортов это соотношение снижается на 10-12 %, т. е. находится в пределах 1,0-1,23. Отмечено у праймированных ЭМИ сортов увеличение количества клубней преимущественно средней фракции (40-80 г).

Принимаем нулевую гипотезу отсутствия различий в урожайности картофеля в зависимости от погодных условий, которую проверяем на контрольных образцах (фактор А) и фактора обработки ЭМИ (фактор В) с помощью двухфакторного дисперсного анализа (Гублер, Генкин, 1973; Доспехов, 1985; Скрябин, Скрябин, 2025) (табл. 2).

Таблица 2

Влияние двух факторов на урожайность картофеля

Погодные условия (А)	Обработка НЭМИ семян картофеля (В)	Урожайность картофеля, т/га (повторяемость Р)			Суммы значений урожайности по вариантам (V)	Средние значения урожайности по вариантам (V)
		2023 г.	2024г.	2025 г.		
Контрольные образцы (без обработки)	Зырянец	27,6	22,7	25,8	76,1	25,4
	Печорский	31,7	29,0	26,2	86,9	29,0
Образцы с обработкой НЭМИ	Зырянец	25,4	22,8	22,1	70,3	23,4
	Печорский	24,2	22,0	21,9	68,1	22,7
Суммы значений урожайности по повторяемости (Р)	-	108,9	96,5	96,0	**301,4**	-
Средние значения урожайности по повторяемости(Р)	-	27,22	24,12	24,0	-	**25,1**

После проведения дисперсионного анализа (Доспехов, 1985; Скрябин, Скрябин, 2025) получены результаты, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Общая таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F ф	Fт
Общая Cy	$C_y = \sum X^2 - C = 107{,}52$	12 – 1=11	-	-	-
Повторений Cp	$C_p = \frac{\sum P^2}{L} - C = 26{,}7$	n – 1 = 3 – 1 = 2	-	-	-
Вариантов Cv	$C_V = \frac{\sum V^2}{n} - C = 70{,}68$	L – 1 = 4 – 1 = 3	$S_V^2 = 23{,}56$	$\frac{S_V^2}{S_z^2} = 13{,}94$	4,76
Остаток ошибки Cz	$C_z = C_y - (C_p + C_V) = 10{,}14$	11 – 5 = 6	$S_z^2 = 1{,}69$	-	-

Таким образом, в результате проверки нулевой гипотезы влияние изучаемых факторов на результативный показатель (урожайность картофеля) оказалось существенным, так как фактический критерий Фишера больше теоретического.

$$F_ф = 13{,}94 > F_т = 4{,}76,$$

$$НСР_{0,5} = t_{0,5} \cdot S_d = 2{,}45 \cdot 1{,}06 = 2{,}60 \text{ т/га}.$$

Межгрупповую дисперсию, измеряющую вариацию результативного признака под влиянием двух факторов разложим на частные межгрупповые дисперсии, которые характеризуют варьирование результативного признака под влиянием каждого фактора и их взаимодействия в отдельности, а затем определим значимость их воздействия (табл. 4).

Таблица 4

Варьирование результатов урожайности под влиянием каждого фактора

Источник вариации	Значение показателя	% от общего числа
Влияние повторений	$C_p = \frac{\sum P^2}{L} - C = 26{,}70$	24,83
Влияние фактора А	$C_A = \frac{\sum \overline{x}^2}{l_в \cdot n} - C = 50{,}43$	46,90
Влияние фактора В	$C_B = \frac{\sum \overline{x}^2}{l_A \cdot n} - C = 6{,}17$	5,74
Влияние взаимодействия АВ	$C_{AB} = C_v - (C_A + C_в) = 14{,}08$	13,10
Влияние случайных факторов	$C_z = C_y - (C_p + C_V) = 10{,}14$	9,43
Влияние всех факторов	$C_y = \sum X^2 - C = 107{,}52$	100,00

Таким образом, разложение межгрупповой дисперсии на составляющие позволило нам определить доли влияния на результативный показатель каждого из факторов и их взаимодействия в отдельности. В данном случае фактор А (погодные условия) является доминирующим, а фактора В (обработка ЭМИ) – минимальным.

Для определения значимости влияния изучаемых факторов и их взаимодействия проведем проверку нулевой гипотезы о равенстве несмещенных факторных и остаточной дисперсий комплекса с использованием критерия Фишера (табл. 5).

Таблица 5

Сводная двухфакторного дисперсионного анализа

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат	F ф	$Fт_{0,5}$
Общее, в т. ч. Cy:	107,52	12 - 1 = 11	-	-	-
Повторений Cp	26,70	3 – 1 = 2	-	-	-
Фактора А (погода)	50,43	2 – 1 = 1	50,43	29,84	5,99
Фактора В (НЭМИ)	6,17	2 –1 = 1	6,17	3,65	5,99
Взаимодействие факторов АВ	14,08	1	14,08	8,33	5,99
Остаточное	10,14	11 – 5 = 6	1,69	-	-

Из данных табл. 5 следует, что нулевая гипотеза о равенстве факторной и остаточной дисперсий, находит свое подтверждение только в отношении фактора В (обработка ЭМИ). Влияние на результативный показатель (урожайность картофеля) изучаемого фактора А (погодные условия), а также влияние совместного воздействия факторов А и В (погодные условия + НЭМИ) статистически значимо при $p \leq 0,5$.

Для оценки значимости различий между средними арифметическими различных уровней, а, следовательно, и между средними генеральных совокупностей, выборками из которых являются данные нашего опыта, определим с использованием критерия Стьюдента границы максимального варьирования средних под действием случайных факторов, а затем попарно сравним межгрупповые средние между собой (табл. 6).

Таблица 6

Результат исследования

Погодные условия (фактор А)	Урожайность картофеля, т/га		Средние по фактору А
Без обработки ЭМИ	25,4	29,0	**27,2**
Обработка ЭМИ	23,4	22,7	**23,1**
Средние по фактору В	**23,9**	**25,8**	
$НСР_{05}$ частных средних	2,33		
$НСР_{05}$ (А)	-		1,65
$НСР_{05}$ (В)	1,65		

Таким образом, в данном случае разность между групповыми средними превышает границу их варьирования под воздействием случайных факторов, и мы можем сделать вывод о том, что уровни действия и взаимодействия факторов различаются значимо.

Обсуждение. Результаты наших полевых опытов подтвердили необходимость проведения научных исследований по разработке селекционных сортов картофеля (Симаков, Анисимов, 2006; Коробейник, 2024), одной из самых востребованных культур на севере России, адаптированных к северным условиям, где доминирующим ограничивающим фактором возделывания картофеля являются сложные погодные условия в вегетационный период (Щербакова, 2021).

Применение слабых импульсных неионизированных полей при обработке семян картофеля помогает растениям противостоять абиотическим стрессам, демонстрируя более высокие показатели по продуктивности культуры: наращиванию зеленой массы и веса клубней по сравнению с контрольными образцами, что не противоречит результатам отечественных и зарубежных исследователей (Басов и др., 1978; Бондарчук и др., 2023; Бухаров и др., 2023; Васильев, Полевик, 2014; Кайгородова и др., 2025; Araujo et all, 2016; Efthimiadou et all, 2014; Kuntal, Puspendu, Sanjoy, 2022; Maffei, 2014).

При проведении дисперсионного анализа о влиянии праймирования семенного картофеля НЭМИ (фактор В) на урожайность, установлено, что этот фактор сам по себе не является существенным, но влияние совместного воздействия факторов А и В (погодные условия + НЭМИ) статистически значимо при $p \leq 0,05$. Такой результат позволяет сделать предположение о том, что праймирование НЭМИ семян картофеля, являясь фактором внешнего воздействия, становится своеобразным триггером для выработки защитных механизмов растений, но урожайность картофеля при этом снижается. Полученные результаты подтверждают выводы группы отечественных ученых (Бондарчук и др., 2023) совместно с производителем аппарата ТОР (Концерн «Гранит») о появлении иммунитета у картофеля, но противоречат данным об увеличении урожайности картофеля. Разумеется, нельзя исключать возможность влияния на противоречивость результатов различий в исходных условиях проведения экспериментов: волновых и частотных характеристик ЭМИ, а также экспозиции и времени воздействия. Необходимы дальнейшие исследования с целью выявления процессов и механизмов не только физического, но и биологического характера, способствующих появлению столь неоднозначных результатов.

Заключение. На основании полученных результатов исследования и проведенного двухфакторного дисперсионного анализа однозначно приходим к выводу о доминирующем влиянии на урожайность картофеля погодных условий вегетационного периода (фактора А).

Влияние фактора В (обработка семенного картофеля НЭМИ) по расчетам оказалось минимальным. Однако, общее действие факторов А и В является статистически достоверным при уровне значимости 5 % ($p \leq 0,05$). Фенологические наблюдения за надземной (зеленой) частью растений картофеля подтвердили этот факт: независимо от сорта картофеля и погодных условий, обработанные НЭМИ клубни семенного картофеля на всех фазах вегетационного развития растений показали более устойчивые и высокие результаты по отношению к контрольным образцам. Следовательно, выдвигаем предположение, что обработка семенного селекционного картофеля НЭМИ повышает устойчивость зеленой части растений в период развития фенологических фаз (всходы, бутонизация, цветение), что крайне важно для условий возделывания картофеля на Севере России, где в вегетационный период погодные условия крайне нестабильны (резкие перепады температур и режима влажности), вызывая абиотические стрессы у растений.

Отмечено, что урожайность селекционных сортов картофеля Зырянец и Печорский, обработанных НЭМИ, на 14-16 % ниже контрольных образцов. В этой связи, выдвигается предположение, что воздействие НЭМИ на клубни семенного картофеля стало своеобразным стрессовым фактором, укрепившим надземную часть и продуктивность растений (увеличение числа стеблей, листовой поверхности, веса клубней) при снижении урожайности клубней картофеля. Некоторые исследователи (Басов и др., 1978; Зайнуллин, Шульгина, 2022; Зайнуллин и др., 2024) не исключают воздействие электромагнитного излучения с определенным набором характеристик на семена растений, в том числе, и на генетическом уровне. Таким образом, подбор оптимального варианта ЭМИ для обработки семенного картофеля разных сортов, это задача дополнительных исследований в этой области.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Бахчевников О. Н., Брагинец А. В., Нозимов К. Ш. Перспективные физические методы стимулирования прорастания семян (обзор). *Достижения науки и техники АПК*. 2022;36(7): 56-66. doi: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_7_56 [Bakhchevnikov O. N., Braginets A. V., Nozimov K. Sh. Promising physical methods for stimulating seed germination (review). *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2022;36(7):56-66. doi: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_7_56].

Басов А. М., Каменир Э. А., Миронова А. Н., Коваленко А. Ф. Предпосадочная обработка картофеля электрическим полем. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1978;(11):37-45. [Basov A. M., Kamenir E. A., Mironova A. N., Kovalenko A. F. Presowing treatment of potatoes with an electric field. *Vestnik Sel'skokhozyaistvennoi Nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1978;(11):37-45].

Бондарчук Е. В., Овчинников О. В., Турканов И. Ф., Партала А. В., Шульгина Е. А., Селиверстов А. Ф., Казберова А. Ю., Зайнуллин В. Г., Юдин А. А. Слабые импульсные электромагнитные поля повышают урожайность и иммунитет картофеля. *Картофель и овощи*. 2023;(4):35-40. doi: https://doi.org/10.25630/PAV.2023.91.50.004 [Bondarchuk E. V., Ovchinnikov O. V., Turkanov I. F., Partala A. V., Shulgina E. A., Seliverstov A. F., Kazberova A. Y., Zainullin V. G., Yudin A. A. Weak pulsed electromagnetic fields increase potato yield and immunity. *Kartofel' i Ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2023;(4):35-40. doi: https://doi.org/10.25630/PAV.2023.91.50.004].

Бухаров А. Ф., Янченко А. В., Федосов А. Ю. Прайминг-инновационное развитие методологии подготовки семян к посеву (обзор). *Овощи России*. 2023;(5):28-36. doi: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-05-28-36 [Bukharov A. F., Yanchenko A. V., Fedosov A. Yu. Priming-innovative development of seed preparation methodology for sowing (review). *Ovoshchi Rossii = Vegetables of Russia*. 2023;(5):28-36. doi: https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-05-28-36].

Васильев А. А., Полевик Н. Д. Влияние предпосадочной обработки семенных клубней электромагнитным полем на урожайность картофеля. *Международный научно-исследовательский журнал. Сельскохозяйственные науки*. 2014;1(20). [Vasiliev A. A., Polevik N. D. Effect of preplanting treatment of seed tubers with an electromagnetic field on potato yield. *Mezhdunarodnyi Nauchno-Issledovatel'skii Zhurnal. Sel'skokhozyaistvennye Nauki = International Research Journal. Agricultural Sciences*. 2014;1(20)].

Гублер Е. В., Генкин А. А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. *Ленинград: Медицина*; 1973. [Gubler E. V., Genkin A. A. Application of Nonparametric Statistical Criteria in Biomedical Research. *Leningrad: Meditsina*; 1973].

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: *Агропромиздат*; 1985. [Dospelov B. A. Methodology of Field Experiment (with Basics of Statistical Processing of Research Results). *Moscow: Agropromizdat*; 1985].

Зайнуллин В. Г., Пожирицкая А. Н., Турлакова А. М., Партала А. В., Овчинников О. В., Бондарчук Е. В., Турканов И. Ф., Галкина Е. А., Грязнов В. Г. Влияние предпосевной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями на урожайность и качество урожая сортов картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(5):794-804. doi: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.794-804 [Zainullin V. G., Pozhirickaya A. N., Turlakova A. M., Partala A. V., Ovchinnikov O. V., Bondarchuk E. V., Turkanov I. F., Galkina E. A., Gryaznov V. G. Effect of presowing treatment with weak non-ionizing pulsed fields on yield and crop quality of potato varieties*. Agrarnaya Nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science of Euro-North-East*. 2024;25(5):794-804. doi: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.794-804].

Зайнуллин В. Г., Шульгина Е. А. Урожайность картофеля после электромагнитной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями. *Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки»*. 2022;6(58):95-100. doi: https://doi.org/ 10.19110/1994-5655-2022-6-95-100 [Zainullin V. G., Shulgina E. A. Potato yield after electromagnetic treatment with weak non-ionizing pulsed fields. *Izvestiya Komi Nauchnogo Tsentra Uralskogo Otdeleniya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye Nauki" = Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences"*. 2022;6(58):95-100. doi: https://doi.org/10.19110/1994-5655-2022-6-95-100].

Кайгородова И. М., Козар Е. Г., Ушаков В. А., Романенко Т. М., Филиппова А. Б., Анисимов М. С., Галкина Е. А., Кузьмина И. В. Испытание новой технологии «ТОР» на сортах овощных бобовых культур селекции ФГБНУ ФСВЦ Заполярья*. Овощи России*. 2025;(1):70-81. [Kaigorodova I. M., Kozar E. G., Ushakov V. A., Romanenko T. M., Filppova A. B., Anisimov M. S., Galkina E. A., Kuzmina I. V. Testing of the new technology "TOR" on varieties of vegetable legumes bred by FSBSI FSCVZ of the Arctic. *Ovoshchi Rossii = Vegetables of Russia*. 2025;(1):70-81].

Коробейник Я. Н. Северный регион допуска (1). Атлас картофеля. Сорта, допущенные к использованию по первому региону Российской Федерации. *Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН*; 2024. [Korobeinik Ya. N. Northern Region of Approval (1). Potato Atlas. Varieties Approved for Use in the First Region of the Russian Federation. *Syktyvkar: FRC Komi SC UB RAS*; 2024].

Кутис С. Д., Кутис Т. Л., Гак Э. З. Электромагнитная установка для предпосевной обработки семян*. Механизация и автоматизация технологических процессов в АПК*. 1989;(2):35-36. [Kutis S. D., Kutis T. L., Gak E. Z. Electromagnetic unit for presowing seed treatment*. Mekhanizatsiya i Avtomatizatsiya Tekhnologicheskikh Protsessov v APK = Mechanization and Automation of Technological Processes in the Agro-Industrial Complex*. 1989;(2):35-36].

Методические положения. По проведению оценки сортов и гибридов картофеля на испытательных участках. *М.: ФГБНУ ВНИИКХ*; 2017. [Methodological Guidelines for the Evaluation of Potato Varieties and Hybrids on Trial Plots. *Moscow: FSBSI VNIIKH*; 2017].

Симаков Е. А., Анисимов Б. В. Приоритеты развития селекции и семеноводства картофеля*. Картофель и овощи*. 2006;(8):4-5. [Simakov E. A., Anisimov B. V. Priorities for the development of potato breeding and seed production. *Kartofel' i Ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2006;(8):4-5].

Скрябин А. А., Скрябин И. А. Основы научных исследований. Применение математической статистики в агрономических исследованиях. *Пермь: ИПЦ «Прокростъ»*; 2025. [Skryabin A. A., Skryabin I. A. Fundamentals of Scientific Research. Application of Mathematical Statistics in Agronomic Research. *Perm: IPC "Prokrost"*; 2025].

Турканов И. Ф., Галкина Е. А., Зайнуллин В. Г., Каракотов С. Д., Прянишников А. В., Беляев А. И. Влияние дистанционной обработки слабыми нетепловыми импульсными электромагнитными полями на рост и урожайность зерновых культур. *Вестник Оренбургского аграрного университета*. 2024;110(6):158-164. [Turkanov I. F., Galkina E. A., Zainullin V. G. Karakotov S. D., Pryanishnikov A. I., Belyaev A. I. Effect of remote treatment with weak non-thermal pulsed electromagnetic fields on growth and yield of grain crops. *Vestnik Orenburgskogo Agrarnogo Universiteta = Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2024;110(6):158-164].

Хаширова С. Ю., Шабаев А. С., Бондарчук Е. В., Турканов И. Ф., Грязнов В. Г., Галкина Е. А., Кайгородова И. М., Зайнуллин В. Г. Газохроматографический анализ сельскохозяйственных почв и семян, обработанных слабыми неионизирующими нетепловыми электромагнитными полями. *Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки»*. 2025;1(77):120-126. [Khashirova S. Yu., Shabaev A. S., Bondarchuk E. V., Turkanov I. F., Gryaznov V. G., Galkina E. A., Kaigorodova I. M., Zainullin V. G. Gas chromatographic analysis of agricultural soils and seeds treated with weak non-ionizing non-thermal electromagnetic fields. *Izvestiya Komi Nauchnogo Tsentra Uralskogo Otdeleniya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye Nauki" = Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences"*. 2025;1(77):120-126].

Шахова Е. А., Козлова Л. М. Агрометеорологические бюллетени по Республике Коми за 2023-2025 г. *Сыктывкар: Федеральное государственное учреждение Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды*; 2025. [Shakhova E. A., Kozlova L. M. Agrometeorological Bulletins for the Komi Republic for 2023-2025. *Syktyvkar: Federal State Institution Northern Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring*; 2025].

Щербакова А. С. Агроклиматические районы и урожайность сельскохозяйственных культур в изменяющихся условиях регионального климата. *Вестник Казанского ГАУ*. 2021;1(61):142-148. [Shcherbakova A. S. Agroclimatic regions and crop yields under changing regional climate conditions. *Vestnik Kazanskogo GAU = Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2021;1(61):142-148].

Afzal I., Saleem S., Skalicky M., Javed T., Bakhtavar M. A., Ul Haq Z., Kamran M., Shahid M., Sohail Saddiq M., Afzal A., Shafqat N., Dessoky E. S., Gupta A., Korczyk-Szabo J., Brestic M., E L Sabagh A. Magnetic field treatments improves sunflower yield by inducing physiological and biochemical modulations in seeds. *Molecules*. 2021;26(7):2022. doi: https://doi.org/ 10.3390/molecules26072022

Aladjadjiyan A. Physical factor for plant growth stimulation improve food quality. *In: Aladjadjiyan A., ed. Food Production Approaches, Challenges and Tasks. 1st ed. London: Intechopen Limited*; 2012:145-168. doi: https://doi.org/ 10.5772/32039.

Amritha M. S., Sridharan K., Puthur J. T., Dhankher O. P. Priming with nanoscale materials for boosting abiotic stress tolerance in crop plants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2021;69(35):10017-10035. doi: https://doi.org/ 10.1021/acs.jafc.1c03673.

Araujo S. D. S., Paparella S., Dondi D., Bentivoglio A., Carbonera D., Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:646. doi: https://doi.org/ 10.3389/fpls.2016.00646.

Baby S. M., Narayanaswamy G. K., Anand A. Superoxide radical production and performance index of Photosystem II in leaves from magnetoprimed soybean seeds. *Plant Signaling & Behavior*. 2011;6:1635-1637. doi: https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17720.

Corbino F., Taskiran-Ozbingol N., El-Maarouf-Boute H. Improvement of Seed Quality by Priming: Concept and Biological Basis. *Seeds*. 2023;2:101-115.

Efthimiadou A., Katsenios N., Karkanis A., Papastylianou P., Triantafyllidis V., Bilalis D. J. Effects of pre-sowing pulsed electromagnetic treatment of tomato seed on growth, yield, and lycopene content. *The Scientific World Journal*. 2014;2014:369745.

Kuntal B., Puspendu D., Sanjoy S. Seed priming with non ionizing physical agents: plant responses and underlying physiological mechanisms. *Plant Cell Reports*. 2022;41:53-73. doi: https://doi.org/10.1007/s00299-021-02798-y.

Maffei M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*. 2014;5:445. doi: https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445.

Romero-Galindo R., Hernandez-Aguilar C., Pacheco Dominguez-A., Godina-Nava J. J., Tsonchev R. I. Biophysical methods used to generate tolerance to drought stress in seeds and plants: a review. *International Agrophysics*. 2022;35(4):389-410. doi: https://doi.org/10.31545/intagr/144951.

Информация об авторах

Зайнуллин Владимир Габдуллович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167023, Россия,

Республика Коми, город Сыктывкар, улица Ручейная, д. 27. e-mail: zainullinv@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9378-1170;

Пожирицкая Александра Николаевна, младший научный сотрудник Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167023, Россия, Республика Коми, город Сыктывкар, улица Ручейная, д. 27, e-mail: alexa-rgz@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-5595-8391;

Кожевников Сергей Юрьевич, инженер-исследователь Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167023, Россия, Республика Коми, город Сыктывкар, улица Ручейная, д. 27, e-mail: juselid@yandex.ru ORCID: 0000-0003-3368-6319;

Дурягина Валентина Михайловна, начальник отдела научного обеспечения и производства Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167023, Россия, Республика Коми, город Сыктывкар, улица Ручейная, д. 27, e-mail: duryagina1955@mail.ru ORCID: 00009-0009-5584-1265;

Коковкина Светлана Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167023, Россия, Республика Коми, город Сыктывкар, улица Ручейная, д. 27, e-mail: kokovkina.svetlana@rambler.ru ORCID: 0000-0002-1175-2991.

Юдин Андрей Алексеевич, кандидат экономических наук, директор Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167023, Россия, Республика Коми, город Сыктывкар, улица Ручейная, д. 27, e-mail: audin@rambler.ru ORCID: 0000-0003-3368-7497.

Information about the authors

Zainullin Vladimir Gabdullovich – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher at the Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Center Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 27 Rucheynaya Street, Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: zainullinv@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-9378-1170.

Pozhiritskaya Alexandra Nikolaevna – Junior Researcher at the Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Center Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 27 Rucheynaya Street, Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: alexa-rgz@yandex.ru; ORCID: 0009-0009-5595-8391.

Kozhevnikov Sergey Yuryevich – Research Engineer at the Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Center Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 27 Rucheynaya Street, Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: juselid@yandex.ru.

Duryagina Valentina Mikhailovna – Head of the Research Support and Production Department at the Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Center Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 27 Rucheynaya Street, Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: duryagina1955@mail.ru; ORCID: 0009-0009-5584-1265.

Kokovkina Svetlana Vasilyevna – Candidate of Agricultural Sciences, Scientific Secretary of the Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Center Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 27 Rucheynaya Street, Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: kokovkina.svetlana@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-1175-2991.

Yudin Andrey Alekseevich – Candidate of Economic Sciences, Director of the Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Center Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 27 Rucheynaya Street, Syktyvkar 167023, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: audin@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-3368-7497.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

УДК 630*6:332.2(470.57) DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.009.110-117

Структура и динамика аренды лесных участков по данным регионального реестра

Мартынова М. В.✉; Здоровец А. В.; Султаньярова А. О.; Одинцов Г. Е.; Гарфутдинова С. И.
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Россия

Аннотация. Рациональное использование лесных участков, предоставленных в аренду, имеет значение для устойчивого развития лесного хозяйства, землепользования и контроля выполнения обязательств арендаторов. Цель исследования заключалась в комплексной оценке структуры и динамики аренды лесных участков по данным регионального реестра за 2016-2025 гг. с выделением направлений, связанных с использованием лесов для ведения сельского хозяйства. В качестве исходного материала использован реестр лесных участков, предоставленных в аренду, содержащий сведения о количестве договоров, площади, видах использования, основаниях предоставления и расчетных объемах заготовки древесины. Методика включала структурный анализ по видам использования лесов, расчет структурных долей, темпов изменения, коэффициентов освоения расчетной лесосеки и сравнительный анализ пространственно-правовой структуры аренды. Установлено, что в 2017-2024 гг. число договоров по видам использования увеличилось на 16,84 %, а арендованная площадь – на 10,02 %. В 2024 г. по площади доминировала заготовка древесины, тогда как по числу договоров существенное значение имели рекреация, сельское хозяйство и размещение линейных объектов. Для ведения сельского хозяйства наиболее распространенными подвидами использования являлись пчеловодство и сенокошение, что отражает преимущественно экстенсивный характер сельскохозяйственного освоения лесных территорий. Фактическое использование расчетного объема заготовки древесины оставалось ниже плановых значений, что указывает на необходимость усиления мониторинга исполнения договорных обязательств. Сделан вывод о целесообразности стандартизации реестровых данных, регулярного GIS/ДЗЗ-контроля и отдельного учета сельскохозяйственных форм лесопользования для повышения прозрачности управления арендованными лесными участками.

Ключевые слова. : Аренда лесных участков; лесопользование; сельское хозяйство в лесах; заготовка древесины; лесничества; Республика Башкортостан; реестр; устойчивое лесоуправление; дистанционный мониторинг.

Цитирование. Мартынова М. В., Здоровец А. В., Султаньярова А. О., Одинцов Г. Е., Гарфутдинова С. И. Структура и динамика аренды лесных участков по данным регионального реестра // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):110-117. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.009.110-117.-

Поступила в редакцию:15.06.2026 Принята к печати: 10.07.2026

UDC 630*6:332.2(470.57) DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.009.110-117

Structure and dynamics of forest plot leasing based on a regional register data

Martynova M. V.✉, Zdorovets A. V., Sultanyarova A. O., Odintsov G. E., Garfutdinova S. I.
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Abstract. The rational use of leased forest plots is important for sustainable forestry development, land-use management, and monitoring compliance with lease obligations. The aim of the study was to provide a comprehensive assessment of the structure and dynamics of forest plot leasing based on regional registry data for 2016-2025, with particular attention to forest use for agricultural purposes. The source material was a register of leased forest plots containing information on the number of lease agreements, leased area, forest-use categories, legal grounds for allocation, and allowable timber harvest volumes. The methodology included structural analysis by forest-use category, calculation of structural shares, rates of change, allowable-cut utilization coefficients, and comparative analysis of

✉ – Для контактов/Corresponding author

the spatial and legal structure of leasing. The results showed that from 2017 to 2024 the number of lease agreements by forest-use category increased by 16.84 %, while the leased area increased by 10.02 %. In 2024, timber harvesting dominated in terms of leased area, whereas recreation, agriculture, and the placement of linear infrastructure facilities accounted for a substantial share of the total number of lease agreements. Among agricultural forms of forest use, beekeeping and haymaking were the most widespread activities, indicating the predominantly extensive nature of agricultural use of forest lands. Actual utilization of the allowable timber harvest remained below planned levels, indicating the need for stronger monitoring of compliance with lease obligations. The results support the need for standardization of registry data, regular GIS- and remote-sensing-based monitoring, and separate accounting of agricultural forms of forest use in order to improve the transparency of leased forest plot management.

Keywords. Forest plot leasing; forest use; agricultural use of forests; timber harvesting; forest districts; Republic of Bashkortostan; registry data; sustainable forest management; remote sensing monitoring.

For citation. Martynova M. V., Zdorovets A. V., Sultanyarova A. O., Odintsov G. E., Garfutdinova S. I. Structure and dynamics of forest plot leasing based on a regional register // Scientific Agronomy Journal. 2026;3(134):110-117. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.009.110-117.

Received: 15.06.2026 Accepted: 10.07.2026

Введение. Долгосрочная аренда лесных участков является одним из ключевых механизмов вовлечения лесного фонда в хозяйственный оборот. Через договор аренды формируется доступ не только к древесным ресурсам, но и к территориям для осуществления рекреационной деятельности, создания линейной инфраструктуры, ведения охотничьего хозяйства, ведения сельского хозяйства и иных работ. Поэтому реестр арендованных лесных участков можно рассматривать как самостоятельный источник сведений о реальной конфигурации лесопользования на региональном уровне.

Для лесоводственных исследований существенное значение имеет не только величина арендованной площади, но и соотношение разрешенных видов использования лесов. Сельскохозяйственное использование лесных участков, включая сенокошение, пастьбу, пчеловодство и выращивание сельскохозяйственных культур, как правило, не формирует значительной доли в общей площади аренды. Вместе с тем по числу договоров и по значимости этот вид пользования лесом может быть более значимым для отдельных территорий. Поэтому оценка аренды только через площадь участков дает неполное представление о реальной структуре лесопользования и должна дополняться анализом договоров по видам разрешенного использования.

Современные исследования связывают аренду лесных участков с рентным подходом, бюджетной эффективностью и устойчивым лесоуправлением (Lindahl et al., 2017; Черных и др., 2023; Петрунин, Смоленникова, 2024). Для оценки управленческих решений все чаще привлекаются показатели динамики лесного фонда, дистанционное зондирование и методы машинного обучения (McRoberts, Tomppo, 2007; Hansen et al., 2013; Potapov et al., 2020; Gafurov, Ivanov, 2024). При этом устойчивое лесоуправление предполагает учет не только ресурсного, но и экологического результата использования лесов (Brockerhoff et al., 2017; Oettel, Lapin, 2021; Русецкая, 2022; Peichl et al., 2023).

Цель исследования – выполнить структурно-динамический анализ данных реестра лесных участков, предоставленных в аренду.

Материалы и методы. В качестве исходных данных использованы материалы Министерства лесного хозяйства Республики Башкортостан (Реестр лесных участков, предоставленных в аренду). Были сформированы два контура расчета. Первый охватывал динамику по видам использования лесов за 2017-2024 гг. и промежуточный срез 2025 г. Второй использовался для сравнения лесничеств и оснований предоставления участков в 2016 г. и 2025 г. Для каждого года рассчитывались абсолютные значения, доли в общем числе договоров и площади, базисные и цепные темпы прироста. Для заготовки древесины дополнительно рассчитано отношение фактического объема заготовки к запланированному объему и доля фактически освоенной площади.

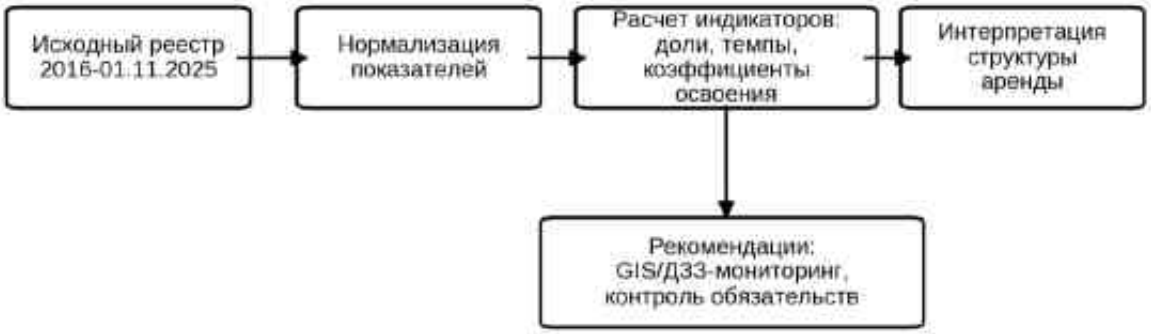

Рис. 1. Схема аналитической обработки данных реестра

Обработка данных выполнена в Microsoft Excel (Microsoft 365). Поскольку анализ основан на данных административного реестра, а не на выборке экспериментальных наблюдений, проверка нулевых гипотез по p-значениям не применялась. Статистическая обработка носила описательно-аналитический характер и включала расчет относительных показателей, сопоставление структурных показателей и графическую визуализацию рядов динамики и распределений.

Результаты. В 2017-2024 гг. количество действующих договоров по видам использования лесов увеличилось с 2144 до 2505 ед. Прирост составил 361 договор, или 16,8 %. Среднегодовой темп прироста за рассматриваемый период рассчитан на уровне 2,25 %.

Арендованная площадь за тот же период возросла с 1400,5 до 1540,8 тыс. га, что соответствует увеличению на 10,0 % при среднегодовом приросте 1,37 %. Более интенсивная динамика количества договоров по сравнению с площадью свидетельствует о большей ориентации на многофункциональное использование лесов (табл. 1, рис. 2).

По состоянию на 01.07.2025 г. в реестре учтено 2417 договоров общей площадью 1580,9 тыс. га. Эти данные следует рассматривать как промежуточный срез, поскольку годовой баланс договоров на момент наблюдения не был завершен: в реестре отражены 139 вновь заключенных и 126 прекращенных договоров. В связи с этим показатели 2025 г. использованы для текущей характеристики состояния аренды, но не включались в расчет устойчивого многолетнего тренда.

Таблица 1

Динамика основных показателей аренды по видам использования лесов

Год	Договоры, шт.	Площадь, тыс. га	Прирост договоров, %	Прирост площади, %
2017	2144	1400,5		
2018	2232	1439,0	4,10	2,75
2019	2209	1433,7	–1,03	–0,37
2020	2191	1434,5	–0,81	0,06
2021	2214	1457,0	1,05	1,57
2022	2241	1527,3	1,22	4,82
2023	2370	1491,7	5,76	–2,33
2024	2505	1540,8	5,70	3,30
2025	2417	1580,9	–3,51	2,60

Примечание: 2025 г. отражает промежуточный срез реестра и не рассматривается как полный сопоставимый календарный год.

В 2024 г. по числу договоров первое место занимала рекреационная деятельность – 844 договора, или 33,7 %, далее ведение сельского хозяйства – 648 договоров (25,9 %), создание линейных объектов – 443 договора (17,7 %) и заготовка древесины – 267 договоров (10,7 %). По площади наблюдается обратная картина. На заготовку древесины в 2024 г. приходилось 1483,3 тыс. га, или 96,27 % общей площади аренды. Доля охотничьего хозяйства составляла 2,85 %, сельского хозяйства – 0,30 %, геологического изучения недр и добычи полезных ископаемых – 0,22 %, линейных объектов – менее 0,2 % (рис. 3).

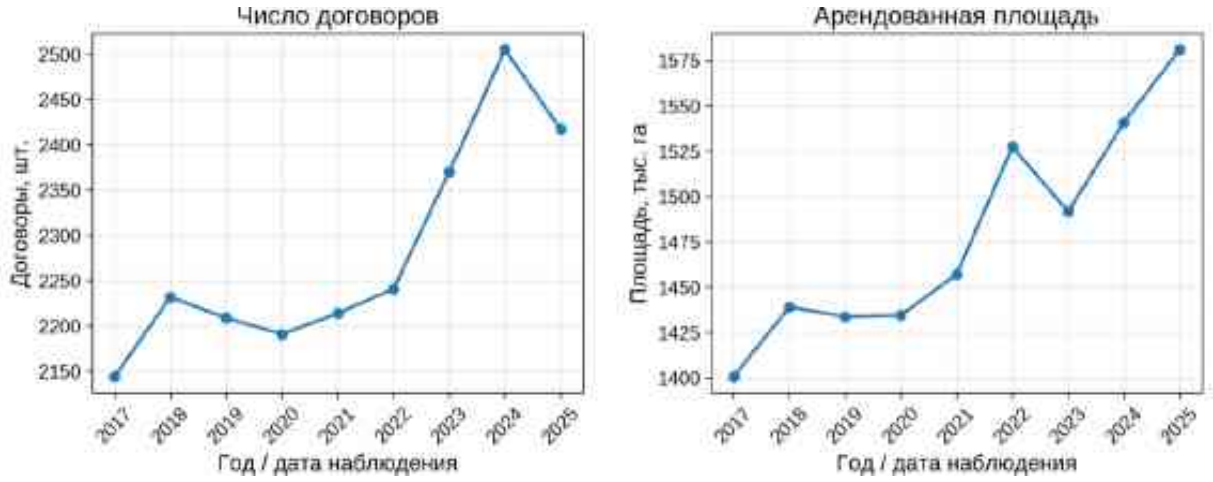

Рис. 2. Динамика числа договоров и арендованной площади

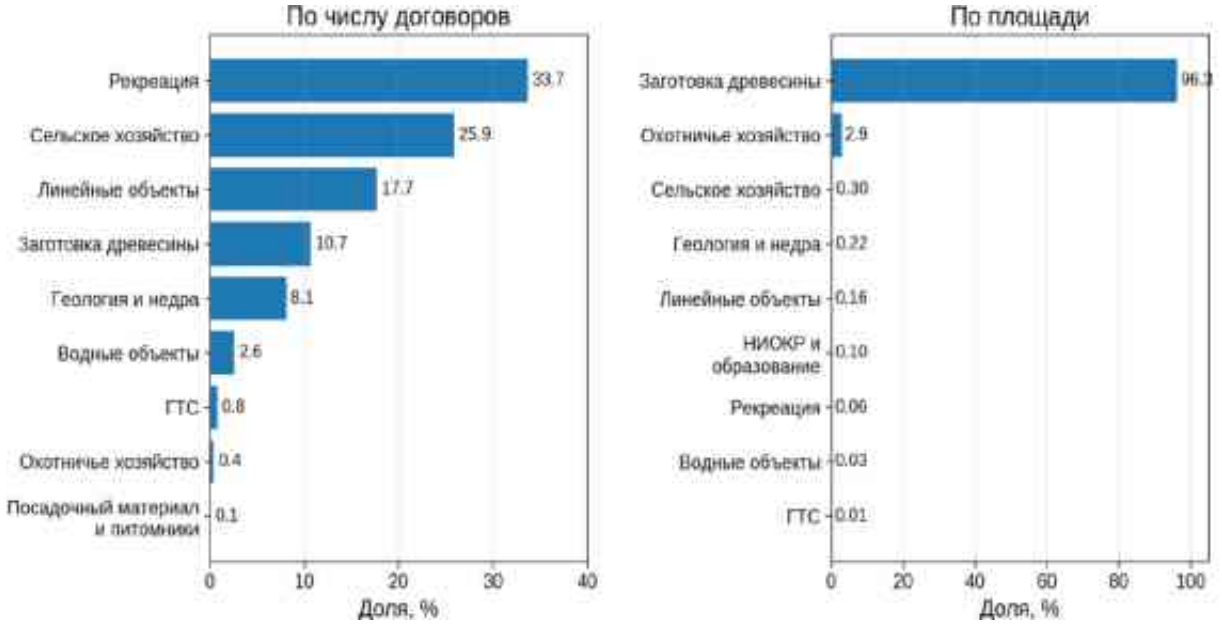

Рис. 3. Структура аренды по видам использования лесов в 2024 г.

Преобладание заготовки древесины в структуре арендованной площади не следует отождествлять с высокой ежегодной интенсивностью рубок. В 2017-2024 гг. фактический объем заготовки составлял 41,9-57,6 % от запланированного объема, тогда как доля фактически освоенной площади в общей площади участков, арендованных для заготовки древесины, не превышала 0,9 %. Это показывает, что арендованная площадь характеризует, прежде всего, правовой охват лесопользования, но не отражает напрямую текущую хозяйственную нагрузку на лесные насаждения (рис. 4).

Данное обстоятельство необходимо учитывать при интерпретации лесохозяйственной отчетности. Участки, переданные в аренду для заготовки древесины, различаются по возрастной структуре насаждений, транспортной доступности, лесоводственному состоянию и очередности освоения. Поэтому анализ, основанный только на площади арендованных участков, может приводить к завышенной оценке фактического ежегодного воздействия на лесные экосистемы. Более корректная интерпретация требует сопоставления площади аренды с объемами фактической заготовки и данными об освоенной площади.

Использование лесов для ведения сельского хозяйства устойчиво по числу договоров, но занимает крайне малую долю площади. В 2017 г. по данному виду было 633 договора на площади 5536,3 га, в 2024 г. – 648 договоров на площади 4664,2 га. Доля сельского хозяйства в числе договоров снизилась с 29,5 до 25,9 %, а доля в площади – с 0,40 до 0,30 %. Это означает, что аграрный блок важен для договорной структуры, но не определяет пространственный баланс аренды.

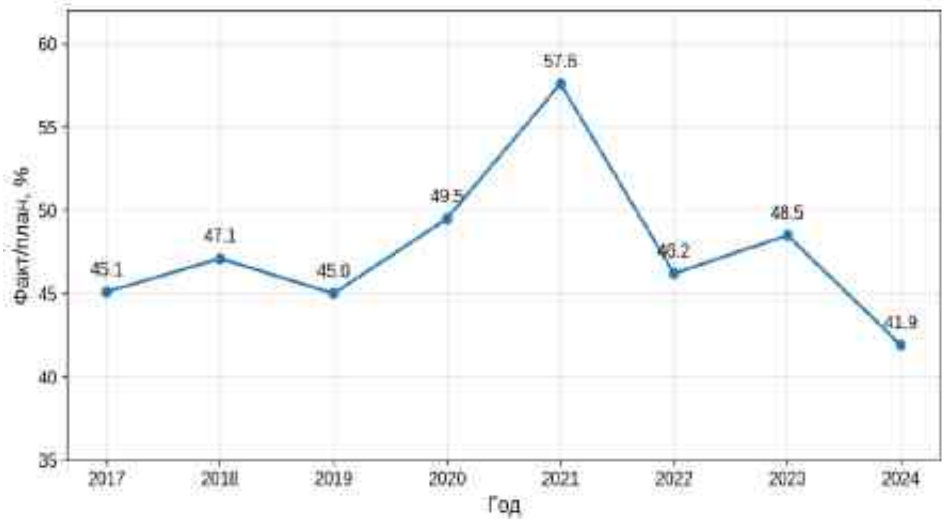

Рис. 4. Отношение фактического объема заготовки древесины к плановому

В 2024 г. в составе сельскохозяйственного использования лесов наибольшее число договоров приходилось на пчеловодство – 512 ед. Сенокошение было представлено 111 договорами, выращивание сельскохозяйственных культур – 26 договорами. При этом по площади ведущие позиции занимали сенокошение и пастбищное использование. Такое соотношение договорной и площадной структуры показывает, что сельскохозяйственное использование лесных участков связано преимущественно не с формированием крупных пахотных массивов, а с сезонным и локальным вовлечением лесных территорий в хозяйственный оборот. Наиболее выраженными направлениями такого использования выступают кормовая база, пастбищные ресурсы и пчеловодство (рис. 5).

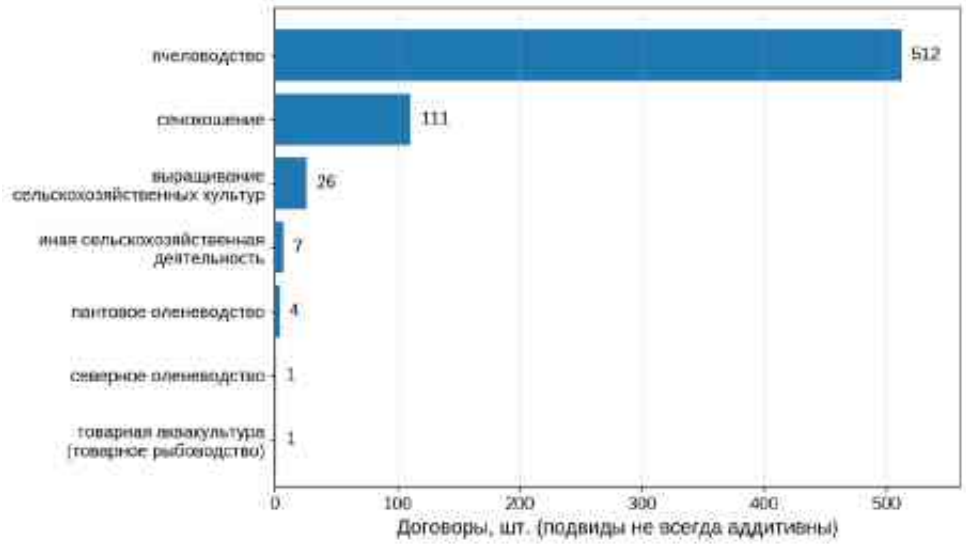

Рис. 5. Профиль сельскохозяйственного использования лесов в 2024 г.

Сравнение лесничеств за 2016 г. и 2025 г. показывает рост числа договоров с 2033 до 2673, или на 31,5 %. Общая площадь увеличилась с 1449,9 до 1596,3 тыс. га, на 10,1 %. По площади лидировали Авзянское, Караидельское, Белорецкое, Инзерское и Аскинское лесничества, что указывает на неравномерность территориального распределения арендованных лесных участков.

По состоянию на 2025 г. ключевым основанием предоставления лесных участков по числу договоров оставались аукционы: на них приходился 1551 договор, или 58,0 % общего количества.

Обсуждение. Полученные данные позволяют выделить два уровня концентрации арендного лесопользования. Первый связан с территориальным охватом аренды и в значительной степени определяется участками, предоставленными для заготовки древесины и реализации крупных инвестиционных проектов. Второй уровень отражает распределение договоров и имеет более диверсифицированный характер: наряду с заготовкой древесины здесь заметную роль играют рекреационное использование, сельское хозяйство и размещение линей-

ных объектов. В связи с этим оценка аренды только по числу договоров либо только по площади участков может приводить к различным управленческим выводам. Выявленное расхождение согласуется с подходами многофункционального лесоуправления, в рамках которых юридический доступ к лесным ресурсам, экономическая рента и фактическое воздействие на экосистемы рассматриваются как взаимосвязанные, но не тождественные характеристики лесопользования (Brockerhoff et al., 2017; Oettel, Lapin, 2021; Schepaschenko et al., 2021).

Отдельного внимания требует интерпретация преобладания заготовки древесины в площадной структуре аренды. Сам по себе значительный территориальный охват данного вида использования не означает столь же высокой ежегодной хозяйственной нагрузки. Низкая доля фактически освоенной площади и неполное использование планового объема заготовки показывают, что при анализе необходимо различать арендованную территорию, расчетные показатели освоения и фактическое изъятие древесины. Для сельскохозяйственного использования лесов характерна обратная ситуация: ограниченная доля в общей площади аренды не исключает локальной значимости таких участков для сенокошения, пчеловодства и сезонного использования сельскохозяйственными производителями.

Реестровый анализ имеет ряд ограничений, которые следует учитывать при интерпретации результатов. Во-первых, реестр фиксирует правовой и учетный статус лесного участка, но не отражает в полной мере состояние насаждений, почвенного покрова, дорожной сети, противопожарной инфраструктуры и фактическое выполнение лесохозяйственных мероприятий. Во-вторых, неоднородность структуры данных по годам и ограничивают возможности прямого построения сопоставимых временных рядов. Снизить влияние этих ограничений можно за счет объединения реестровых сведений с данными дистанционного зондирования, беспилотной съемки и картографическими материалами лесоустройства (Костин, Быковский, 2024; Terekhin, 2024).

С практической точки зрения реестр целесообразно рассматривать как базовый информационный слой для пространственного мониторинга арендного лесопользования. Один вариант развития методики связан с привязкой договоров к геометрии лесных участков, данным дистанционного зондирования и материалам лесоустройства. Другой – предполагает дополнение ежегодной отчетности показателями исполнения договорных обязательств, включая фактическую площадь выполненных работ, объем заготовки древесины, состояние лесовосстановления, сезонную аграрную нагрузку и наличие выявленных нарушений. Такой подход соответствует современным направлениям анализа землепользования и лесных территорий на основе дистанционных данных (McRoberts, Tomppo, 2007; Hansen et al., 2013; Potapov et al., 2020; Gafurov, Ivanov, 2024).

Заключение. Проведенный анализ показал, что в 2017-2024 гг. аренда лесных участков развивалась неравномерно по числу договоров и по площади. Количество договоров увеличилось на 16,8 %, тогда как арендованная площадь – на 10,0 %. Такое соотношение указывает на рост значения видов использования, которые представлены большим числом договоров при сравнительно меньшем площадном охвате.

Структура аренды имеет выраженную двойственность. По числу договоров заметное место занимают рекреационное использование, сельское хозяйство и размещение линейных объектов. По площади, напротив, доминирует заготовка древесины: в 2024 г. на нее приходилось 96,3 % арендованной территории. Следовательно, оценка аренды только по одному показателю не позволяет корректно описать фактическую структуру лесопользования. Сельскохозяйственное использование лесов сохраняет устойчивое значение в договорной структуре, хотя его доля в общей площади аренды остается небольшой. Основу данного направления составляют пчеловодство, сенокошение и иные локальные сезонные формы использования лесных участков. Это позволяет рассматривать аграрный блок не как резерв расширения пашни, а как дополнительный ресурс для отдельных видов сельскохозяйственной деятельности.

Для повышения практической значимости реестра его следует дополнять пространственными данными, материалами дистанционного мониторинга и сведениями о фактическом выполнении лесохозяйственных и аграрных мероприятий. В годовых формах учета важно использовать единый календарный период сравнения, а промежуточные срезы маркировать отдельно. В карточке договора целесообразно фиксировать устойчивый идентификатор участка, координатную привязку, сведения о выполненных работах, показателях лесовосстановления и наличии нарушений. Для сельскохозяйственного использования лесов требуется отдельный мониторинг сенокошения, пастьбы и пчеловодства с учетом сезонности, доступности участков и возможного пересечения с лесовосстановительными мероприятиями.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Горбунова О. И., Русецкая Г. Д., Кулагина А. Н. Переход лесного хозяйства Иркутской области к устойчивому управлению лесами. Baikal Research Journal. 2022;13(3):20. doi https://doi.org/10.17150/2411-6262.2022.13(3).20 [Gorbunova O.I., Rusetskaya G. D., Kulagina A. N. Transition of forestry of the Irkutsk region to sustainable forest management. Baikal Research Journal. 2022;13(3):20. doi https://doi.org/10.17150/2411-6262.2022.13(3).20].

Костин П. И., Быковский М. А. Новая технология отвода лесосек с применением беспилотных летательных аппаратов и радиомаяков. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2024;3(63):34-43. doi https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.34 [Kostin P. I., Bykovsky M. A. New technology for allocating cutting areas using unmanned aerial vehicles and radio beacons. Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management. 2024;3(63):34-43. doi https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.34].

Петрунин Н. А., Смоленникова Л. В. Бюджетная эффективность ведения лесного хозяйства в контексте устойчивого управления лесами. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2024;4:84-95. doi https://doi.org/10.25686/2306-2800.2024.4.84 [Petrunin N. A., Smolennikova L. V. Effectiveness of expenditures of the budgets of the subjects of the Russian Federation on forestry. Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Economy and Management. 2024;4:84-95. doi https://doi.org/10.25686/2306-2800.2024.4.84].

Русецкая Г. Д. Реализация концепции устойчивого развития в управлении лесами. Известия Байкальского государственного университета. 2022;32(3):512-526. doi https://doi.org/10.17150/2500-2759.2022.32(3).512-526 [Rusetskaya G. D. Implementation of the concept of sustainable development in forest management. Bulletin of Baikal State University. 2022;32(3):512-526. doi https://doi.org/10.17150/2500-2759.2022.32(3).512-526].

Черных В. Л., Черных Л. В., Черных Д. В., Шутов В. А. Рентный подход к оценке лесных ресурсов как основа повышения эффективности лесного комплекса. Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2023;27(5):5-24. doi https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-5-5-24 [Chernykh V. L., Chernykh L. V., Chernykh D. V., Shutov V. A. Justification of payment for the use of forest resources based on the rent approach. Forestry Bulletin. 2023;27(5):5-24. doi https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-5-5-24].

Brockerhoff E. G., Barbaro L., Castagneyrol B., Forrester D. I., Gardiner B., González-Olabarria J. R., Lyver P. O. B., Meurisse N., Oxbrough A., Taki H., Thompson I. D., van der Plas F., Jactel H. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. Biodiversity and Conservation. 2017;26:3005-3035. doi https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2.

Gafurov A., Ivanov M. Deep learning and remote sensing for restoring abandoned agricultural lands in the Middle Volga (Russia). Land. 2024;13(12):2054. doi https://doi.org/10.3390/land13122054.

Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science. 2013;342(6160):850-853. doi https://doi.org/10.1126/science.1244693.

Lindahl K. B., Sténs A., Sandström C., Johansson J., Lidskog R., Ranius T., Roberge J. M. The Swedish forestry model: More of everything? Forest Policy and Economics. 2017;77:44-55. doi https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.10.012.

McRoberts R. E., Tomppo E. O. Remote sensing support for national forest inventories. Remote Sensing of Environment. 2007;110(4):412-419. doi https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.034.

Oettel J., Lapin K. Linking forest management and biodiversity indicators to strengthen sustainable forest management in Europe. Ecological Indicators. 2021;122:107275. doi https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107275.

Peichl M., Brodeur J. J., Khomik M., Arain M. A. Landscape variability of the carbon balance across managed boreal forests. Global Change Biology. 2023;29:1119-1132. doi https://doi.org/10.1111/gcb.16534.

Potapov P., Hansen M. C., Kommareddy I., Kommareddy A., Turubanova S., Pickens A., Adusei B., Tyukavina A., Ying Q. Landsat analysis ready data for global land cover and land cover change mapping. Remote Sensing. 2020;12(3):426. doi https://doi.org/10.3390/rs12030426.

Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Blyshchyk V., Dmitriev E., Martynenko O., See L., Kraxner F. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. Scientific Reports. 2021;11:12825. doi https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9.

Terekhin E. A. Comparative analysis of reforestation indicators on abandoned agricultural lands using Sentinel-2 data. Earth Research from Space. 2024;1:29-39. doi https://doi.org/10.31857/S0205961424010037.

Информация об авторах

Мартынова Мария Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: maaarusssia@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8804-8425.

Здоровец Арсений Вячеславович, аспирант кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: zdor8008@gmail.com; ORCID: 0009-0003-3263-5609.

Султаньярова Айсылу Олеговна, ассистент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: suaiso@mail.ru.

Одинцов Георгий Евгеньевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34; e-mail: odintsov94@inbox.ru; ORCID: 0000-0003-4754-8850.

Гарфутдинова Сабрина Исфаровна, соискатель кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34.

Information about the authors

Martynova Maria Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Bashkir State Agrarian University, 50 Let Oktyabrya St., Ufa 450001, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: maaarusssia@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8804-8425.

Zdorovets Arseniy Vyacheslavovich, Postgraduate Student, Department of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, 50 Let Oktyabrya St., Ufa 450001, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: zdor8008@gmail.com; ORCID: 0009-0003-3263-5609.

Sultanyarova Aisylu Olegovna, Assistant, Department of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, 50 Let Oktyabrya St., Ufa 450001, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: suaiso@mail.ru.

Odintsov Georgy Evgenievich, Candidate of Agricultural Science), Senior Lecturer, Bashkir State Agrarian University, 50 Let Oktyabrya St., Ufa 450001, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: odintsov94@inbox.ru; ORCID: 0000-0003-4754-8850.

Garfutdinova Sabrina Isfarovna, Applicant, Department of Forestry and Landscape Design, Bashkir State Agrarian University, 50 Let Oktyabrya St., Ufa 450001, Republic of Bashkortostan, Russia.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 630.232:631.63 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.010.118-128

Оценка солеустойчивости сеянцев *Robinia pseudoacacia* в засушливых условиях г. Волгограда

Крючков С. Н.; Солонкин А. В.; Третьякова А. В.; Соломенцева А. С.✉; Егоров С. А.; Романенко А. К.; Горбушова Д. А.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследования солеустойчивости сеянцев робинии псевдоакации (*Robinia pseudoacacia* L.), включая ее мачтовую форму и образцы селекционно-семеноводческого комплекса Кировского лесничества г. Волгограда в условиях хлоридного засоления. Опыт проводился в вегетационный период 2025 г. на коллекционном участке площадью 6,9 га с использованием термолюминостата КС-200 СПУ и кассет на 64 ячейки. Семена проращивали в субстрате (почва: песок: торф – 1:1:1) при поливе растворами NaCl концентрацией 0,10 и 0,15 %, влажность поддерживали на уровне 80 %, затем 40 % от полной влагоемкости почвы. Оценка солеустойчивости выполнялась по 5-балльной шкале с учетом морфологических показателей – изменения соотношения длин надземной части и корней, уменьшения массы и размеров проростков, побурения листьев. Статистическая обработка данных проведена в программах Biostat и Excel. Выявлено, что слабое засоление (0,10 %) практически не оказывает влияния на рост и сохранность сеянцев, тогда как концентрация 0,15 % вызывает явную дифференциацию опытных образцов. Наиболее устойчивыми оказались сеянцы мачтовой формы, а также образцы № 15, № 8 и ССК № 1 (солеустойчивость 1,4-2,5 балла, сохранность 72,5-85,6 %). Наименьшую устойчивость проявили образцы ССК № 5 и № 14 (4,1-4,3 балла, сохранность до 59,1 %). Статистический анализ показал высокую положительную связь высоты с сохранностью растений (R=0,91), умеренную положительную связь с солеустойчивостью (R = 0,72), но отрицательную корреляцию между солеустойчивостью и приростом (R = –0,650). Установлено, что высота служит интегральным показателем состояния растения, но не всегда отражает солеустойчивость – наиболее устойчивые генотипы могут расти медленнее, направляя свои ресурсы на адаптацию. Оптимальным для практики признан образец ССК № 2 (сохранность 96,8 %, высота 31, 2 см, солеустойчивость 2,8 балла). Подтвержден вывод о перспективности робинии для защитных и озеленительных насаждений в регионах с умеренным хлоридным засолением (юго-восточная часть европейской территории России).

Ключевые слова. Робиния; защитное лесоразведение; рост; развитие; выращивание; солеустойчивость.

Финансирование. Работа выполнена по теме Государственного задания FNFE-2025-0009 «Создание новых генотипов, сортов, форм древесных, кустарниковых, культурных растений с высокоценными признаками продуктивности, качества, устойчивостью к био- и абиострессорам с использованием классических и современных методов селекции, новые инновационные технологии в питомниководстве и семеноводстве, для решения задач по предотвращению деградации и опустынивания агроландшафтов в условиях изменяющегося климата».

Цитирование. Крючков С. Н., Солонкин А. В., Третьякова А. В. и др. Оценка солеустойчивости сеянцев Robinia pseudoacacia в засушливых условиях г. Волгограда // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):118-128. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.010.118-128.

Поступила в редакцию: 28.04.2026 Принята к печати:29.05.2026

✉ – Для контактов/Corresponding author

UDC 630.232:631.63 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.010.118-128

Evaluation of salt tolerance of *Robinia pseudoacacia* seedlings in the arid conditions of Volgograd

Kryuchkov S. N.; Solonkin A. V.; Tretyakova A. V.; Solomentseva A. S.✉; Egorov S. A.; Romanenko A. K.; Gorbushova D. A.

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", Volgograd, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of the salt tolerance of seedlings of *Robinia pseudoacacia* L., including its mast shape and samples of the breeding and seed-growing complex of the Kirov forestry district of Volgograd under conditions of chloride salinization. The experiments were conducted during the growing season of 2025 on a collection plot of 6.9 hectares using a KC-200 SPU thermoluminostat and 64-cell cassettes. The seeds were germinated in a substrate (soil:sand:peat – 1:1:1) when watering with NaCl solutions of 0.10 and 0.15 % concentration, the humidity was maintained at 80 %, then at 40 % of the total moisture capacity of the soil. The assessment of salt resistance was carried out on a 5-point scale, taking into account morphological indicators - changes in the ratio of the lengths of the above-ground part and roots, a decrease in the mass and size of the seedlings, and browning of the leaves. Statistical data processing was carried out using the Biostat and Excel programs. It was found that mild salinity (0.10 %) had almost no effect on the growth and preservation of the seedlings, while a concentration of 0.15% caused a clear differentiation of the experimental samples. The most resistant were the seedlings of the mast form, as well as samples No. 15, No. 8, and SSC No. 1 (salt tolerance of 1.4-2.5 points, preservation of 72.5-85.6 %). The least resistant samples were SSK No. 5 and No. 14 (4.1-4.3 points, preservation up to 59.1 %). Statistical analysis showed a high positive correlation between height and plant preservation (R = 0.91), a moderate positive correlation with salt resistance (R = 0.72), but a negative correlation between salt resistance and growth (R = –0.650). It has been established that height is an integral indicator of the plant's condition, but it does not always reflect salt tolerance. The most tolerant genotypes may grow more slowly, allocating their resources to adaptation. The optimal sample for practical use is SSK No. 2 (96.8 % preservation, 31.2 cm height, and 2.8-point salt tolerance). The conclusion that Robinia is promising for protective and landscaping plantations in regions with moderate chloride salinity (the southeastern part of the european territory of Russia) has been confirmed.

Keywords. Robinia; protective afforestation; growth; development; cultivation; salt sustainability.

Funding. The work was carried out on the topic of the State assignment FNFE-2025-0009 "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with high-value signs of productivity, quality, resistance to bio- and abiostressors using classical and modern breeding methods, new innovative technologies in nursery and seed production, to solve problems of preventing degradation and desertification of agricultural landscapes in a changing climate".

For citation. Kryuckov S. N., Solonkin A. V., Tretyakova A. V. et al. Evaluation of salt tolerance of Robinia pseudoacacia seedlings in the arid conditions of Volgograd // Scientific Agronomy Journal. 2026;3(134): 118-128. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.010.118-128.

Received: 28.04.2026 Accepted: 29.05.2026

Введение. Засушливость и континентальность климата в сочетании с трудными почвенными условиями в районах юго-восточной части европейской территории России создают сложности для роста древесно-кустарниковой растительности (Крючков, Солонкин и др., 2025). На территории Волгоградской обл. присутствуют немногие сохранившиеся естественные нагорно-аренные леса, но отсутствуют региональные семенные базы главных древесных пород (Крючков, Солонкин и др., 2024). В результате для защитного лесоразведения и питомниководства нередко используются семена инорайонного происхождения, что обуславливает

✉ – Для контактов/Corresponding author

недолговечность насаждений в трудных условиях произрастания. Вместе с тем способность противостоять неблагоприятным факторам среды у разных видов, популяций и отдельных пород существенно различается (Лазарев, 2020; Матвеева, Бабакова и др., 2022). Эта разнокачественность особенно проявляется после комплекса неблагоприятных климатических условий (суровые зимы, засухи, суховеи). На фоне большого количества погибших насаждений хорошо сохраняются единичные экземпляры главных пород, имеющие наследственно закрепленную устойчивость к суровым факторам среды (Isah, 2019). Отбор таких устойчивых пород и предварительная оценка отобранных маточных насаждений по ряду признаков позволила выделить вид *Robinia pseudoacacia* L. как перспективный для целей питомниководства, озеленения и создания устойчивых насаждений различного типа (Бабакова, Фефелова и др., 2023; Калмыкова, Петров и др., 2024; Третьякова, Зыбинская и др., 2026; Третьякова, Зыбинская, и др., 2026а). Получение семян из лучших местных акклиматизированных пород с проверенными наследственными признаками является лучшим способом создания устойчивых насаждений, поэтому новое поколение растений, выращенных из семенного и вегетативного потомства таких маточных пород будет иметь повышенную устойчивость и долговечность в трудных условиях произрастания. Специфичность условий произрастания робинии в условиях сухостепной и полупустынной зоны требует оценки отобранного селекционного материала не только на морозо- и засухоустойчивость, но и к почвенному засолению.

Целью исследования являлась оценка солеустойчивости сеянцев выделенных генотипов *Robinia pseudoacacia*, произрастающих в засушливых условиях г. Волгограда.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись растения робинии, отобранные из выделенных и пронумерованных образцов, обладающих наилучшими показателями фотосинтетической продуктивности (данные лаборатории геномных и постгеномных технологий ФНЦ агроэкологии РАН), включая мачтовую форму – высокорослое дерево с прямым стволом и компактной кроной, и 5 опытных образцов (место произрастания – Кировский селекционно-семеноводческий комплекс – ССК), у которых фотосинтетическая активность не определялась. К ценным селектируемым признакам также относятся: тип роста – дерево, ствол (количество) – 1, цветок (окраска) – белый, время начала цветения – середина мая (раннее) (табл. 1).

Таблица 1

Оценка фотосинтетической продуктивности образцов робинии

Участок	Номер дерева	Среднее (rbcL/DREB)*	CV (%) (коэф. ков.)	Индекс устойчивости с учетом ковариации
Кировский ССК	15	12,311	68,9	0,179
Кировский ССК	11	10,607	88,1	0,120
Кировский ССК	8	7,102	61,4	0,116
Кировский ССК	9	5,242	60,4	0,087
Кировский ССК	14	7,777	94,3	0,082

**Примечание. rbcL – ген большой субъединицы рибулозо-1,5-бисфосфаткарбоксилазы/оксигеназы (RuBisCO), играющий ключевую роль в фотосинтетическом аппарате растений; DREB (dehydration-responsive element binding) – ген, кодирующий транскрипционный фактор, участвующий в ответе растения на засуху, засоление, высокую температуру и другие абиотические стрессы.*

Исследования проводили на сеянцах из отобранных образцов робинии с участка Кировского лесничества (ССК) в течение вегетационного периода 2025 г. Общая площадь коллекционного участка 6,9 га (кварталы 4, 22; кадастровый номер 34:34:000000:107; 34:26:050301:1041; 34:26:050301:1045; 34:26:050301:1046; 34:26:050301:1277; 34:26:050301:104) (рис. 1).

Оценка растений на солеустойчивость проводилась на однолетнем потомстве.

Для проращивания семян робинии использовали термолюминостат КС-200 СПУ. В качестве необходимых заданных параметров устанавливалась необходимая температура в диапазоне от +5 до +60 °С с точностью до 0,1 °С, регулировался уровень освещенности (включалось от 2 до 10 ламп (что обеспечивало от 500 до 6000 ЛК), и программировался цикл «день – ночь», выбиралась оптимальная скорость вентиляции.

Растения аккуратно размещались на полках, где обеспечивалось равномерное распределение и свободная циркуляция воздуха. В процессе проращивания избегали контакта растений со стенками и взаимного затенения. В процессе эксперимента регулярно отслеживались параметры на дисплее и велись визуальные наблюдения за состоянием растений через стек-

лянную дверь. При необходимости вносились корректировки в настройки температуры, освещенности или вентиляции. Диапазон температур для проращивания составлял 25-28 °С.

Общая площадь лесничества – 1322,1 га. Площадь земель, занятых робинией – 989 га, в т. ч. молодняк 1 класса 177, 6 га, молодняк 2 класса 197 га, средневозрастные насаждения 228, 7 га, приспевающие 222, 8 га, спелые и перестойные 162,9 га, средний возраст 24 года, возраст рубки 41 год

Рис. 1. Объекты исследований и их характеристика

Для проведения эксперимента использовались емкости для выращивания растений – кассеты литьевые на 64 ячейки, обеспечивающие выращивание большого количества растений на небольшой площади, что особенно актуально для питомников и теплиц с ограниченной территорией. Кассеты обеспечивают хорошую вентиляцию и дренаж, предотвращая переувлажнение и загнивание корней и увеличивая выживаемость растений. Количество ячеек в кассете – 64 шт.; размеры кассеты – 38,5 × 38,5 × 11 см; объем ячейки – 128 мл; размер ячейки – 4,3×4,3 см; форма сечения ячейки – квадратная; количество сеянцев на 1 м^2 – 434 шт.

В качестве субстрата использовали смесь зональной почвы, песка и торфа (в соотношении 1:1:1). В каждую ячейку высаживалось по 1 распикированному сеянцу робинии в возрасте 1 месяца. В день посадки на 5, 10 и 15 день после посева растения поливали растворами NaCl разной концентрации. Влажность поддерживалась на уровне 80 %, а затем 40 % от полной влагоемкости почвы. Контрольные растения выращивались при отсутствии засоления. В течение вегетационного периода фиксировалась гибель растений, поврежденных засолением.

Для создания солевого стресса применялись растворы NaCl разной концентрации (0,10-0,15 %). Оценка проводилась по 5-балльной шкале:

0 баллов – повреждения отсутствуют: листья зеленые, тургор сохранен, признаков угнетения нет;

1 балл – очень слабые повреждения: незначительное пожелтение или выцветание вдоль жилок, площадь поражения до 10 % поверхности листа;

2 балла – слабые повреждения: пожелтение и/или небольшие некротические пятна, охватывающие 10-25 % площади листа;

3 балла – умеренные повреждения: выраженное пожелтение, множественные некрозы, площадь поражения 25-50 % листа;

4 балла – сильные повреждения: обширные некрозы, подсыхание краев, скручивание листьев, поражение 50-75 % поверхности.

5 баллов – очень сильные повреждения: гибель большей части листовой пластинки, полное побурение и высыхание, поражение свыше 75 % площади, возможна гибель растения (Пятницкий, 1971).

Критериями оценки солеустойчивости служили морфологические показатели – изменение соотношения длин надземной части и корней, уменьшение массы и размеров проростков, побурение листа.

В опытах использовались лабораторные весы ВК-600, а также линейка и штангенциркуль для измерения длины надземной части растений.

Статистическая обработка данных опыта производилась в программах Biostat и Excel.

Результаты. Высокое содержание непитательных солей в почве оказывает крайне неблагоприятное влияние на растения. Оно вызывает нарушение нормальной жизнедеятельности и часто является причиной гибели растений. Особенно отрицательно сказывается на растениях хлоридное засоление, под влиянием которого подавляются процессы роста и развития, фотосинтеза, активности ферментов, принимающих участие в процессе дыхания.

При комплексном воздействии хлоридного засоления растительный организм испытывает осмотический стресс, накопление ионов натрия и хлора разрушает его клеточную структуру, особенно чувствительны к этому молодые растения.

В варианте опыта с концентрацией солей 0,15 % признаки проявления солевого стресса появлялись постепенно. Первые 3-5 дней визуально растения выглядели здоровыми, на 5-10 день появились первые повреждения в виде замедления роста, пожелтения первой пары листьев и подсыхание их краев. На 10-15-й день некроз распространился обширнее, листья опали и наблюдалось ослабление стебля. После 15 дней опыта наступила критическая фаза (массовое отмирание растительных тканей, усыхание и гибель сеянцев). В варианте опыта с концентрацией солей 0,10 % растения выглядели менее ослабленными, наблюдалось отмирание и выпадение их незначительного количества и редкие некротические пятна на листьях (рис. 2).

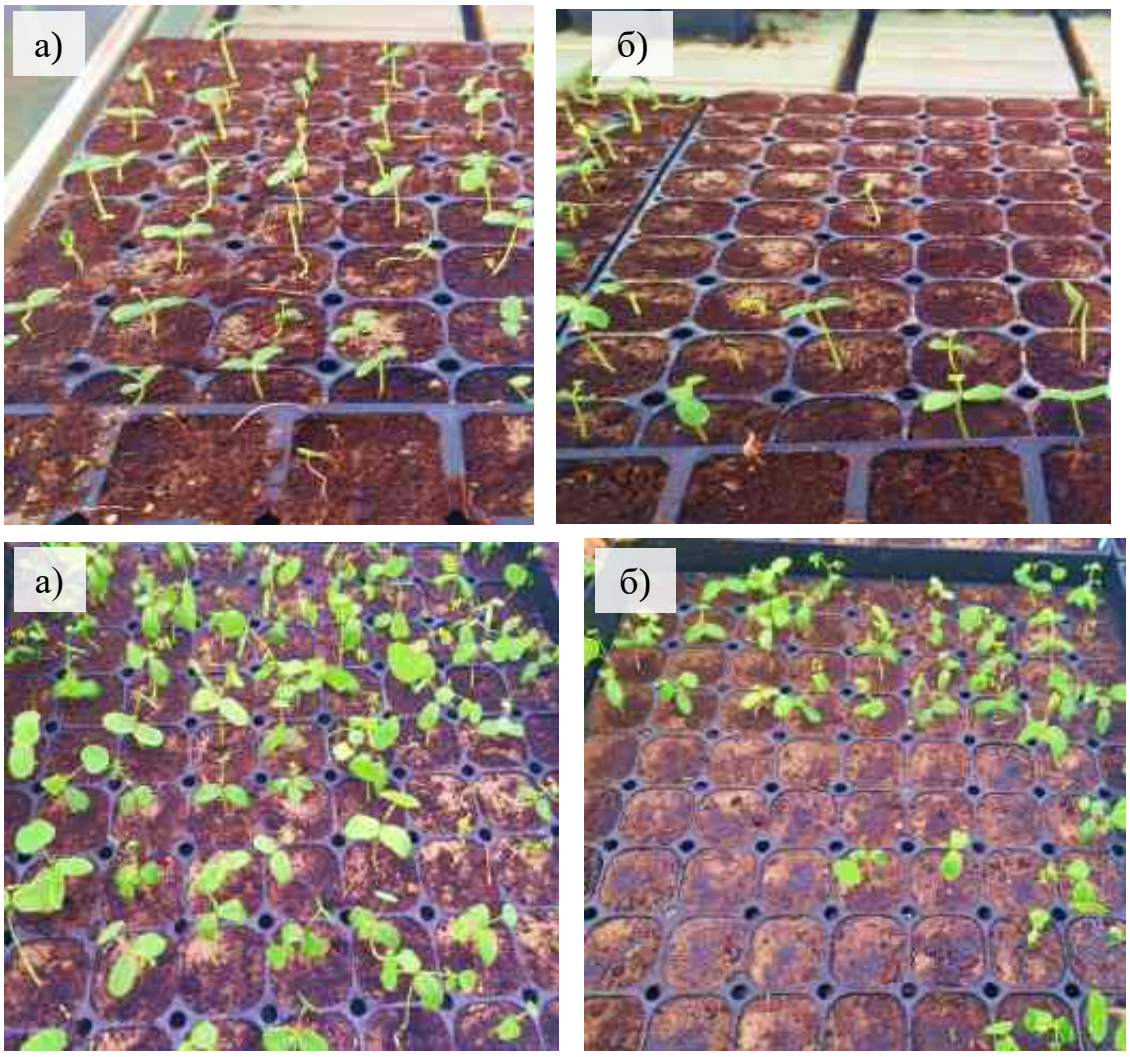

Рис. 2. Сеянцы робинии в опыте на солеустойчивость с концентрацией солей 0,10 % (а) и 0,15 % (б)

При длительном и сильном солевом воздействии у растений происходит неоднократное сбрасывание листьев. Восстановление ассимиляционного аппарата после сброса соленасыщенных листьев протекает в основном за счет распускания пазушных глазков основного побега. После раскрытия этих почек и образования новых побегов и листьев в пазухах черешков листьев закладываются новые глазки, в силу этого явно затягиваются ростовые процессы, что отражается на снижении сопротивляемости растений к высоким и низким температурам (рис. 3).

Рис. 3. Сбрасывание листьев растениями робинии при засолении в концентрации 0,10 % (а) и 0,15 % (б)

В ячейках кассет при проведении опыта с концентрацией солей 0,15 % количество выживших сеянцев робинии составило 66,7-96,8 %, доля погибших – 3,2-33,3 %, при хлоридном засолении в 0,10 % гибель сеянцев не превышала нескольких процентов.

Солеустойчивость того или иного вида проявляется только при условии воздействия солей на растение. Повышенные концентрации солей, в свою очередь, являются условием, при котором проявляются индивидуальные свойства растений. Это дает возможность изучить явление индивидуальной солеустойчиовсти и вести выделение наиболее перспективных к засолению почв экземпляров робинии методом индивидуального группового отбора. Активная сопротивляемость растений устанавливается по их росту, сохранности и состояния в условиях вегетационного опыта и различной степенью засоления почвы.

Следует отметить, что засоление в концентрации 0,10 % не оказало существенного влияния на рост и состояние сеянцев селекционных образцов. Только дополнительное засоление, доведенное до концентрации 0,15 %, позволило выявить дифференциацию образцов по группам солеустойчивости (табл. 2). Однолетнее потомство робинии, выращенное при засолении 0,10 %, характеризовалось интенсивным ростом, высоким процентом сохранности и хорошим состоянием.

Таблица 2

Рост и состояние семенного потомства робинии в условиях хлоридного засоления различной концентрации

Образец	Высота, см			Сохранность, %	Солеустойчивость, балл	Распределение образцов по группам солеустойчивости при $НСР_{0,05 = 0,875}$
	контроль	0,15*	% к контролю			
Мачтовая форма	30,0 ± 2,5	23,9 ± 0,7	79,6	100,0	2,3	1 (высокая)
№ 15	38,2 ± 4,8	27,6 ± 3,8	72,5	96,2	1,4	
№ 8	32,4 ± 2,5	23,9 ± 1,7	73,7	100,0	2,4	
ССК № 1	35,5 ± 4,8	30,4 ± 0,8	85,6	83,3	2,5	
ССК № 2	31,2 ± 2,0	30,2 ± 2,3	96,8	95,6	2,8	
ССК № 3	40,3 ± 8,0	26,9 ± 1,8	66,7	83,8	3,4	2 (средняя)
ССК № 4	35,5 ± 2,9	26,1 ± 1,6	73,5	75,9	3,4	
№ 9	34,9 ± 2,3	26,0 ± 1,8	74,5	90,6	3,8	
№ 14	35,5 ± 3,0	26,7 ± 0,8	75,2	88,0	4,1	3 (низкая)
ССК № 5	33,8 ± 2,6	20,0 ± 2,2	59,1	29,0	4,3	

**Примечание: концентрация засоления.*

Наиболее устойчивыми к хлоридному засолению почвы оказались сеянцы, полученные от деревьев мачтовой формы (№ 15, ССК № 1 и № 8). У них, как правило, была выше сохранность, отмечалось незначительное снижение роста в высоту и хорошее состояние (рис. 4).

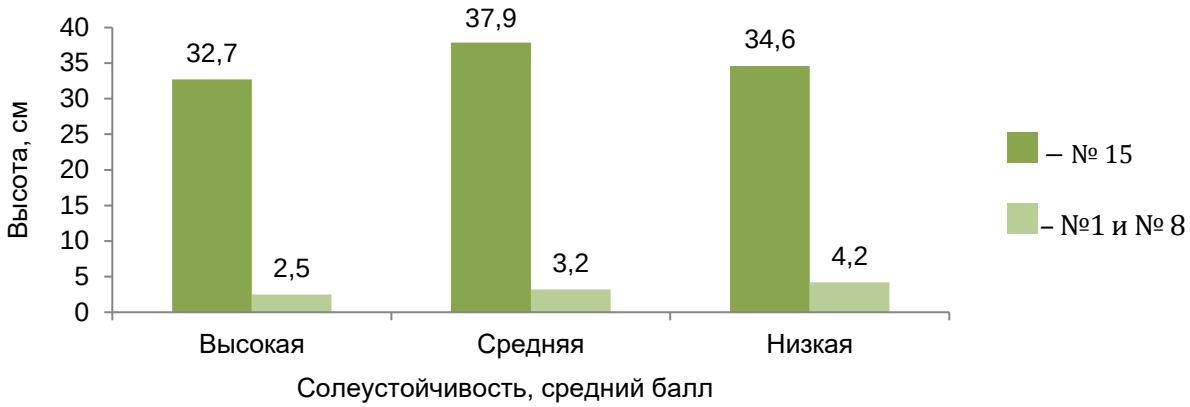

Рис. 4. Распределение растений робинии по группам солеустойчивости в зависимости от высоты

Оптимальный баланс наблюдался у средней группы растений – эти сеянцы имели достаточную устойчивость, чтобы не испытывать ощутимый стресс от засоления, и одновременно с этим достаточное количество ресурсов для активного роста и развития. На группу со средними данными пришелся максимум роста, следовательно, в дальнейшем потребуется проверка генетической однородности данной группы для оценки свойств экотипов.

В условиях сильного засоления (0,15 %) нередко наблюдаются признаки угнетения растений, а именно – выцветание хлорофилла, сопровождающееся снижением прочности связи зеленого пигмента с белками хлоропласта, и побурение отдельных участков листа (край листовой пластины) (рис. 5). В условиях незначительного хлоридного засоления (0,10 %) это состояние имеет обратимый характер и после адаптации у растения восстанавливается нормальная окраска листа.

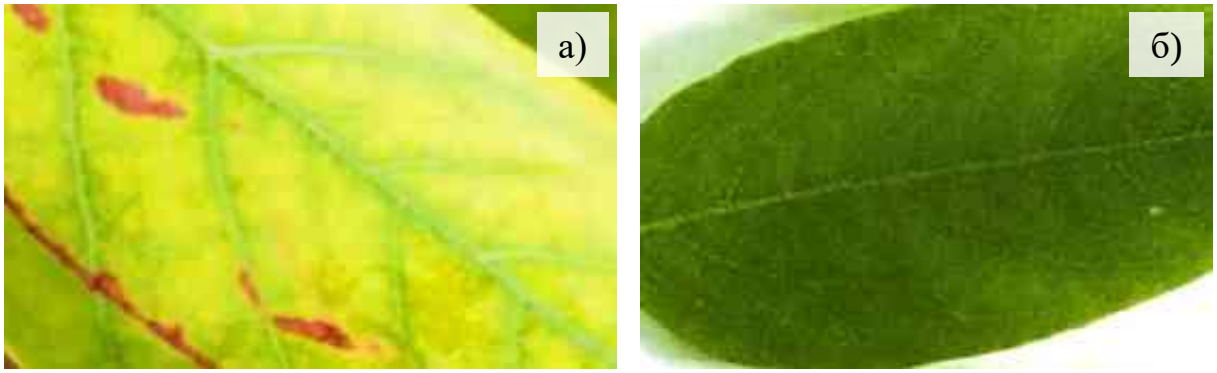

Рис. 5. Опытный образец листовой пластины угнетенного засолением (а) и здорового (б) растения робинии

В ходе исследований была установлена значительная взаимосвязь между ростом и долговечностью растений – образцы, имеющие активный рост, отличались лучшей выживаемостью и впоследствии достигали значительных параметров. Вместе с тем, увеличение способности растений к засолению может приводить к некоторому снижению темпов их роста, и, как следствие, к ухудшению показателей выживаемости. Высота сеянцев тесно связана со всеми показателями, и служит интегральной характеристикой общего состояния растительного организма (табл. 3).

Чтобы достигнуть максимальной высоты и приживаемости сеянцев, рекомендуется выбирать растения робинии, продемонстрировавшие быстрый рост в высоту (образец № 1 и 2 ССК, а также мачтовая форма). В условиях засоления рекомендуется отдавать предпочтение образцам № 14 и ССК № 5, но их темпы роста будут менее интенсивными с учетом адаптации.

Образец ССК № 2 с уровнем солеустойчивости 2,8 баллов отличается высокой степенью приживаемости (96, 8 %), хорошими приростами (2,4 см) и показателями высоты в 31,2 см, представляя собой оптимальное решение для дальнейших исследований.

Таблица 3

Степень связи параметров роста и развития робинии в условиях хлоридного засоления

Параметр 1	Параметр 2	Коэффициент корреляции, R	Уровень значимости, P	Степень связи
Высота	Солеустойчивость	0,72	P < 0,05	Положительная (умеренная)
Высота	Сохранность	0,85	P < 0,01	Положительная (сильная)
Солеустойчивость	Прирост в высоту	–0,65	P < 0,05	Отрицательная (умеренная)
Прирост в высоту	Сохранность	0,78	P < 0,01	Положительная (сильная)
Высота	Прирост в высоту	0,91	P < 0,001	Положительная (очень сильная)
Состояние	Солеустойчивость	–0,58	P < 0,1	Отрицательная (умеренная)

**Примечание: R > 0,7 – сильная связь; 0,5 < R < 0,7 – умеренная связь; R < 0,5 – слабая связь.*

Обсуждение. Поскольку опытные образцы робинии представляют собой потомство маточных деревьев, это позволяет выделить среди них экземпляры, превосходящие контрольные образцы по ряду признаков. Это согласуется с результатами исследований С. Я. Краевого (Краевой, 1970). В качестве объективного показателя солеустойчивости древесных пород он предложил коэффициент редукции, представляющий собой частное от деления побега растения, выращенного на светло-каштановой почве, на длину побега растения, выращенного в условиях засоления. По его результатам робиния занимает среднюю группу солеустойчивости. В целом ряд испытываемых древесных образцов расположен в порядке убывания следующим образом: тамарикс – 0, вяз приземистый – 1,5, берест – 2,0, вяз обыкновенный – 2,2, яблоня лесная – 2,6, робиния псевдоакация – 3,1, дуб черешчатый – 3,1, ясень ланцетный – 4,5, клен ясенелистный – 5,3.

Исследованиями Е. В. Максимовой и Г. Р. Матухина (Максимова, Матухин, 1965; Матухин, 1963) также было установлено, что хлориды и сульфаты понижают интенсивность дыхания растений и вызывают полное расстройство всех окислительных систем в листьях в направлении уменьшения активности металлосодержащих ферментов, вызывая их опадение и побурение. Однако имеются данные противоположного характера. По данным Е. М. Ковальской (Ковальская, 1958), влияние засоления почвы на растения объясняется тем, что в большинстве случаев исследования проводятся без учета возрастных изменений.

В целом, адаптация и устойчивость видов и форм робинии подтверждается исследованиями, проведенными А. В. Третьяковой, П. А. Зыбинской, П. А. Крыловым (2026), С. В. Матвеевой, Т. С. Бабаковой и др. (2022, 2023 гг.).

Заключение. В ходе исследований солеустойчивости сеянцев робинии (в т. ч. мачтовой формы и образцов ССК) была установлена взаимосвязь между ростом, сохранностью и устойчивостью к солевому стрессу. Эксперимент с различными концентрациями NaCl (0,10 и 0,15 %) показал, что слабое засоление практически не оказало влияния на развитие сеянцев, тогда как повышение до 0,15 % вызвало отчетливую дифференциацию опытных растений по степени солеустойчивости.

Наибольшую устойчивость к солевому стрессу проявили сеянцы мачтовой формы, а также образцы № 15, № 8 и ССК № 1. Эти растения сохранили высокую сохранность (72,5-85,6 %), продемонстрировали лишь незначительное снижение высоты относительно контроля и получили низкие баллы повреждения (1,4-2,5), что соответствует высокой степени солеустойчивости. Напротив, образцы ССК № 5 и № 14 показали низкую солеустойчивость (4,1-4,3 балла), которая сопровождалась резким падением сохранности (до 59,1 %) и сильным угнетением роста при засолении. Статистический анализ подтвердил наличие значимых корреляций – высокую положительную связь между высотой и сохранностью растений ($R = 0,85$, $P \leq 0,01$), а также высотой и приростом ($R = 0,91$, $P \leq 0,001$).

В целом, опытные растения робинии показали достаточную солеустойчивость и могут быть рекомендованы для защитного лесоразведения и озеленения в регионах с умеренным хлоридным засолением. При этом высота сеянца служит интегральным показателем общего состояния растения, но не всегда прямо отражает его солеустойчивость, баланс между ростом и адаптацией растения зависит от его генотипа и условий среды.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Бабакова Т. С., Фефелова Н. П., Какоткина М. С., Матвеева С. В., Васильева А. А., Попова А. С., Зайцев В. Г. Скрининг проростков *Robinia pseudoacacia* L. на устойчивость к солевому стрессу для последующего выявления устойчивых генотипов молекулярно-генетическими методами. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023; 4(72): 192-202. DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-04-20 [Babakova T. S., Fefelova N. P., Kakotkina M. S., Matveeva S. V., Vasilyeva A. A., Popova A. S., Zaitsev V. G. Screening of Robinia pseudoacacia L. seedlings. for resistance to salt stress for the subsequent identification of resistant genotypes by molecular genetic methods. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2023; 4(72): 192-202. DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-04-20].

Калмыкова Е. В., Петров Н. Ю., Кузьмин П. А., Крылов П. А., Мельник К. А. Сравнительный анализ изменчивости морфометрических параметров видов и форм рода *Robinia*. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024; 6(78):71-78. DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-06-07 [Kalmykova E. V., Petrov N. Yu., Kuzmin P. A., Krylov P. A., Melnik K. A. Comparative Analysis of the Variability of Morphometric Parameters of Species and Forms of the Robinia Genus. *Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2024; 6(78):71-78. DOI: https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-06-07].

Ковальская Е. М. Изменение солеустойчивости растений в онтогенезе. *Физиология растений*. 1958; 5 (5):434-443. [Koval'skaya E.M. Changes in plant salt tolerance during ontogenesis. *Plant Physiology*. 1958; 5 (5):434-443].

Краевой С. Я. Эколого-физиологические основы защитного лесоразведения в полупустыне. Москва: Наука, 1970. 240 с. [Krayevoy S. Ya. Ecological and physiological foundations of protective afforestation in the semi-desert. Moscow: Nauka, 1970. 240 p].

Крючков С. Н., Солонкин А. В., Соломенцева А. С., Егоров С. А. Селекция и репродукция перспективных интродуцентов для степного лесоразведения. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 2025. 148 с. [Kryuchkov S. N., Solonkin A. V., Solomentseva A. S., Egorov S. A. Selection and reproduction of promising introductions for steppe afforestation. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences.2025. 148 pp.].

Крючков С. Н., Солонкин А. В., Соломенцева А. С., Егоров С. А., Романенко А. К., Горбушова Д. А. Подбор селекционно-значимых признаков древесных видов для агролесомелиорации и защитного лесоразведения. *Научно-агрономический журнал*. 2024; 2(125):6-15. DOI: https://doi.org/10.34736/FNC.2024.125.2.001.06-15. [Kryuchkov S. N., Solonkin A. V., Solomentseva A. S., Egorov S. A., Romanenko A. K., Gorbushova D. A. Selection of Breeding-Significant Traits of Wood Species for Agro-Forestry and Protective Afforestation. *Scientific and Agronomic Journal*. 2024; 2(125):6-15. DOI: https://doi.org/ 10.34736/FNC.2024.125.2.001.06-15.].

Лазарев С. Е. Механизмы адаптации и жизненные стратегии видов рода *Robinia* L. в условиях интродукции. *Наука. Мысль: электронный периодический журнал*. 2020; 10, 1: 48-67. DOI: https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.1.3. [Lazarev S. E. Adaptation mechanisms and life strategies of species of the genus *Robinia* L. under conditions of introduction. *Nauka. Mysl: electronic periodical journal*. 2020; 10, 1: 48-67. DOI: https://doi.org/ 10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.1.3].

Максимова Е. В., Матухин Г. Р. Влияние засоления почвы на интенсивность дыхания и активность терминальных оксидаз листьев. *Физиология растений*. 1965; 12 (3):540-542. [Maksimova E. V., Matushin G. R. Influence of soil salinity on the intensity of respiration and the activity of terminal oxidases in leaves. *Plant Physiology*. 1965; 12 (3):540-542].

Матвеева С. В., Бабакова Т. С., Какоткина М. С., Фефелова Н. П., Васильева А. А., Зайцев В. Г. Эффекты солевого стресса на прорастание семян и ранние этапы развития проростков робинии лжеакации. *Научно-агрономический журнал*. 2022; 4(119):101-107. DOI: https://doi.org/10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107 [Matveeva S. V., Babakova T. S., Kakotkina M. S., Fefelova N. P., Vasilyeva A. A., Zaitsev V. G. Effects of salt stress on seed germination and early stages of development of Robinia pseudoacacia seedlings. *Scientific and Agronomic Journal*. 2022; 4(119):101-107. DOI: https://doi.org/10.34736/FNC.2022.119.4.015.101-107].

Матухин Г. Р. Физиология приспособления культурных растений к засолению почвы. Ростов-на-Дону: *Изд-во РГУ*, 1963. 218 с. [Matushin, G. R. Physiology of Cultivated Plants' Adaptation to Soil Salinity. Rostov-on-Don: *RSU Publishing House*, 1963. 218 p].

Третьякова А. В., Зыбинская П. А., Крылов П. А. Оценка транскрипционной активности генов DREB2 и rbcL у *Robinia pseudoacacia* L. в условиях моделируемой почвенной засухи. *Аграрный научный журнал.* 2026; 1: 41-46. DOI: https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp41-46 [Tretyakova A. V., Zybinskaya P. A., Krylov P. A. Evaluation of the transcriptional activity of the DREB2 and rbcL genes in Robinia pseudoacacia L. under conditions of simulated soil drought. *Agrarian Scientific Journal*. 2026. 2026; 1: 41-46. DOI: https://doi.org/ 10.28983/asj.y2026i1pp41-46].

Третьякова А. В.,Зыбинская П. А., Крылов П. А. Динамика спектральных вегетационных индексов *Robinia pseudoacacia* L. на разных фенологических фазах в засушливых условиях. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* 2026; 1(85):225-233. DOI: https://doi.org/ 10.32786/2071-9485-2026-01-23 [Tretyakova A. V., Zybinskaya P. A., Krylov P. A. Dynamics of Spectral Vegetation Indices of Robinia pseudoacacia L. at Different Phenological Phases in Arid Conditions. *Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2026; 1(85):225-233. DOI: https://doi.org/ 10.32786/2071-9485-2026-01-23].

Isah T. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*. 2019; 52 (1):39.

Пятницкий С. С. Практикум по лесной селекции. Москва, 1961. 271 с. [Pyatnitsky S. S. Practical course in forest selection. Moscow, 1961. 271 p.].

Информация об авторах

Крючков Сергей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: kryuchkovs@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-8338-6460.

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий селекционно-семеноводческим центром древесных и кустарниковых пород Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: solonkina@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1576-7824.

Третьякова Анна Вадимовна, младший научный сотрудник лаборатории геномных и постгеномных технологий Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: tretaykova@vfanc.ru, ORCID: 0009-0001-4478-4711.

Соломенцева Александра Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: alexis2425@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5857-1004.

Егоров Сергей Анатольевич, младший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: romanenko-ak@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-8234-7355.

Романенко Алмагуль Кадыргалиевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций

и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: romanenko-ak@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-6705-6135.

Горбушова Дарья Алексеевна, лаборант-исследователь лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: gorbushova-d@vfanc.ru, ORCID: 0009-0006-4978-4143.

Information about the authors

Kryuchkov Sergey Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery Breeding of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (400062, Volgograd region, Volgograd, Prospekt Universitetskiy, 97), e-mail: kryuchkovs@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-8338-6460.

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Breeding and Seed Breeding Center for Tree and Shrub Species of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", (400062, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 97), e-mail: solonkin-a@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1576-7824.

Tretyakova Anna Vadimovna, junior researcher of the Laboratory of Genomic and Post-genomic Technologies, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (97 Universitetskiy Avenue, Volgograd, 400062, Volgograd Region), e-mail: tretaykova@vfanc.ru, ORCID: 0009-0001-4478-4711.

Solomentseva Alexandra Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery Breeding of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences», (97 Universitetskiy Avenue, 400062, Volgograd), e-mail: alexis2425@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5857-1004.

Sergey Anatol'evich Egorov, Junior Researcher at the Laboratory of Seeds, Seed Production and Nursery Breeding of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (97 Universitetskiy Avenue, Volgograd, 400062, Volgograd Region), e-mail: egorov-sa@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-8234-7355.

Almagul Kadyrgalievna Romanenko, Junior Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (400062, Volgograd region, Volgograd, Prospekt Universitetskiy, 97), e-mail: romanenko-ak@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-6705-6135.

Darya Alekseevna Gorbushova, Laboratory Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery Breeding of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (400062, Volgograd region, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 97), e-mail: gorbushova-d@vfanc.ru, ORCID: 0009-0006-4978-4143.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 631.53 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.011.129-137

Технологическое решение получения доброкачественных и жизнеспособных семян *Gleditsia triacanthos*

Калмыкова Е. В.; Мельник К. А.✉
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. Биологические особенности семян играют важную роль для репродуктивной способности древесных растений, так как водопроницаемость, рост и развитие зародыша, степень повреждения вредителями и болезнями, а также твердость внешнего покрова влияют на их доброкачественность и жизнеспособность. Важными характеристиками жизнеспособности посадочного материала *Gleditsia* являются: степень повреждения вредителями семенного материала, условия хранения и предпосевная обработка семян, прохождение всех этапов онтогенеза проростка, уходные работы за насаждениями. Цель исследования – получение доброкачественных и жизнеспособных семян при увеличении срока хранения семян без риска заражения вредителями для повышения всхожести семян и энергии произрастания гипокотиля, а также для улучшения развития органогенеза семян древесных растений с твердой оболочкой. Исследования проводились в 2022-2023 гг. Использовался тепловой метод с помощью сушильного шкафа (ШС-10-02 СПУ) в течение 3 часов при трех температурных режимах: 50°С, 60, 70°С с последующим хранением. Было зафиксировано, что в одном плоде среднее количество семян – 18 ± 6,0 штук. С помощью рентгеновского контроля ПРДУ были обнаружены личинки *Megabruchidius dorsalis* в семенах *Gleditsia triacanthos*. Общая численность зараженных семян могла достигать до 42,8 %, а минимальное значение – не превышает 5 %. Максимальная масса 10 целых семян 2,02 ± 2,1 г, а максимальная масса 10 зараженных семян – 1,5 ± 2,6 г. Было выявлено, что при уничтожении личинок вредителя на II стадии развития 98 % ранее зараженных семян сохраняют жизнеспособность. После обработки в сушильном шкафу в течение 3 часов при температуре 50 °С зафиксировано повышение всхожести семян до 99 % и энергии прорастания гипокотиля до 96 %, а также ускоренное развития гипокотилидонного стебля в фазах онтогенеза семян *Gleditsia triacanthos*. Этапы развития онтогенеза проростка прошли все изучаемые образцы. В результате исследования получено технологическое решение, которое способствует обеспечению повышения срока хранения семян без риска заражения вредителями, увеличению процента всхожести семян и энергии произрастания гипокотиля, а также улучшению развития органогенеза семян древесных растений с твердой оболочкой.

Ключевые слова. *Gleditsia triacanthos*; размножение; жизнеспособность; доброкачественность семян; всхожесть.

Финансирование. Исследования проведены в рамках выполнения ГЗ № FNFE-2025-0011 «Научные основы комплексного исследования биоразнообразия и оценка ресурсного потенциала, совершенствования и развития методов мониторинга, сохранения, восстановления и отбора хозяйственно ценных древесных и кустарниковых растений в условиях комбинированного действия антропогенных и природных факторов для внедрения в лесомелиоративные комплексы аридных территорий».

Цитирование. Калмыкова Е. В., Мельник К. А. Технологическое решение получения доброкачественных и жизнеспособных семян *Gleditsia triacanthos* // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):129-137. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.011.129-137.

Поступила в редакцию: 19.06.2026 Принята к печати: 04.09.2026

✉ – Для контактов/Corresponding author

UDC 631.53 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.011.129-137

Technological solution for obtaining high-quality and viable seeds of *Gleditsia triacanthos*

Kalmykova E. V., Melnik K. A.✉
Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", Volgograd, Russia

Abstract. The biological characteristics of seeds play an important role in the reproductive capacity of woody plants because water permeability, embryo growth and development, damage caused by pests and diseases, and seed coat hardness affect seed quality and viability. Factors influencing the viability of *Gleditsia triacanthos* planting material include the extent of pest infestation, seed storage conditions, pre-sowing treatment, successful completion of all stages of seedling ontogeny, and stand tending practices. The aim of the study was to develop a method for obtaining high-quality, viable seeds that would extend their storage life without the risk of pest infestation, increase seed germination and germination energy, and promote the early development of seedlings produced from hard-coated seeds of woody plants. The study was conducted in 2022-2023. Seeds were heat-treated in an ShS-10-02 SPU drying oven for 3 h at three temperatures – 50, 60, and 70 °C – and subsequently placed in storage. One fruit contained an average of 18 ± 6.0 seeds. X-ray screening using a PRDU unit revealed larvae of *Megabruchidius dorsalis* in *G. triacanthos* seeds. The proportion of infested seeds reached 42.8 %, while the lowest recorded value did not exceed 5 %. The maximum mass of 10 intact seeds was 2.02 ± 2.1 g, whereas that of 10 infested seeds was 1.5 ± 2.6 g. When second-instar pest larvae were killed, 98 % of the previously infested seeds remained viable. Following heat treatment at 50 °C for 3 h, seed germination increased to 99 % and germination energy to 96 %. Accelerated hypocotyl development was also observed during the ontogeny of *G. triacanthos* seedlings. Seedlings from all treatments completed the observed stages of ontogenetic development. The findings support the use of heat treatment at 50 °C for 3 h as a technological approach that may extend the safe storage period of hard-coated woody plant seeds, increase germination and germination energy, and promote early seedling development.

Keywords. *Gleditsia triacanthos;* propagation; viability; seed quality; germination.

Funding. The research was carried out within the framework of the implementation of the State Program No.FNFE-2025-0011 "Scientific foundations of a comprehensive study of biodiversity and assessment of resource potential, improvement and development of methods for monitoring, conservation, restoration and selection of economically valuable woody and shrubby plants under the combined action of anthropogenic and natural factors for introduction into forest reclamation complexes of arid territories".

For citation. Kalmykova E. V., Melnik K. A. Technological solution for obtaining good-quality and viable seeds of Gleditsia triacanthos // Scientific Agronomy Journal. 2026;3(134):129-137. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.011.129-137.

Received: 19.06.2026 Accepted: 04.09.2026

Введение. Жизнеспособность посадочного материала зависит от биологических особенностей семян (Бобушкина и др.,2020; Рязанцева, Цепляев, 2023). Важными критериями являются водопроницаемость, рост и развитие зародыша, степень повреждения вредителями и болезнями, а также твердость внешнего покрова (Хужахметова и др., 2023; Khuzhakhmetova, Melnik, 2023).

Твердые семена свойственны ряду семейств, но наиболее типичны они для семейства бобовых, чем и обусловлен интерес специалистов разных отраслей сельского и лесного хозяйства к этому явлению. Структурный механизм водонепроницаемости семенной кожуры обос-

✉ – Для контактов/Corresponding author

новывает концепцию твердосемянности как особого типа покоя семян. Специфическими ее чертами являются: полный покой, блокирование первой фазы прорастания (набухания), отсутствие физиологических механизмов регулирования покоя, структурный механизм покоя, строго запрограммированный, но регулируемый факторами внешней среды (Попцов, 1976).

У семян древесных растений с твердой оболочкой, например, рода *Gleditsia* и *Robinia*, необходимо нарушить физиологический покой для получения успешного прорастания, так как семенная оболочка таких растений состоит из плотных наружных покровных тканей, которые ограничивают поступление к зародышу воды и воздуха и задерживают начало прорастания. До нарушения физического покоя, семена необходимо обезопасить от вредителей и болезней, чтобы они сохранили свою пригодность. Многие вредители попадают внутрь семени уже на стадии цветения или завязи плодов, а болезни развиваются во влажной среде (Патент № 2842025 C2 Российская Федерация, МПК A01C 1/06).

Древесный комплекс *Gleditsia* L. хорошо переносит летние температуры воздуха до 44 °С, что очень важно для обогащения дендрофлоры в засушливых регионах (Дудина, Околелова, 2023). Способность давать самосев указывает на возможность успешного выращивания культур *Gleditsia* L. на малопродуктивных землях. Семенная продуктивность у видов различного географического происхождения незначительно отличается, однако наибольшее распространение среди всех видов получил *Gleditsia triacanthos* L. благодаря толерантности к промышленным и транспортным выбросам, а также самой высокой устойчивости к высокой температуре и засухе среди всех видов (Балакина и др., 2021а).

Посевной материал *G. triacanthos*, где семена древесных растений имеют твердую оболочку, нуждается в предпосевной обработке для повышения процента всхожести, так как семенная оболочка покрыта плотной наружной кожурой (Балакина и др., 2021 б). Перед предпосевной обработкой семенам необходимо сохранить жизнеспособность и доброкачественность, а также быть устойчивыми к вредителям и болезням при хранении (Калмыкова и др., 2023). Стандартной температурой хранения семян принято считать 7 ± 1°С, что приводит к повышению их дальнейшей жизнеспособности (Федоров, 2022).

Для уменьшения процента появления фитофаг рекомендуют проводить опрыскивание инсектицидами во время фаз: бутонизации и цветения, однако данный способ обработки несет большие денежные затраты. Стратификация семян предотвращает рост и развитие личинок, но жизненный цикл вредителей продолжается, когда температура становится выше +5°С около 4 суток (Федоров, 2022). Фитофаги способны прогрызть твердую оболочку семени изнутри, повреждая при этом эндосперм из-за нехватки корма, а семена становятся пустыми (Белицкая, Грибуст, 2022; Никулина, Мартынов, 2022).

Таким образом, обоснованное технологическое решение для получения доброкачественных и жизнеспособных семян *Gleditsia triacanthos* с долгим сроком хранения и последующего обогащения дендрофлоры позволяет раскрыть биоэкологический потенциал древесного растения и делает это решение уникальным и востребованным в рамках экологической повестки.

Впервые комплексно оценена синергия факторов хранения (температура, влажность) и предпосевной обработки (термическая и химическая) на сохранение жизнеспособности семян древесных растений с твердой оболочкой, что позволило увеличить срок хранения без риска заражения вредителями и повысить всхожесть до 99 %.

Цель исследования – получение доброкачественных и жизнеспособных семян при увеличении их срока хранения без риска заражения вредителями для повышения их всхожести и энергии произрастания гипокотиля, а также для улучшения развития органогенеза семян древесных растений с твердой оболочкой.

Материалы и методы. Для исследования использовались семена *G. triacanthos* 2022 года сбора на территории ФНЦ агроэкологии РАН, г. Волгоград. Опыт проводился в 2022-2023 гг. Все семена (100 штук в трехкратной повторности) для исследования вручную вынимали из плодов во избежание случайной скарификации.

Доброкачественность семян определялась с помощью рентгеновского прибора ПРДУ, который позволил выбраковать семена с предельно высоким уровнем скрытой зараженности. В каждом плоде проводился подсчет целых и поврежденных семян, их масса и зараженность личинками *Megabruchidius dorsalis* Fahreus.

При закладке на хранение семенной материал подвергался тепловой обработке в сушильном шкафу ШС-10-02 СПУ (Россия) (табл. 1) в течение 3 часов при трех температурных

режимах: 50, 60 70 °С с последующим хранением при комнатной температуре. Данный этап позволяет гарантировать длительное хранение семян с последующим получением жизнеспособного посадочного материала.

Таблица 1

Характеристика сушильного шкафа ШС-10-02 СПУ

Параметр	Значение
Объем, л	10
Рабочий диапазон температур, °С	+50/+200
Время нагрева незагруженного шкафа от температуры окружающей среды до температуры 200 °С, мин, не более	20
Диапазон времени выдержки, мин	1-999
Отклонения температуры от заданной по объему рабочей камеры шкафа, °С	±3
Предельное отклонение времени выдержки, мин	+5
Принудительная конвекция	Есть
Возможность программирования температуры и времени выдержки	Есть
Функция отложенного запуска	Есть
Размеры рабочей камеры, мм, не менее: ширина × глубина × высота	208×225×280
Габаритные размеры, мм, не более: ширина х глубина х высота	448×455×406
Потребляемая мощность, кВт, не более	0,9
Напряжение/частота питающей сети, В/Гц	220 ± 10 %/50
Масса, кг, не более	18,5

Предпосевная химическая обработка семян *G. triacanthos* проводилась с целью преодоления их физиологического покоя и стимуляции начального этапа прорастания – набухания. Для этого семена выдерживали в растворе серной кислоты (H_2SO_4, концентрация – 95,72 %) в течение 120 минут. Затем их промывали водой и инкубировали в течение 10 часов для обеспечения набухания.

Проводилось системное наблюдение и фиксация изменений на всех этапов развития растения изучаемого вида от семени до сеянцев. Полученные экспериментальные данные по исследованию были обработаны в программе Statistica 12.0 (StatSoft, США).

Результаты. При морфометрическом анализе было выявлено, что в одном плоде максимальное количество семян составляет 23,0 ± 6,6 штуки, а минимальное количество – 14,0 ± 5,3 штук.

С помощью рентгеновского контроля ПРДУ были обнаружены личинки *M. dorsalis* в семенах *G. triacanthos*. Количество целых семян составляет 18,5 (sd = 6,0), тогда как поврежденных семян значительно меньше – в среднем 4,2 (sd = 2,8). В общем численность зараженных семян в среднем достигает около 18 %. Различия между группами при оценке массы сохраняются: средняя масса 10 штук целых семян превышает на 0,37 ± 2,30 г массу 10 штук зараженных семян. Полученные данные свидетельствуют о том, что повреждение семян связано заметным уменьшением массы, может указывать на снижение репродуктивности семенного материала (рис. 1).

Личинки вредителя могут развиваться внутри семени до четвертой стадии, разрушая полностью эндосперм, тем самым материал становится уже не жизнеспособным. Взрослая особь *M. dorsalis* выходит наружу, когда ей не хватает питания и в итоге может вредить остальным незараженным семенам (рис. 2).

После тепловой обработки в сушильном шкафу (ШС-10-02 СПУ) было выявлено, что у зараженного семенного материала процесс развития у личинки *M. dorsalis* приостанавливается и вредитель погибает внутри семени.

Уничтожение личинки вредителя в сушильном шкафу более эффективно в течение трех часов при температуре 50 °С. Действие тепловой обработки на личинок II стадии развития вредителя позволяет сохранить жизнеспособность до 98 % зараженных семян при закладке на хранение.

Оптимальная температура хранения семян составляет около 24 °С, где относительная влажность воздуха находится в пределах от 45 до 60 % при поддержании влажности семян в процентах к абсолютной массе 10-11 %. Именно при выполнении таких рекомендаций после применения тепловой обработки срок хранения семян увеличивается.

В рамках предпосевной подготовки семян для снижения водонепроницаемости их кожуры применяли обработку концентрированной серной кислотой (95,72 %). Такой подход позволял преодолеть физиологический покой семян и стимулировать их жизнедеятельность. В результате использования данного метода отмечалось увеличение всхожести семян, а также повышение энер-

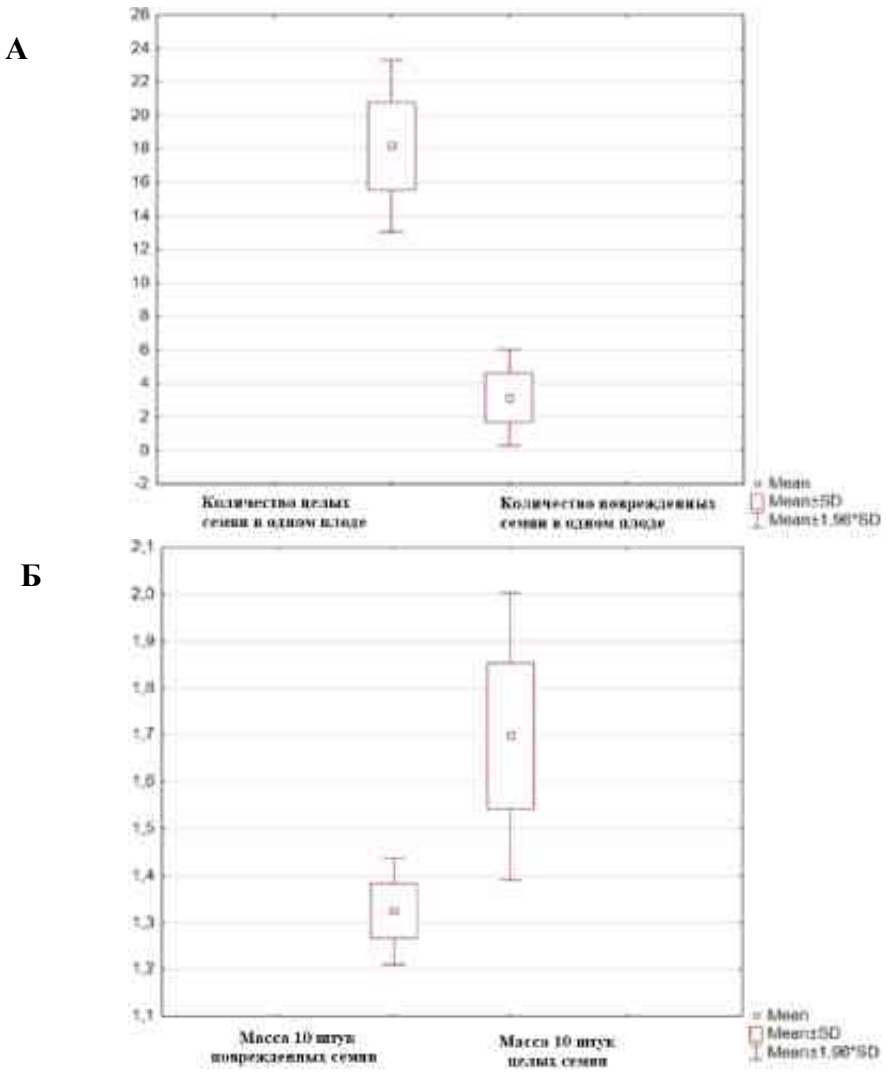

Рис. 1. Характеристика семян *G. triacanthos* (А – количество общих и поврежденных семян; Б – масса 10 штук целых и поврежденных семян)

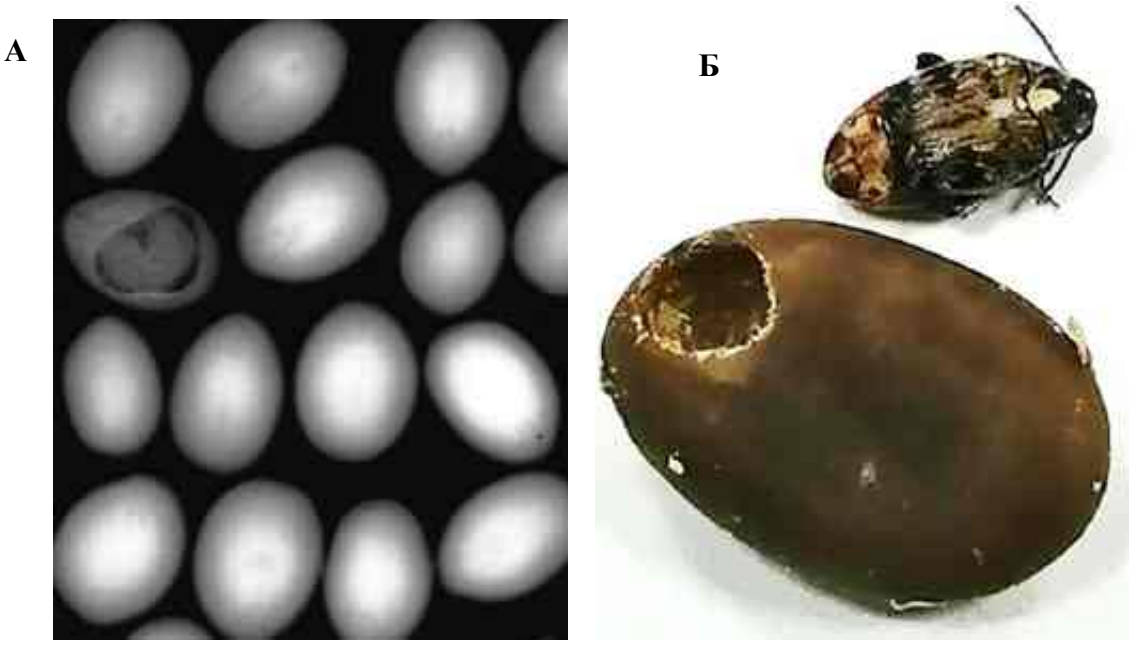

Рис. 2. Зараженность семян *G. triacanthos* вредителем *M. dorsalis* (А – четвертая стадия формирования личинки в семени; Б – выход из семени взрослой особи)

гии их прорастания. Зафиксировано ускоренное развития гипокотилидонного стебля в фазах онтогенеза семян *G. triacanthos* после обработки в сушильном шкафу в течение 3 часов при температуре 50 °С. На данном варианте наблюдалось повышение всхожести семян до 99 % и энергии прорастания гипокотиля до 96 %.

Таблица 2

Обработка серной кислотой семян *Gleditsia triacanthos* в течение 2 часов

Способ обработки для хранения	Обработка концентрированной серной кислотой, %	Всхожесть, %	Энергия произрастания, %
Сушильный шкаф (3 часа, 50 °С)	95,72	98,20 ± 12,40	95,92 ± 12,1
Сушильный шкаф (3 часа, 60 °С)	95,72	84,39 ± 10,35	77,95 ± 11,3
Сушильный шкаф (3 часа, 70 °С)	95,72	71,58 ± 9,60	60,90 ± 10,5

Формирование полноценного проростка заняло две недели (табл. 3). Этапы развития от семян до сеянцев прошли все изучаемые образцы (рис. 3).

Таблица 3

Развитие сеянцев *Gleditsia triacanthos*

Период после посева, сут	Появление семядоли, %	Раскрытые семядоли, %	Появление двух настоящих листа, %	Появление четырех настоящих листа, %	Сформировавшийся росток, %
4	9,81				
5	17,69				
6	39,33	10,28			
7	14,09	14,02	10,75		
8	10,75	13,08	9,35	9,81	
9	0,93	5,61	9,81	2,80	1,20
10	7,40	35,42	27,10	24,77	5,31
11	0	7,40	35,42	27,10	30,08
12	0	0	7,40	35,42	57,18
13	0	0	0	7,40	92,60
14	0	0	0	0	100,00

Тепловая обработка в сушильном шкафу позволила обеспечить получение доброкачественных и жизнеспособных семян с увеличенным сроком хранения без риска заражения вредителями, а также способствовала увеличению высокого процента их всхожести и энергии произрастания гипокотиля. Вариант способа обработки для хранения семян, а именно в сушильном шкафу в течение 3 часов при температуре 50 °С имеет на 10 % выше всхожесть, чем другие варианты (рис. 4).

Рис. 3. Онтогенез семян *Gleditsia triacanthos*

В ходе исследования разработано технологическое решение, позволяющее эффективно сохранять семена древесных растений с твердой оболочкой: оно минимизирует риск заражения вредителями, повышает всхожесть и энергию прорастания гипокотиля, а также оптимизирует процессы органогенеза. Комплекс мер включает следующие этапы:

- оценка качества семян с применением рентгеновского прибора ПРДУ – это позволяет выявить и отбраковать экземпляры с высоким уровнем скрытой зараженности;

- термическая обработка в сушильном шкафу для ликвидации личинок вредителей – продолжительность воздействия составляет 3 часа при температуре 50 °С, параметры подбираются с учетом влажности и массы исходного материала;

Рис. 4. Сеянцы *G. triacanthos* при различных вариантах обработки в сушильном шкафу

- контроль стадии развития вредителя: уничтожение личинок до II стадии позволяет сохранить жизнеспособность семян;

- организация хранения семян в оптимальных условиях: температура 21-24 °С, относительная влажность воздуха 45-60 %, при этом влажность самих семян (в процентах к абсолютной массе) должна поддерживаться на уровне 10-11 % как при закладке, так и в процессе хранения;

- предпосевная обработка семян концентрированной серной кислотой (95,72 %) для преодоления физиологического покоя и стимуляции их жизнедеятельности – такой подход обеспечивает всхожесть до 99 %, энергию прорастания гипокотиля до 96 %, а также способствует полноценному развитию органогенеза (формирование развитого ростка наблюдается на 14-е сутки после посева) (Патент № 2842025 С2 Российская Федерация, МПК A01C 1/06).

Обсуждение: Гаранович в своих исследованиях говорит, что для растений в урбанизированных условиях характерна пластичность и адаптация, так как наблюдается внутривидовая дифференциация и перестройка популяционной структуры. Данный процесс может привести к снижению обилия вида и в конечном итоге его полному выпадению из растительного покрова (Гаранович, 2024). Поэтому необходимо сохранять качественный семенной материал для обогащения дендрофлоры. Культивирование растений с помощью доброкачественных семян позволит раскрыть биоэкологический потенциал древесного растения.

Никулина и Мартынов отмечают, что в настоящее время *M. dorsalis* имеет широкий ареал распространия, охватывающий большую часть Евразии. Сформировалась европейская популяция вредителя благодаря заносу из Юго-Восточной Азии и саморасселению. *M. dorsalis* наносит большой вред родовому комплексу *Gleditsia* (Никулина, Мартынов, 2022), поэтому необходимо найти технологическое решение получения доброкачественных и жизнеспособных семян для сохранения ценного вида**.**

Заключение. Можно сделать вывод, что тепловая обработка в сушильном шкафу в течение 3 часов при температуре 50 °С перед посевом позволит сохранить семенной генофонд родового комплекса *Gleditsia*, а также уменьшить риски повреждения вредителями посадочного материала. Благодаря сохранению доброкачественности семян с твердой оболочкой повышается их продуктивность для лесомелиорации и озеленения аридной зоны степных засушливых районов юга России.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Балакина А. А., Нефедьева Е. Э., Ларикова Ю. С. Исследование строения и состава семенной оболочки гледичии и некоторых изменений в ее структуре при набухании. *Аграрный вестник Урала*. 2021;3(206):46-52. doi: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-206-03-46-52. [Balakina A. A., Nefedieva E. E., Larikova Yu. S. The research of the structure and content of the seed coat of Gleditsia and some changes in its structure during the swelling. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2021;3(206):46-52. doi: https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-206-03-46-52].

Балакина А. А., Нефедьева Е. Э., Тутарашвили К. Г., Храмова Я. И. Особенности изменений в строении оболочки семенной кожуры *Gleditsia triacanthos* L. при прорастании. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2021;4(36):24-33. doi https://doi.org/10.21685/2307-9150-2021-4-3. [Balakina A. A., Nefed'eva E. E., Tutarashvili K. G., Khramova Ya. I. The features of structure changes in the shell of the *Gleditsia triacanthos* seed cover during germination. *University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;4(36):24-33. doi https://doi.org/10.21685/2307-9150-2021-4-3].

Белицкая М. Н., Грибуст И. Р. Сообщества дендрофильных насекомых в насаждениях засушливой зоны Нижнего Поволжья. Современная биология и биотехнология: проблемы, тенденции, перспективы: сб. материалов Всерос. конф., Волгоград, 23-25 нояб. 2021 г. Волгоград: ВолГУ, 2022. С. 137-141. [Belitskaya M. N., Gribust I. R. Communities of dendrophilous insects in plantations of the arid zone of the Lower Volga region. Modern biology and biotechnology: problems, trends, prospects: proc. of the All-Russian conf., Volgograd, November 23-25, 2021. Volgograd: VolSU, 2022. P. 137-141].

Бобушкина С. В., Сеньков А. О., Файзулин Д. Х. Практика выращивания лесного посадочного материала с закрытой корневой системой применительно к тепличным комплексам Архангельской области. *Вопросы лесной науки*. 2020;3(4):1-16. doi https://doi.org/10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-16. [Bobushkina S. V., Senkov A. O., Faizulin D. Kh. Practice of growing forest planting material with a closed root system applied to greenhouse complexes of the Arkhangelsk region. *Forest Science Issues*. 2020;3(4):1-16. doi https://doi.org/10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-16].

Гаранович И. Древесные растения в антропогенном ландшафте. *Наука и инновации*. 2024;7(257):61-67. [Garanovich I. Woody plants in the anthropogenic landscape. *Science and Innovations*. 2024;7(257):61-67].

Дудина А. А., Околелова А. А. Исследование морфологических и биометрических характеристик семян *Gleditsia triacanthos* для улучшения их посевных качеств. *Научно-агрономический журнал.* 2023;2(121):22-27. doi https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.004.22-27. [Dudina A. A., Okolelova A. A. Gleditsia Triacantos Seeds Morphological and Biometric Characteristics Investigation to Improve Their Sowing Qualities. *Scientific Agronomy Journal*. 2023;2(121):22-27. doi https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.004.22-27].

Никулина Т. В., Мартынов В. В. Современное распространение и особенности биологии жука-зерновки Megabruchidius dorsalis (Fåhraeus, 1839) (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) в Восточном Причерноморье. *Зоологический журнал.* 2022;101(4):424-438. doi: https://doi.org/10.31857/S0044513422040080. [Nikulina T. V., Martynov V. V. The modern distribution and biological peculiarities of the bean beetle, Megabruchidius dorsalis (Fåhraeus, 1839) (*Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae*) in the Eastern Black Sea region. *Zoological Journal.* 2022;101(4):424-438. doi: https://doi.org/10.31857/S0044513422040080].

Патент № 2842025 C2 Российская Федерация, МПК A01C 1/06. Способ сохранения жизнеспособности семян древесных растений с твердой оболочкой: заявл. 18.12.2023: опубл. 19.06.2025 / Е. В. Калмыкова, А. И. Беляев, А. М. Пугачева [и др.]; заявитель ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН». [Patent No. 2842025 C2 Russian Federation, IPC A01C 1/06. Method for preserving viability of seeds of woody plants with a hard shell: filed 18.12.2023: published 19.06.2025 / E. V. Kalmykova, A. I. Belyaev, A. M. Pugacheva [et al.]; applicant FSBSE "Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of RAS"].

Попцов А. В. Биология твердосемянности. М.: Наука, 1976. 157. [Poptsov A. V. Biology of hard seededness. Moscow: Nauka, 1976. 157].

Рязанцева О. С., Цепляев А. Н. Оценка качества семян древесных растений в рамках комплексного анализа результатов интродукции. *Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН*. 2023;19:49-51. [Ryazantseva O. S., Tseplyaev A. N. Assessment of the quality of woody plant seeds within the framework of a comprehensive analysis of introduction results. *Scientific Works of the Cheboksary Branch of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of RAS*. 2023;19:49-51].

Федоров А. Я. Теоретические основы и способы хранения семян растений в условиях Республики Саха. Вестник АГАТУ. 2022;1(5):9-52. [Fedorov A. Ya. Theoretical foundations and methods for storing plant seeds under conditions of the Republic of Sakha. Bulletin of AGATU. 2022;1(5):9-52.]

Хужахметова А. Ш., Мельник К. А., Передриенко А. И. Особенности предпосевной обработки семян гледичии обыкновенной для ее питомниководства. Научно-агрономический журнал. 2023;2(121):41-45. doi: https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.007.41-45. [Khuzhakhmetova A. Sh., Melnik K. A., Peredrienko A. I. Features of Gledichia Vulgaris Seeds Pre-Sowing Treatment for Nursery. Scientific Agronomy Journal. 2023;2(121):41-45. doi: https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.007.41-45].

Khuzhakhmetova A. Sh., Melnik K. A. Evaluation of the impact of Gleditsia triacanthos seed treatment methods on reproduction. Research on Crops. 2023;24(2):352-356. doi https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-950.

Информация об авторах

Калмыкова Елена Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник-заведующая лабораторией биоэкологии древесных растений, ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук; 400062, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 97; e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru; ORCID: 0000-0001-8530-9995.

Мельник Кристина Андреевна, младший научный сотрудник лабораторией биоэкологии древесных растений, ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук; 400062, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, 97; e-mail: melnik-k@vfanc.ru; ORCID: 0000-0002-7103-6436.

Information about the authors

Kalmykova Elena Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief Researcher and Head of the Laboratory of Woody Plant Bioecology, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation; e-mail: kalmukovaev@vfanc.ru; ORCID: 0000-0001-8530-9995.

Melnik Kristina Andreevna, Junior Researcher, Laboratory of Woody Plant Bioecology, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation; E-mail: melnik-k@vfanc.ru in ORCID 0000-0002-7103-6436.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 635.925 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.012.138-145

Использование вишни сорта Лозновская в садово-парковом дизайне

Касьянова Г. В.[1, 2]✉; Никольская О. А.[1]; Куликова Н. А.[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград, Россия

Аннотация: При создании ландшафтного дизайна в качестве основного элемента выступает растительность, прежде всего это разнообразные древесные культуры. Среди древесных культур особое место занимают плодовые культуры, в т. ч. и сортовые. Применение плодовых культур для создания многофункционального ландшафтного дизайна является важным, но не стандартным критерием. Современный ландшафтный дизайн постоянно изменяется, развиваясь, однако в последние годы в связи с ростом городов и увеличением населения возникли новые потребности в разработке озеленения городских садов, которые будут успешно внедряться в различные проекты. Поэтому данная статья посвящена анализу преимуществ, технических аспектов и практических рекомендаций по использованию сортовых плодовых культур в городских парках, что является важным шагом на пути к созданию более устойчивых, экологичных и эстетичных зеленых зон в условиях современной урбанизации. В статье приведено описание вишни сорта Лозновская, в т. ч. приведено описание семенного подвоя в качестве контроля и клоновых подвоев, на которых она привита – Антипка, РВЛ-2, ВСЛ-2, ЛЦ-52. Рассмотрено влияние подвоев на силу роста, диаметр и форму кроны, степень плодоношения, продолжительность цветения и плодоношения, объемы собранного урожая за последние три года (2023-2025 гг.). Приведены фотографии цветущих деревьев вишни Лозновская. Для определения привлекательности использования данного сорта в ландшафтном дизайне, озеленении и в других целях, помимо урожайности, был проведен анализ декоративных качеств в зависимости от подвоя.

Ключевые слова. Вишня, декоративность, ландшафт, плодовые деревья, сад, сорт.

Финансирование. Исследования проведены в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН ГЗ: FNFE-2025-0009 «Создание новых генотипов, сортов, форм древесных, кустарниковых, культурных растений с высокоценными признаками продуктивности, качества, устойчивостью к био- и абиострессорам с использованием классических и современных методов селекции, новые инновационные технологии в питомниководстве и семеноводстве, для решения задач по предотвращению деградации и опустынивания агроландшафтов в условиях изменяющегося климата».

Цитирование. Касьянова Г. В., Никольская О. А., Куликова Н. А. Использование вишни сорта Лозновская в садово-парковом дизайне // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):138-145. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.012.138-145.

Поступила в редакцию:15.05.2026 Принята к печати:10.07.2026

UDC 635.925 DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.012.138-145

Using the Loznovskaya cherry cultivar in landscape and garden design

Kasyanova G. V.[1, 2]✉; Nikolskaya O. A.[1]; Kulikova N. A.[2]
[1]Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia
[2]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volgograd State Agrarian University

✉ – Для контактов/Corresponding author

Abstract. In landscape design, plants are the primary component, particularly woody species. Among them, fruit trees, including cultivated varieties (cultivars), occupy a special place. The use of fruit crops in multifunctional landscape design is an important but not yet widely standardized approach. Modern landscape design is continuously evolving; however, in recent years, rapid urbanization and population growth have created new demands for developing urban green spaces that can be effectively integrated into various design projects. This study focuses on the advantages, technical aspects, and practical recommendations for using fruit tree cultivars in urban parks, representing an important step toward creating more sustainable, environmentally friendly, and aesthetically valuable green areas under modern urban conditions. The article describes the Loznovskaya cherry cultivar, including the use of a seed-propagated rootstock as a control and several clonal rootstocks on which it is grafted: Antipka, RVL-2, VSL-2, and LTs-52. The influence of rootstocks on growth vigor, crown diameter and architecture, fruiting intensity, duration of flowering and fruiting, and fruit yield over the period 2023–2025 is analyzed. Photographs of flowering Loznovskaya cherry trees are presented. In addition to productivity, the ornamental value of the cultivar depending on the rootstock was assessed in order to evaluate its suitability for landscape design, urban greening, and other applications.

Keywords. Cherry; ornamental value; landscape design; fruit trees; garden; cultivar.

Funding. The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences: FNFE-2025-0009 "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with high-value signs of productivity, quality, resistance to bio- and abiostressors using classical and modern breeding methods, new innovative technologies in nursery and seed production, for addressing the challenges of preventing degradation and desertification of agricultural landscapes in a changing climate".

Citation. Kasyanova G. V., Nikolskaya O. A., Kulikova N. A. Using the Loznovskaya cherry cultivar in landscape and garden design // Scientific Agronomy Journal. 2026;3(134):138-145. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.012.138-145.

Received: 15.05.2026 Accepted: 10.07.2026

Введение. Плодоводство начало зарождаться с дикорастущих культур, постепенно перерастая в нечто большее и становясь отдельным направлением в жизнедеятельности человека (Ивлякова и др., 2021; Ghafari at al., 2020). Человечество вывело много культурных сортов плодовой направленности, в основном для употребления в пищу, но с каждым годом участились случаи применения не просто плодовых культур, а именно сортовых плодовых культур в качестве озеленения территорий. Это вызвано не только желанием украсить участок, но и в некоторых случаях еще и получить вкусные плоды и ягоды, тем самым получая эстетическое удовлетворение и возможность получить более насущную выгоду (Дубовик, Григорцевич, 2012).

В последнее время растет популярность использования плодовых культур в ландшафтном дизайне, особенно в городских условиях. Применение сортовых плодовых и ягодных культур в парках – это интересное эстетическое и функциональное направление. Городские парки являются важнейшими элементами современной инфраструктуры, обеспечивая населению доступ к природным ландшафтам, способствуя повышению качества жизни в условиях урбанизации и укреплению экологии (Корягина, 2024, Рудая и др., 2021). В настоящее время особое значение приобретает трансформация парков из исключительно декоративной зоны в многофункциональное пространство, сочетающее в себе эстетическую и практическую пользу. Способность объединять в ландшафтном дизайне функциональность, красоту, а также экологическую ценность называется съедобным ландшафтом (фудскейпинг). Съедобный ландшафт позволяет сочетать в себе декоративную растительность со съедобными плодами, ягодами, травами, овощами, при этом не теряя способности образования гармоничной композиции. Преимуществами применения съедобного ландшафта являются шаговая доступность свежих, съедобных продуктов, возможность положительного влияния на экосистему (поддержание плодородия почвы, уменьшение воздействия пестицидов и химикатов на окружающую среду) и т. д. Применять такой способ в ландшафтной архитектуре возможно в городских средах (парки, скверы, городские сады и т. д.), а также на частных территориях (Киселева и др., 2016; Коренькова и др., 2018; Разумовский, 2016).

Большинство сортовых плодово-ягодных растений имеют декоративные качества, это позволяет применять плодовые культуры в ландшафтном дизайне и получать качественные плоды (Федоров и др., 2020; Чертилин, Гончаров, 2022).

Декоративными формами плодовых культур в России занимаются различные учреждения и частные селекционеры. Крымская ОСС ВИР провела большой объем исследований косточковых. Декоративные качества яблони изучались в МГУ, на Свердловской опытной станции, в Красноярском НИИСХ и Южно-Уральском НИИСиК. Оренбургский Госуниверситет оценивал формы декоративной яблони. ФГБНУ ВНИИСПК получил декоративную яблоню «Орловская плакучая» и формы груш с шаровидной кроной. В ООО «Опытно-селекционный питомник» созданы колонновидные китайки, а Мичуринский ГАУ изучает краснолистные формы яблони (Корнилов, Долматов, 2016). В связи с этим внедрение плодовых культур представляет собой перспективное направление развития городского озеленения. Кроме того, такие насаждения позволяют повысить уровень биоразнообразия, поддерживают популяции опылителей и создают дополнительные источники питания для городской фауны. Введение плодовых культур в парковую среду требует тщательного учета климатических условий, особенностей выбранных сортов и технологий ухода, что обеспечивает их устойчивость и долгосрочную эксплуатацию.

Этими способностями обладают и сорта вишни. Сама по себе вишня является привлекательной культурой для озеленения в течение всего вегетационного периода, позволяя любоваться красотой цветения и яркой зеленью листвы, затем плодоношением, красивыми листьями осенью, а также разнообразием форм кроны (Максименко, Горбунов, 2021). На продуктивность, декоративные качества и эстетический вид оказывают влияние прирост и световой режим внутри кроны, что можно корректировать при помощи обрезки и методов формирования кроны (Zbinden, Wirth, 1974).

Данная культура хорошо подходит в качестве использования в солитерных посадках, групповых насаждениях, а также для создания естественного природного стиля. Вишня прекрасно соседствует и сочетается с другими насаждениями, такими как хвойные, кустарниковые, цветочные композиции и другими плодовыми культурами. Ее можно высаживать в парках, скверах, на приусадебных участках, а также при озеленении внутриквартальной территории (Зюбровская, Учарова, 2018; Рубцов, 1977). Кроме того, это даст возможность разнообразить применяемые ландшафтные средства для озеленения и украсить архитектурные сооружения (Глотова и др., 2021; Вебер, Кучеров, 2021).

Немаловажную роль в данном аспекте играют высокоадаптивные свойства и устойчивость к заболеваниям выведенных сортов вишни, а при грамотном подборе подвоя, можно достичь оптимального соотношения листьев и нагрузки плодов, что позволит повысить урожайность и качественные показатели плодов (Maksimenko at al, 2023). Исходя из всего перечисленного, целью работы стало рассмотрение вишни Лозновская в качестве объекта озеленения.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования был выбран сорт вишни Лозновская селекции ФНЦ Агроэкологии РАН. Авторы: Роланд Викторович Корнеев и Лидия Корнеевна Жукова. Место выведения: Дубовский опорный пункт Нижневолжского научно-исследовательского института сельского хозяйства (сейчас — ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»). Сорт получен путем скрещивания вишни: «Любская» и «Жуковская». Год допущения к использованию – 1997 год. Сорт включен в Государственный реестр по Нижневолжскому региону.

Учеты и наблюдения проводились на территории подразделения лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН, находящегося в Дубовском р-не Волгоградской обл. Сорт является универсальным по применению плодов. Цветение обильное, сорт самоплодный с высоким потенциалом. Дерево среднерослое с шаровидной кроной и изогнутыми ветвями, что придает ей особую харизму и привлекает внимание. Соцветия белые и из одной почки может выходить от 4 до 6 цветков, что придает пышность. Плоды очень крупные, темно-красные, что в сочетании с ее блестящими светло-зелеными листьями эффектно контрастирует. Сильной обрезки дерево не требует и хорошо переносит загущенность.

На рис. 1 изображены деревья вишни Лозновская 2019 г. посадки.

Для оценки качеств декоративности сорта проводили мониторинг оценки приживаемости, роста и плодоношения по общепринятым методикам исследования.

Для учета и сбора информации было выделено по пять деревьев каждой сорто-подвойной комбинации. Сила роста определялась путем обмера высоты дерева и диаметра

кроны. Учет урожайности проводился весовым методом с каждого дерева отдельно, а затем выводился средний результат. Степень цветения отмечалась в баллах от 0 (нет цветения) до 5 (обильное цветение).

Рис. 1. Цветущие деревья вишни Лозновская, 2019 г. посадки

Для оценки пригодности сорта для парковых насаждений проводилась оценка по общепринятой шкале оценки декоративности растений:

- форма кроны: 5 баллов: идеальная, пропорциональная, симметричная, четко выраженная и генетически обусловленная форма, являющаяся выразительным элементом ландшафта; 3 балла: хорошая, гармоничная форма, но с некоторыми незначительными отклонениями или неполной выразительностью; 1 балл: асимметричная, неправильная, редкая или поврежденная крона, не обладающая выраженными декоративными качествами;

- декоративность цветов: 5 баллов: обильное, яркое, длительное цветение с крупными, ароматными, эффектными цветками. 3 балла: умеренное цветение, цветки заметны, но не очень эффектны; 1 балл: цветы мелкие, невзрачные, редкие или отсутствуют;

- декоративность плодов: 5 баллов: плоды крупные, яркие (красные, синие, желтые), необычной формы, долго сохраняются на дереве, создавая эффектный вид; 3 балла: плоды заметные, но не очень эффектные; 1 балл: плоды мелкие, невзрачные, быстро опадают или отсутствуют (Котелова, Виноградова, 1974).

Для полноты исследования провели сравнение влияния различных подвоев на рост и развитие дерева. Для анализа были использованы подвои: антипка – семенной подвой, сильнорослого типа, размножается семенами; ЛЦ-52 – клоновый подвой, среднерослого типа, способен снизить рост дерева примерно на 30 %; РВЛ-9 – клоновый подвой, среднерослого типа; ВСЛ-2 – клоновый подвой, слаборослого типа, способен снизить рот дерева примерно на 50 %.

Статистический анализ проводился в соответствии с Б. А. Доспеховым. Была определена значимость разницы между анализируемыми показателями ($НСР_{05}$) с достоверной вероятностью 95 % и коэффициент парной корреляции (r) между признаками был рассчитан с достоверной вероятностью 95 %.

Результаты исследования. Размер деревьев имеет большое значение как в садоводстве, так и в парковом ландшафте. Как упоминалось выше, в зависимости от предпочтений рост дерева можно регулировать при помощи подвоев. Высота штамба на разных подвоях колеблется незначительно, при этом сила роста различается кардинально (табл. 1).

Таблица 1

Влияние подвоев на силу роста вишни Лозновская, 2025 г.

Подвой	Высота дерева, см	Диаметр кроны, см	Форма кроны
Антипка	3,10	3,30	Широко-округлая
ЛЦ-52	2,70	2,10	Округло-овальная
РВЛ-9	2,00	2,40	Широко-округлая
ВСЛ-2	1,90	2,30	Широко-округлая

Проанализировав полученные данные из табл. 1, сделаны выводы, что семенной подвой Антипка дает показатели силы роста диаметра кроны больше, чем на других подвоях. Что же

касается клоновых подвоев, то наименьший показатель по силе роста дерева на подвое ВСЛ-2 и составил он 1,90 см, а наибольший (2,70 см) у ЛЦ-52. Если же рассматривать показатель диаметра кроны, то наименьший показатель был у клонового подвоя ЛЦ-52 – 2,10 см, а наибольший (2,40 см) у РВЛ-9. Форма кроны отличается только на подвое ЛЦ-52 – округло-овальная, на всех остальных подвоях широко-округлая. Если при планировании дизайна это будет играть важную роль, то стоит учесть данный фактор.

Продолжительность цветения и плодоношения имеют большое значение при подборе сортимента для закладки садово-паркового дизайна.

Таблица 2

Урожайность вишни Лозновская 2023-2025 гг.

Подвой	Степень цветения			Продолжительность цветения, дн.	Продолжительность плодоношения, дн.	Урожай с дерева, кг		
	2023 г.	2024 г.	2025 г.			2023 г.	2024 г.	2025 г.
Антипка	4	5	4	10	17	6,00	6,10	13,50
ЛЦ-52	4	5	4	13	21	5,90	4,70	9,60
РВЛ-9	5	5	5	9	14	6,50	6,50	8,70
ВСЛ-2	5	5	5	11	19	4,10	4,50	7,20
НСР	-	-	-	-	-	0,28	0,27	0,49

Анализ данных из табл. 2, показал, что цветение на всех подвоях по всем годам было обильное, с незначительными отличиями. Наиболее длительное цветение отмечалось на подвое ЛЦ-52 и составило 13 дней. Это свидетельствует о хороших предпосылках для урожая. Наибольший интерес представляют подвои, демонстрирующие не только высокий, но и стабильный урожай в течение нескольких лет. Подвой Антипка, показав самый высокий урожай в 2025 году, тем не менее, имеет более скромные показатели продолжительности плодоношения, что требует дальнейшего изучения. Плоды на подвое ЛЦ-52 остаются на дереве до 21 дня, меньшее количество дней плоды удерживаются на дереве с подвоем РВЛ-9, всего – 14; Подвой ВСЛ-2, несмотря на стабильную высокую степень цветения, не смог достичь таких же результатов по урожайности, как и его конкуренты.

Таблица 3

Корреляционный анализ связи между биометрическими параметрами и урожайностью

Параметр	Значение	Коэффициент корреляции (r) с урожайностью	Интерпритация
Степень цветения	4,3-5,0	+0,42	Слабая положительная связь
Продолжительность цветения, дн.	9,0-13,0	–0,11	Практически отсутствует
Продолжительность плодоношения, дн.	14,0-21,0	–0,38	Слабая отрицательная

Изученные признаки не являются радужными предикторами урожайности. Высокая степень цветения не гарантирует высокой урожайности (например, ВСЛ-2 имеет 5 баллов, но минимальный урожай).

Общая декоративность растений определяется совокупностью внешних признаков, а именно: размерами, формой кроны, величиной цветков, формой и окраской плодов и др. Для определения влияния подвоя на общий вид декоративности использовалась система оценки, в которой каждый признак мог получить один из трех баллов: 1 (низкий), 3 (средний) или 5 (высший). Градация степени декоративности по суммарному баллу определяется как низкая (менее 10 баллов), средняя (от 10 до 20) и высокая (более 20 балов). Полученные в результате суммирования баллов показатели служили комплексной оценкой декоративных качеств (табл. 4).

В результате оценки декоративности сорта Лозновская в зависимости от типа подвоя установлено, что суммарный балл варьируется от 11 до 15. Максимальная декоративность зафиксирована на подвоях Антипка, ЛЦ-52 и РВЛ-9, которые обеспечивают идеальную форму кроны, обильное и длительное цветение, среднюю декоративность. Указанные подвои можно рекомендовать для использования в парковых насаждениях – аллейных и парадных зон. Использование подвоя ВСЛ-2 привело к снижению общей оценки до 11 баллов, выводя ее на границу между средней и

низкой декоративностью. При выборе подвоя для ландшафтного дизайна, где декоративность имеет первостепенное значение, следует отдавать предпочтение Антипке, ЛЦ-52 или РВЛ-9. Если же основной целью является получение урожая, а декоративность кроны и цветения не столь критичны, то ВСЛ-2 может быть рассмотрен, но с пониманием его ограничений. Таким образом, декоративный потенциал сорта в полной мере реализуется при условии подбора оптимального подвоя, что необходимо учитывать при проектировании зеленых насаждений и парковых зон.

Таблица 4

Оценка декоративности вишни Лозновская в зависимости от подвоя

Подвой	Декоративность цветов	Декоративность плодов	Форма кроны	Общая оценка
Антипка	5	5	5	15
ЛЦ-52	5	5	5	15
РВЛ-9	5	5	5	15
ВСЛ-2	3	5	3	11

Обсуждение. Проведенные исследования показали, что подвой оказывает существенное влияние на комплекс хозяйственно ценных и декоративных признаков вишни. Комплексная оценка декоративности по трем признакам (цветы, плоды, форма кроны) выявила, что максимальные показатели достигаются на подвоях Антипка, ЛЦ-52 и РВЛ-9. Все три подвоя получили высшие баллы по каждому из критериев. Подвой ВСЛ-2 оценен существенно ниже (11 баллов) за счет снижения декоративности цветов до 3 баллов и формы кроны до 3 баллов при сохранении высокой плодовой декоративности.

Выводы. Выбор сорта и подвоев был обусловлен декоративностью, презентабельностью и своими адаптивными способностями к местным условиям. Также немаловажную роль играет возможность применения в ландшафтных композициях на разнообразных территориях, будь то территории ограниченного пользования (учреждения здравоохранения, образования, частные территории) или же территории общего пользования (специализированные парки, сады, скверы и т. д.).

При выращивании вишни Лозновская, возможны желательные корректировки высоты и формы кроны при помощи обрезки и подвоя.

Имея желание или потребность получить дерево с широкой кроной и относительно высокое (с учетом его среднерослости), то опираясь на данные, представленные в статье, стоит выбрать семенной подвой Антипка с показателями высоты 3,1 см и диаметром кроны 3,3 см. Если же требуется дерево низкого роста, то стоит обратить внимание на подвой ВСЛ-2, который дает показатели высоты 1,9 см при диаметре кроны 2,3 см. Однако при выборе подвоя ЛЦ-52 диаметр кроны у дерева, по сравнению с подвоем ВСЛ-2, меньше на 0,2 см, а вот высота дерева на 0,8 см больше.

При выборе подвоя для высадки дерева на планируемом участке, также стоит учесть, что клоновые подвои сокращают срок вступления в плодоношение, это будет важным критерием, для тех, кто планирует получить от дерева помимо эстетических характеристик еще и плоды.

Существенную роль для ландшафтного дизайна будут иметь показатели продолжительности цветения и плодоношения в днях, чем дольше плоды удерживаются на дереве, тем дольше цветение. Как показали данные табл. 2, то подвой ЛЦ-52 по данным показателям имеет больший приоритет.

При выборе в качестве подвоя ВСЛ-2, можно быть уверенным, что дерево здоровое от вирусных заболеваний.

Опираясь на оценку декоративности в зависимости от подвоя, тут возможны варианты всех подвоев кроме ВСЛ-2, так как он хоть и имеет привлекательный вид, но все же уступает в декоративности другим подвоям.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Глотова, В. Д. Устойчивое развитие городских территорий в архитектурном проектировании / В. Д. Глотова, А. Ю. Князькова, М. В. Коломникова, Н. Н. Чесноков, О. А. Рудая // *Наука и Образование*. № 1. 2021. Т. 4. [Glotova, V. D. Sustainable Development of Urban Areas in Architectural

Design / V. D. Glotova, A. Yu. Knyazkova, M. V. Kolomnikova, N. N. Chesnokov, and O. A. Rudaya // *Nauka i Obrazovanie*. No. 1. 2021. Vol. 4.]

Вебер А. А., Кучеров А. С. Использование деревьев и кустарников в озеленении городов. Садоводство России: право, экономика, инновации. 2021. № 1 (16). С. 5-13. [Weber A. A., Kucherov A. S. The Use of Trees and Shrubs in Urban Landscaping. Russian Horticulture: Law, Economics, and Innovation. 2021. No. 1 (16). Pp. 5-13].

Дубовик А. А. Применение плодово-ягодных растений в декоративном садоводстве / А. А. Дубовик, Л. Н. Григорцевич // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. № 1. 2012. [Dubovik, A. A. Application of fruit and berry plants in ornamental gardening / A. A. Dubovik, L. N. Grigortsevich // Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, Environmental Management, and Processing of Renewable Resources. No. 1. 2012].

Зюбровская А. В. Применение плодово-ягодных растений в декоративном садоводстве / А. В. Зюбровская, Ю. Н. Учарова. // *Молодой ученый*. № 23 (209). 2018. С. 276-278. [Zyubrovskaya, A. V. Application of fruit and berry plants in ornamental gardening / A. V. Zyubrovskaya, Yu. N. Ucharova // *Molodoi uchenyi.* No. 23 (209). 2018. Pp. 276-278].

Ивлякова А. Ю. Ландшафтная архитектура и градостроительство / А. Ю. Ивлякова, Н. Н. Чесноков, О. А. Рудая // *Наука и Образование*. № 1. Т. 4. 2021. [Ivlyakova, A. Yu. Landscape Architecture and Urban Planning / A. Yu. Ivlyakova, N. N. Chesnokov, O. A. Rudaya // *Nauka i Obrazovanie*. No. 1. Vol. 4. 2021].

Киселева Л. Л. Видовой состав и устойчивость древесных насаждений как основа экологического благополучия урбанизированной среды (на примере города Орла) / Л. Л. Киселева, Е. А. Парахина, Ж. Г. Силева // *Известия Самарского научного центра РАН*. № 2(3). Т. 18. 2016. С. 702-706. [Kiseleva, L. L. Species composition and stability of woody plantations as a basis for the ecological well-being of the urban environment (on the example of the city of Oryol) / L. L. Kiseleva, E. A. Parakhina, Zh. G. Sileva // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. No. 2(3). Vol. 18. 2016. Pp. 702-706].

Коренькова Е. А. Оценка перспективного ассортимента многолетних травянистых растений для современного озеленения городской среды / Е. А. Коренькова, З. М. Шахбанова // *Селекция и сорторазведение садовых культур*. № 2. Т. 5. 2018. С. 36-39. [Korenkova, E. A. Assessment of a promising assortment of perennial herbaceous plants for modern urban landscaping / E. A. Korenkova, Z. M. Shakhbanova // *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*. No. 2. Vol. 5. 2018. Pp. 36-39].

Корнилов Б. Б. Оценка эстетических качеств декоративных форм яблони и груши генофонда ФГБНУ ВНИИСПК / Б. Б. Корнилов, Е. А. Долматов // *Современное садоводство*. № 1(17). 2016. [Kornilov, B. B. Assessment of the aesthetic qualities of ornamental apple and pear varieties of the VNIISPK gene pool / B. B. Kornilov, E. A. Dolmatov // *Sovremennoe sadovodstvo*. No. 1(17). 2016.]

Корягина Н. В. Благоустройство и озеленение населенных мест / Н. В. Корягина, А. Н. Поршакова // М.: Юрайт, 2024. 225 с. [Koryagina, N. V. Improvement and Landscaping of Settlements / N. V. Koryagina, A. N. Porshakova // Moscow: Yurayt, 2024. 225 p.].

Котелова Н. В. Оценка декоративности деревьев и кустарников по сезонам года / Н. В. Котелова, О. Н. Виноградова // *Физиология и селекция растений и озеленение городов*. М.: МЛТИ, 1974. С. 37-44. [Kotelova, N. V. Assessment of the Decorative Value of Trees and Shrubs by Season / N.V. Kotelova, O.N. Vinogradova // *Fiziologiya i selektsiya rastenii i ozelenenie gorodov*. Moscow: MLTI, 1974. Pp. 37-44].

Максименко А. П., Горбунов И. В., Декоративные кустарники в ландшафтном озеленении на почвах прибрежных районов северного причерноморья и восточного приазовья // Научный журнал КубГАУ. 2021. №169. [Maksimenko A. P., Gorbunov I. V., Decorative Shrubs in Landscape Landscaping on the Soils of the Coastal Areas of the Northern Black Sea and the Eastern Sea of Azov // KubSAU Scientific Journal. 2021. No. 169].

Разумовский Ю. В. Ландшафтное проектирование. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с. [Razumovsky, Yu. V. Landscape Design. Moscow: Forum, NITs INFRA-M, 2016. 144 p.].

Рубцов, Л. И. Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре / Л. И. Рубцов. Киев: *Навукова думка*, 1977. 162 с. [Rubtsov, L. I. Trees and Shrubs in Landscape Architecture / L. I. Rubtsov. Kiev: *Navukova dumka*, 1977. 162 p.].

Рудая О. А., Чесноков Н. Н., Иванова К. А. Экологические концепции формирования садово-паркового ландшафтного дизайна в градостроительстве / О. А. Рудая, Н. Н. Чесноков, К. А. Иванова // *Наука и Образование*. № 1. Т. 4. 2021. [Rudaya O. A., Chesnokov N. N., Ivanova K. A. Ecological Concepts of Garden and Park Landscape Design in Urban Planning / O. A. Rudaya, N. N. Chesnokov, K. A. Ivanova // *Nauka i Obrazovanie*. No. 1. Vol. 4. 2021].

Федоров А. В. История озеленения и цветочное оформление города Ижевска: монография / А. В. Федоров, Н. М. Кузьмина, О. А. Ардашева. Ижевск: ФГБУН Удмуртский ФИЦ УрО РАН, 2020. 132 с. [Fedorov, A. V. History of Landscaping and Flower Design in the City of Izhevsk: Monograph / A. V. Fedorov, N. M. Kuzmina, O. A. Ardasheva. Izhevsk: Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020. 132 p.].

Чертилин А. Н. Сортимент алычи в Российской Федерации / А. Н. Чертилин, А. В. Гончаров // В сб.: Наука и культура: поиски и открытия. Балашиха: РГАЗУ, 2022. С. 184-187. [Chertilin, A. N. The assortment of cherry plum in the Russian Federation / A. N. Chertilin, A. V. Goncharov // In the collection: Science and Culture: Search and Discovery. Balashikha: RGAZU, 2022. Pp. 184-187].

Zbinden W, Wirth A. Heckenformen and Kirschenanbau// Schweiz. z. Obst. -Weinbau. 1974. V. 110, 6.- S. 135-145.

Ghafari S., Kaviani B., Sedaghathoor Sh., Allahyari M. S. Ecological Potentials of Trees, Shrubs and Hedge Species for Urban Green Spaces by Multi Criteria Decision Making. Urban Forestry & Urban Greening, 2020, vol. 55, art. 126824. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126824.

Maksimenko A. P. Influence of the soil maintenance system on the productivity of apple trees under the prikubanskaya zone conditions / A. P. Maksimenko, I. V. Gorbunov, I. I.Gorbunov // Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. № 189. 2023.С. 12-27.

Информация об авторах

Касьянова Галина Валерьевна, лаборант-исследователь, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), e-mail: kasyanova-g@vfanc.ru, ORCID: 0009-007-2147-0617.

Никольская Ольга Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), e-mail: nikolskaya-o@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1337-7101.

Куликова Наталья Александровна, доцент кафедры «Садоводство и защита растений», ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26), e-mail: trjasi@list.ru, ORCID: 0000-0002-3744-5164.

Information about the authors

Kasyanova Galina Valerievna, Laboratory researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation, e-mail: kasyanova-g@vfanc.ru, ORCID: 0009-007-2147-0617.

Nikolskaya Olga Alekseevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation, e-mail: nikolskaya-o@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1337-7101.

Kulikova Natalya Aleksandrovna, Associate Professor, Department of Horticulture and Plant Protection, Volgograd State Agrarian University, 400062, Volgograd, 26 Universitetsky Ave., Russian Federation), e-mail: trjasi@list.ru, ORCID: 0000-0002-3744-5164..

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УДК 551.515(470.61) DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.013.146-154

Направления изменений тепло- и влагообеспеченности растений в Приазовской зоне Ростовской области

Целуйко О. А.; Парамонов А. В.✉
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный Ростовский аграрный научный центр», п. Рассвет, Ростовская обл.

Аннотация. Ввиду изменения климатических условий, наносящих глобальный характер, возникла необходимость в учете изменений климата в каждой почвенно-климатической зоне. Полученные таким образом статистические данные могут послужить основанием для корректировки состава культур, возделываемых в севооборотах, а также набора агротехнических приемов возделывания культурных растений в соответствие с изменениями. В статье представлено описание погодных условий 2015-2025 гг. в условиях Приазовской зоны Ростовской обл. Целью исследований являлся анализ изменений средних значений температуры воздуха и количества, выпадающих в среднем за год атмосферных осадков. Основными параметрами исследований были средняя температура воздуха и количество атмосферных осадков за месяц и год. По итогам анализа полученных результатов показано, что на данной территории в течении последних десяти лет имеется тенденция к увеличению средней годовой температуры воздуха на 0,7 °С и снижению общего количества атмосферных осадков, выпадающих за год в среднем на 16 %. Выявлены тенденции роста средней температуры воздуха, как в среднем за год, так и по сезонам года. Установлена тенденция перераспределения выпадения осадков по сезонам года. В изучаемом временном периоде наблюдалось смещение выпадения основного количества осадков на зимний и весенний периоды. В целом имеется тенденция на усиление аридизации климата, что является причиной для пересмотра набора агротехнических мероприятий, направленных на накопление влаги в почве.

Ключевые слова. Атмосферные осадки, средняя температура воздуха, многолетние значения, Приазовская зона, Ростовская обл.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного задания № FNFZ-2023-0003 «Разработать усовершенствованные эколого-адаптивные технологии возделывания новых сортов сельскохозяйственных культур для различных типов агроландшафтов Ростовской области».

Цитирование. Целуйко О. А., Парамонов А. В. Динамика тепло- и влагообеспеченности в Приазовской зоне Ростовской области // Научно-агрономический журнал. 2026;3(134):146-154. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.013.146-154.

Поступила в редакцию 02.07.2026 Принята к печати:14.08.2026

UDC 551.515(470.61) DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.013. 146-154

Trends in heat and moisture availability to plants in the Azov zone of the Rostov Region

Tseluiko O. A.; Paramonov A. V.✉
Federal State Budget Scientific Institution "Federal Rostov Agricultural Research Centre"

Abstract. Due to changes in climatic conditions of a global nature, it has become necessary to take climatic changes into account in each soil and climatic zone. The statistical data obtained in this way can serve as a basis for adjusting the composition of crops grown in crop rotations, as well as the set of agronomic practices used for crop cultivation, in accordance with these changes. The article describes the weather conditions in the Azov zone of the Rostov Region during 2015-2025. The aim of

✉ – Для контактов/Corresponding author

the study was to analyze changes in mean air temperature and mean annual precipitation. The main parameters examined were monthly and annual mean air temperature and precipitation. The analysis showed that, in this territory, over the past ten years, there has been a tendency for the mean annual air temperature to increase by 0.7 °C and for total annual precipitation to decrease by an average of 16 %. Upward trends in mean air temperature were identified both annually and seasonally. A trend toward the seasonal redistribution of precipitation was established. During the study period, most precipitation shifted to the winter and spring seasons. Overall, there has been a trend toward increasing climate aridity, which necessitates revising the set of agronomic measures aimed at accumulating moisture in the soil.

Keywords. Precipitation, mean air temperature, long-term values, Azov zone, Rostov Region.

Citation. Tseluiko O. A., Paramonov A. V. Trends in heat and moisture availability to plants in the Azov zone of the Rostov Region // Scientific Agronomy journal. 2026;3(134):146-154. DOI: 10.34736/FNC.2026.134.3.013.146-154.

Funding. The study was carried out within the framework of State Assignment No. FNFZ-2023-0003 "Develop improved ecological-adaptive technologies for cultivating new varieties of crops for various types of agricultural landscapes of the Rostov Region".

Received: 02.07.2026 Accepted: 14.08.2026

Введение. Ростовская обл. занимает ключевое положение в структуре сельскохозяйственного производства Российской Федерации. На долю региона приходится около 4 % общего фонда сельскохозяйственных угодий страны. Статистические данные демонстрируют существенный вклад области в производство ряда агрокультур и продукции животноводства: зерно – 4,5-6,0 % от общероссийского объема; семена подсолнечника – 19,0-23,6 %; овощи - 3,1-6,0 %; фрукты – до 15 %; виноград – 5 %; мясо – 7,5 %; молоко – 2,4 %; яйца – 3 %; шерсть – 8 % (Назаренко и др., 2024). Благодаря такой значимой доле в формировании агропромышленного потенциала государства Ростовская обл. заслуженно рассматривается как одна из основных житниц России (Клименко и др., 2024; Попов и др., 2012).

Географические и климатические особенности региона определяют специфику производства продукции растениеводства. Большая часть территории области расположена в степной зоне (Фоменко и др. 2024; Гординская и др., 2024). Пос. Рассвет территориально находится в Аксайском р-не Ростовской обл. Характерными особенностями данной территории являются не достаточное количество атмосферных осадков выпадающих как за год в целом, так и в периоды вегетации сельскохозяйственных растений (Гаевая и др., 2025). Не редкими явлениями на данной территории являются почвенные и воздушные засухи. Обеспеченность теплом находится на среднем уровне или выше среднего (Вошедский Н. Н, Кулыгин В. А.,2022). Почвы региона представлены черноземами, которые подходят для возделывания большинства сельскохозяйственных культур.

В связи с изменением климата критически важно учитывать последствияэтих изменений для каждой почвенно-климатической зоны (Коковихин, 2023). Постоянный мониторинг условий произрастания культур на протяжении вегетационного периода, а также изучение климатических изменений, необходимы для рационального выбора способов обработки почвы, в соответствии с влагообеспеченностью, получения стабильных урожаев, грамотного размещения сельскохозяйственных культур в севообороте и оптимизации производственных затрат в растениеводстве.

Материалы и методы. Исследования проводились в поселке Рассвет (рис. 1), расположенном в Приазовской зоне Ростовской обл., с 2015 по 2025 гг. В ходе проведения исследований осуществлялось наблюдение за следующими погодными показателями: средняя температура воздуха за сутки, месяц, год, а также сумма атмосферных осадков, выпавших за те же временные периоды. Для наблюдения за указанными показателями использовалась автоматическая метеостанция Vantage PRO2. Полученные многолетние данные подвергались корреляционному и регрессионному анализу согласно методике полевого опыта (Доспехов, 1985).

Результаты. В ходе проведения анализа полученных наблюдений за последние десять лет обнаружена тенденция к снижению количества осадков, выпадающих за год и повышению годовой температуры воздуха. Согласно опубликованным нами ранее исследованиям за 1960-2022 гг., среднее количество осадков за составляло 514 мм (Клименко и др., 2024). За изучае-

мый период времени, в среднем за год выпадало 434 мм атмосферных осадков, что на 80 мм (16 %) меньше многолетних значений. В 4 годах из десяти уровень осадков выпавших за год был выше средних многолетних данных, в остальные 6 лет данный показатель был ниже многолетних значений на 71,8-271,2 мм. Особенно засушливыми условиями выделяются 2024 и 2025 гг., когда этот показатель составлял 243,2 и 259,4 мм соответственно, что ниже многолетних значений более чем в 2 раза (табл. 1).

Рис. 1. Место расположения МК Рассвет

Таблица 1

Количество атмосферных осадков (мм), выпавших в период с 2015 по 2025 гг. в сравнении с средними многолетними значениями

Показатель	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Сумма за год	540,4	594,5	442,6	366,0	357,6	311,5	596,6	426,8	639,5	243,2	259,4
Многолетнее значение	514,0										

Имеет место и изменение распределения осадков по временам года. Если ранее по результатам многолетних наблюдений (1960-2022 гг.) наибольшее количество осадков выпадало в зимний (134,5 мм) и летний периоды (139,3 мм) соответственно(А. И. Клименко и др., 2024),

то в период с 2015 по 2025 гг. максимальные значения данного показателя отмечалось зимой (в среднем 126,2 мм) и весной (в среднем 122,9 мм) (рис. 2).

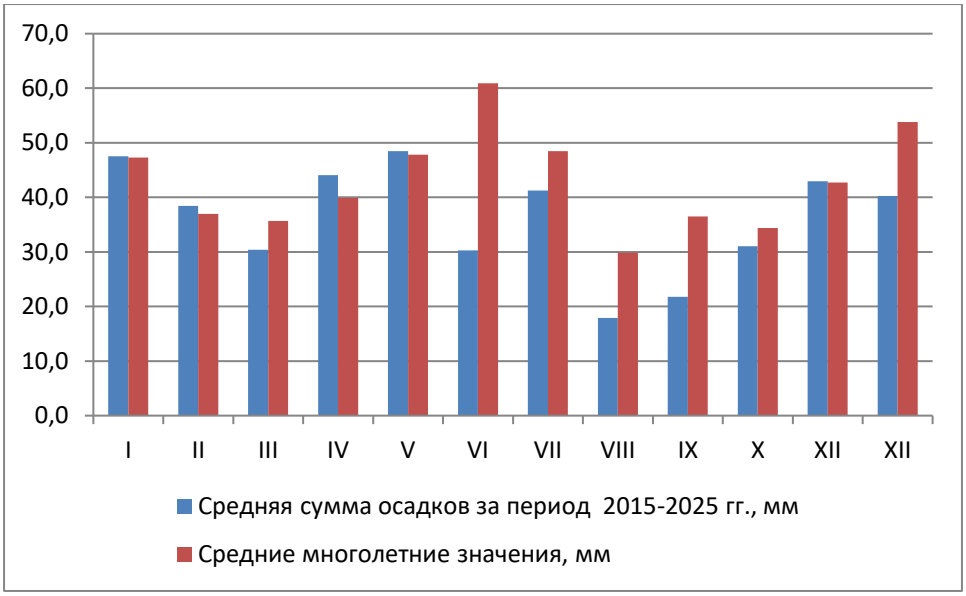

Рис. 2. Распределение среднего количества осадков по месяцам в период с 2015 по 2025 гг. в сравнении с среднемноголетними значениями

Во время проведения исследований наибольший недобор осадков отмечался в летний период и составил в среднем 49,9 мм. Также снижение количества осадков отмечалось осенью (в среднем на 17,8 мм) и зимой (в среднем на 11,9 мм). В весенний период данный показатель существенных изменений не претерпел.

Регрессионный анализ количества осадков выпадающих за год показал слабой наличие слабой тенденцию к уменьшению данного показателя в разрезе десятилетнего периода времени (рис. 3).

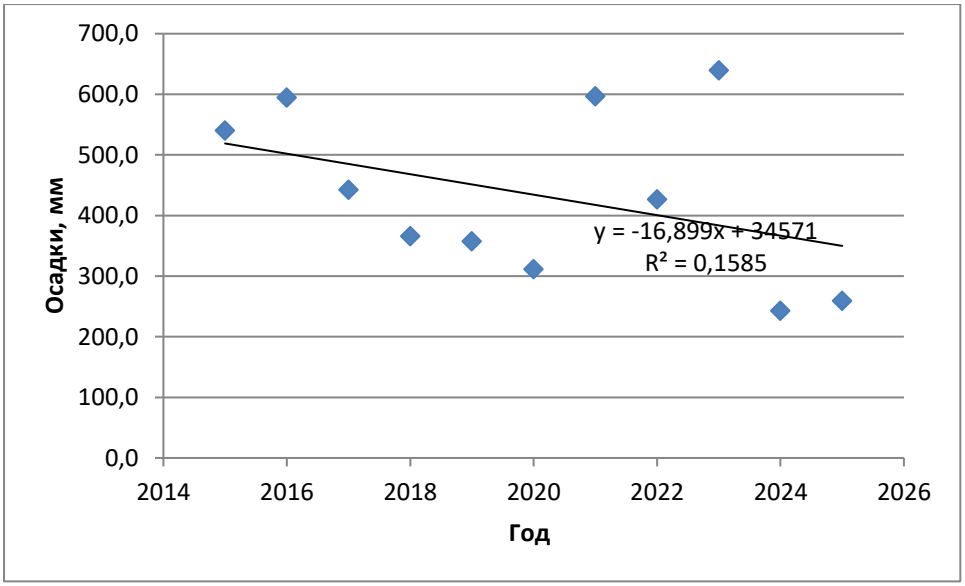

Рис. 3. Снижение количества осадков выпадающих за год

Также обнаружена тенденция к увеличению средней температуры воздуха за год (рис. 4).

В среднем за исследуемый период времени данный показатель составил 11, 3 °С, что больше многолетних значений на 1,3 °С. Увеличение среднемесячной температуры отмечается практически по всем месяцам, но наиболее значительный рост зафиксирован в январе и марте – на 2,2 и 6,5 °С соответственно (табл. 2). При этом температура последнего резко возросла с 2,1 до 4,4 °С, что в сумме и дало прирост температуры в 6,5 °С.

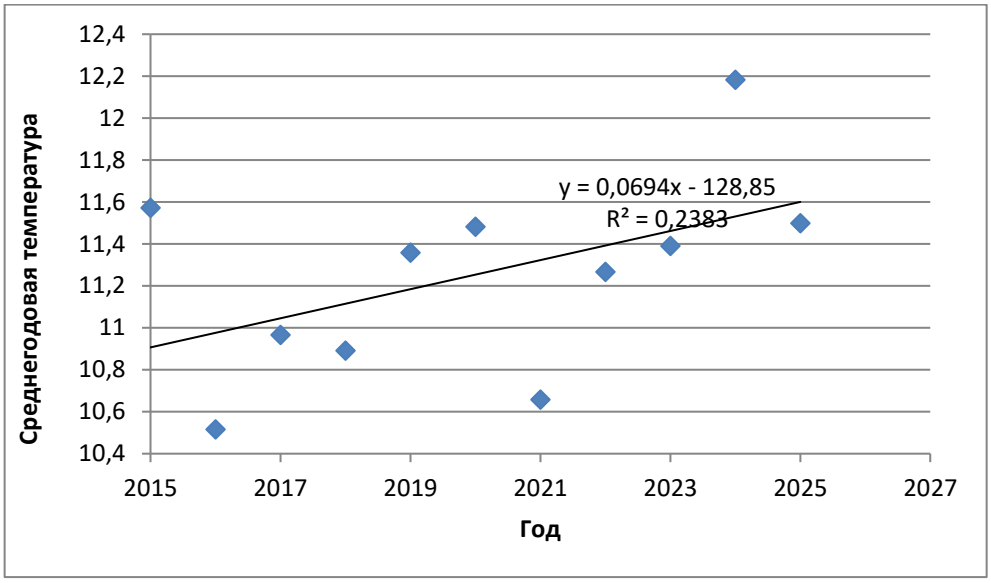

Рис. 4. Рост средней годовой температуры воздуха с течением времени

Таблица 2

Средняя месячная температура воздуха периода 2015-2025 гг. в сравнении с средними многолетними значениями

Показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя месячная температура воздуха за 2015-2025 гг., °С	–1,7	–0,7	4,4	11,4	16,8	22,4	24,7	24,5	18,1	10,7	4,4	0,1
Средние многолетние значения температуры воздуха, °С	–3,9	–2,7	–2,1	10,4	17,1	21,3	23,5	22,6	17,1	9,7	3,3	–1,1

В соответствии с изменением средней температуры воздуха по месяцам изменилась и средняя температура по сезонам. Так, в среднем температура воздуха зимой за десятилетний период была больше многолетних значений на 1,9 °С, весны на 0,9, лета на 0,9, а осени на 1,1 °С.

Анализ данных последнего десятилетия показывает наличие тенденции к росту годовой температуры воздуха и снижению количества выпадающих осадков в Приазовской зоне Ростовской обл.

Максимальные суточные температуры воздуха так же имеют немаловажное значение для растениеводства. При температуре выше 35 °С активность ферментов, участвующих в фотосинтезе, резко падает, а при 40 °С у большинства культур фотосинтез практически останавливается. В результате снижается выработка глюкозы, замедляется рост и падает продуктивность (Кабашникова Л. Ф., 2014). В жаркую погоду, если она приходиться на в фазу цветения, повышенная температура воздуха делает пыльцу стерильной, нарушает углеводный, азотный и липидный обмен, снижают содержание белков, нуклеиновых кислот и хлорофилла (Некрасова Е. И., 2021). Максимальные, пиковые температуры воздуха на территории проведения исследований отмечаются в июле. На рис. 5 представлены максимальные значения температуры воздуха по годам проведения исследований, а также уравнение регрессии рассчитанное по полученным данным.

Коэффициент детерминации равный 0,05 имеет слишком низкое значение для того что бы можно было утверждать, что максимальные температуры воздуха растут, однако тенденция к их росту имеет место быть. Особую озабоченность вызывает тот факт, что в среднем максимальная температура воздуха в июле 2015-2024 гг. составляла 35°С, а в июле 2025 г. данный показатель достиг значения 40,3 °С.

Обсуждение. Вопрос изменения погодных условий представляет собой значительный интерес. По мнению ряда авторов, в условиях ЮФО, и приазовской зоны Ростовской обл. в частности, сочетание температурных условий и количества выпадающих осадков является лимитирующим фактором и играет решающее значение для формирования урожайности всех возделываемых на данной территории культурных растений (Грабовец А. И., Фомен ко М. А.,

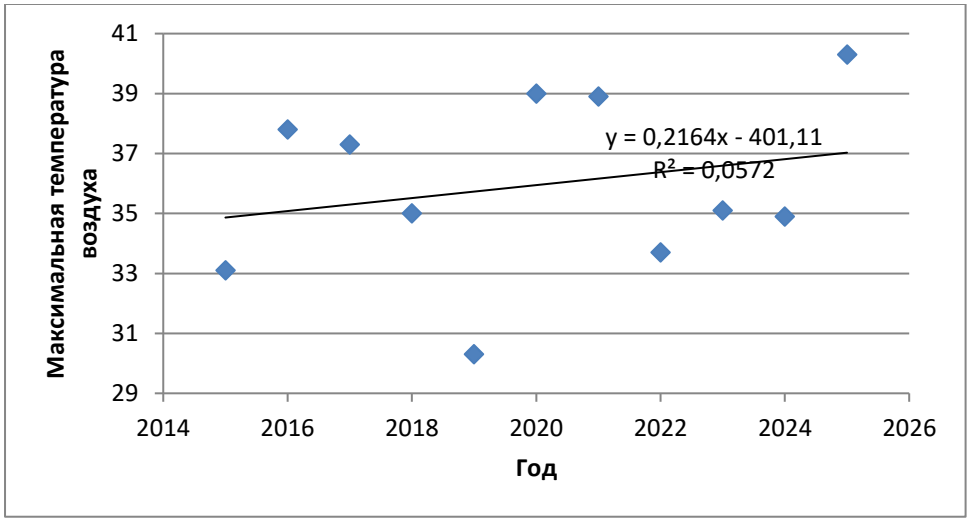

Рис. 5. Максимальные значения температуры воздуха в период 2015-2025 гг.

2023; Черноусов Е. В. и др., 2023, Кривошееев Г. Я., 2014; Васильченко С. А., 2017.). Особое значение имеет распределение последних по вегетационному периоду, характер их выпадения и наличие продуктивной влаги в почве в критические периоды вегетации культурных растений. Многими учеными отмечается важность наличия продуктивной влаги в почве при прохождении в своем развитии культурными растениями критических фаз и является и условием определяющим величину будущего урожая (Мокриков Г. В., 2019; РясковаО. М., Зайцева Г. А., 2021; Zhai Zh. и др. 2022; Павлова Н. В., 2021; Голова Т. Г., Ершова Л. А., 2024). Между тем количество запасов продуктивной влаги в почве во многом определяется уровнем выпавших атмосферных осадков.

По результатам десяти лет проведения исследований обнаружена тенденция к увеличению средней годовой температуры воздуха, а также средних месячных значений данного показателя. При этом наблюдается тенденция к снижению выпадения количества осадков за год, в тоже время основное их количество все чаще выпадает в зимне-весенний период. Возможно для обеспечения стабильной урожайности сельскохозяйственных культур, возделываемых в данной местности, селекционерам стоит уделить особое внимание созданию засухоустойчивых, жаростойких, раннеспелых сортов и гибридов, которые бы в максимально короткие сроки проходили все фазы своего развития и формировали урожай до наступления летней засухи. При этом в растениеводстве, при возделывании основных культур занимающих большие площади, по-прежнему желательно иметь 2-3 сорта с различными периодами вегетации. Кроме того в растениеводстве необходимо применять комплекс мер по сохранению запасов в почве.

Выводы. Сравнение средней годовой температуры воздуха с многолетними значениями показало увеличение данного показателя в последние 10 лет на 1,3 °С. При этом отмечено снижение количества осадков в среднем на 16 %.

Периоды максимального выпадения осадков с зимнего и летнего смещаются на зимний и весенний.

В целом наблюдается общая тенденция к нарастанию аридизации климата территории, что требует соответствующих изменений селекционной работы с учетом направления изменений климатических условий и проведения специальных организационных мероприятий по увеличению сохраняемых в почве запасов влаги за счет агротехнических приемов возделывания.

Десятилетний период времени является слишком не значительным временным отрезком, что бы с уверенностью можно было утверждать о системности обнаруженных тенденций, поэтому существует необходимость продолжения проведения наблюдений за погодными условиями и систематизации полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА /REFERENCES

Батищев И. В., Ильинская И. Н., Игнатьев В. М. Прогнозные статистические модели поверхностного стока талых вод на склоне в Приазовской зоне Ростовской области. Мелиорация и гидротехника. 2024; 14; 4: 193-211. https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-193-211.

[Batishchev I. V., Ilyinskaya I. N., Ignatiev V. M. Predictive statistical models of surface runoff of melt water on a slope in the Priazovskaya zone of the Rostov region. Reclamation and hydraulic engineering. 2024; 14; 4: 193-211. https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-193-211].

Васильченко С. А., Метлина Г. В., Нехорошова Н. В. Влияние метеоусловий на урожайность и содержание белка в зерне нута при возделывании в южной зоне Ростовской области. Зерновое хозяйство России. 2017; 4(52); 48-53. [Vasilchenko S. A., Metlina G. V., Nekhoroshova N. V. Influence of weather conditions on yield and protein content in chickpea grain during cultivation in the southern zone of the Rostov region. Grain economy of Russia. 2017; 4(52); 48-53].

Вошедский Н. Н, Кулыгин В. А. Особенности влияния отдельных технологических приемов на водопотребление и урожайность новых сортов озимой пшеницы в Ростовской области. Достижения науки и техники АПК. 2022; 36; 9: 26-31. doi https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_9_26. [Voshedsky N. N., Kulygin V. A. Peculiarities of the influence of certain technological techniques on water consumption and yield of new varieties of winter wheat in the Rostov region. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2022; 36; 9: 26-31. doi https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_9_26].

Гаевая Э. А., Гринько А. В., Безуглова О. С. Урожайность гороха в изменяющихся климатических условиях Северного Приазовья. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025; 5: 5-19. doi https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-5-5-19. [Gaevaya E. A., Grinko A. V., Bezuglova O. S. Pea yield in changing climatic conditions of the Northern Azov region. News of the Timiryazev Agricultural Academy. 2025; 5: 5-19. doi https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-5-5-19].

Грабовец А. И., Фоменко М. А. Изменение климата и особенности селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и адаптивность к нему. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023; 1: 20-25. https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/1/20-25. [Grabovets A. I., Fomenko M. A. Climate change and features of selection of winter soft wheat for productivity and adaptability to it. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2023; 1: 20-25. https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/1/20-25].

Голова Т. Г., Ершова Л. А. Изменение хозяйственных показателей ячменя в связи с сортосменой. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024;1(49):77-86. doi https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-1-77-86. [Golovatova T. G., Ershova L. A. Change in the economic indicators of barley due to variety. Pulses and cereals. 2024;1(49):77-86. doi https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-1-77-86].

Гординская Е. А., Крохмаль А. В., Грабовец А. И., Барулина Н. И. Взаимосвязь продуктивности озимой тритикале и обусловливающими ее элементами в условиях меняющегося климата. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023; 4(102): 33-37. doi https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-33-37. [Gordinskaya E. A., Krokhmal A. V., Grabovets A. I., Barulina N. I . The relationship between the productivity of winter triticale and its determining elements in a changing climate. News of the Orenburg State Agrarian University. 2023; 4(102): 33-37. doi https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-33-37].

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985. [Dospekhov B. A. Field Experience Methodology M., 1985].

Кабашникова Л. Ф. Фотосинтетический аппарат и стресс у растений. Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука». 2014: 272. [Kabashnikova L. F. Photosynthetic apparatus and stress in plants. Minsk: Republican Unitary Enterprise "Publishing House "Belarusian Science." 2014: 272].

Клименко А. И., Безуглова О. С., Гринько А. В. и др.. Почвы Ростовской области: плодородие, его деградация и восстановление в условиях аридизации климата. Рассвет: «Полиграф-Сервис», 2024. doi https://doi.org/10.69535/FRARC.2024.87.93.001. [Klimenko A. I., Bezuglova O. S., Grinko A. V., etc. Soils of the Rostov region: fertility, its degradation and restoration in the conditions of aridization of the climate. Dawn: Polygraph Service, 2024. doi https://doi.org/10.69535/FRARC.2024.87.93.001].

Коковихин С. В., Бойко Е. С., Магомедтагиров А. А. Влияние изменений климата и погодных условий на урожайность озимой пшеницы в условиях Центральной зоны Краснодарского края. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023; 106:104-115. doi https://doi.org/10.21515/1999-1703-106-104-115. [Kokovikhin S. V., Boyko E. S., Magomedtagirov A. A. Influence of climate changes and weather conditions on winter wheat yield in the conditions of

the Central zone of the Krasnodar Territory. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023; 106:104-115. doi https://doi.org/10.21515/1999-1703-106-104-115].

Клименко А. И., Гуленок Р. А., Гринько А. В. и др. Метеорологические данные МК «Рассвет» ФГБНУ ФРАНЦ за 2023-2024 с.-х. г. Рассвет; 20024: 24. [Klimenko A. I., Gulenok R. A., Grinko A. V., etc. Meteorological data of MK "Dawn" FSBSI FRARC for 2023-2024 agricultural. Dawn; 20024: 24].

Коробова Н. А., Коробов А. П., Пучкова Е. В., Шапошникова Ю. В. Влияние погодных условий на вегетационный период, урожайность и качество зерна гороха. Аграрный научный журнал. 2025; 3: 12-22. https://doi.org/10.28983/asj.y2025i3pp12-22. [Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V., Shaposhnikova Yu. V. Influence of weather conditions on the growing season, yield and quality of pea grain. Agrarian Scientific Journal. 2025; 3: 12-22. https://doi.org/10.28983/asj.y2025i3pp12-22].

Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Буин Н. П. Изменение климатических условий в южной зоне Ростовской области в период вегетации кукурузы. Зерновое хозяйство России. 2014; 1: 44-50. [Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S., Buin N. P. Change in climatic conditions in the southern zone of the Rostov region during the growing season of corn. Grain economy of Russia. 2014; 1: 44-50].

Ляшков И. В., Бирюков К. Н. Влияние погодных условий и сроков посева на урожайность озимой пшеницы на Среднем Дону. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022; 2(94): 22-27. https://doi.org/ 10.37670/2073-0853-2022-94-2-22-27. [Lyashkov I. V., Biryukov K. N. Influence of weather conditions and sowing time on winter wheat yield on the Middle Don. News of the Orenburg State Agrarian University. 2022; 2(94): 22-27. https://doi.org/ 10.37670/2073-0853-2022-94-2-22-27].

Мокриков Г. В., Минникова Т. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Влияние запасов продуктивной влаги и количества атмосферных осадков на урожайность при условии прямого посева сельскохозяйственных культур в Ростовской области. Самарский научный вестник. 2019; 8: № 1(26): 69-75. https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-11111. [Mokrikov G. V., Minnikova T. V., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. The influence of productive moisture reserves and the amount of precipitation on productivity, subject to direct sowing of crops in the Rostov region. Samara scientific bulletin. 2019; 8: № 1(26): 69-75. doi https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-11111].

Назаренко В. А., Галкина В. А., Макаров В. В., Кохно Н. О. Эффективность орошения сельскохозяйственных угодий на востоке Ростовской области. В: Сб. материалов научно-практической конференции по итогам работы сотрудников НГМА в 1999 г., Новочеркасск, 21-23 марта 2000 года. г. Новочеркасск: Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 2000; 64-67. [Nazarenko V. A., Galkina V. A., Makarov V. V., Kokhno N. O. Efficiency of irrigation of agricultural land in the east of the Rostov region. In: Sat. materials of a scientific and practical conference on the results of the work of NGMA employees in 1999, Novocherkassk, March 21-23, 2000. Novocherkassk: Novocherkassk State Reclamation Academy, 2000; 64-67].

Некрасов Е. И. Влияние водного и температурного стрессов на величину продуктивности растений озимой мягкой пшеницы в искусственных и естественных условиях: специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений»: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. 2021: 152. [Nekrasov E. I. The influence of water and temperature stresses on the productivity of winter soft wheat plants in artificial and natural conditions: specialty 06.01.05 "Selection and seed production of agricultural plants": dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences. 2021: 152].

Павлова В. Н. Продуктивность зерновых культур в России при изменении агроклиматических ресурсов в 20-21 веках: специальность 25.00.30 «Метеорология, климатология, агрометеорология»: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. 2021: 271. [Pavlova V. N. Productivity of grain crops in Russia when changing agroclimatic resources in the 20-21 centuries: specialty 25.00.30 "Meteorology, climatology, agrometeorology": dissertation for the degree of Doctor of Geographical Sciences. 2021: 271].

Попов А. С., Янковский Н. Г., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Кравченко М. Е. Особенности погодных условий в южной зоне Ростовской области. Зерновое хозяйство России. 2012; 3:56-59. [Popov A. S., Yankovsky N. G., Ovsyannikova G. V., Sukharev A. A., Kravchenko M. E. Features of weather conditions in the southern zone of the Rostov region. Grain economy of Russia. 2012; 3:56-59].

Ряскова О. М., Зайцева Г. А. Метеоусловия как фактор, влияющий на урожайность сельскохозяйственных культур. Наука и Образование. 2021; 4: 4. [Ryaskova O. M., Zaitseva G. A. Weather conditions as a factor affecting crop yields. Science and Education. 2021; 4: 4].

Фоменко М. А., Ильинская И. Н., Целуйко О. А. и др. Тенденции изменений показателей тепло-влагообеспеченности в северо-западной сельскохозяйственной зоне Ростовской области. Мелиорация и гидротехника. 2024;14;4: 337-351. doi https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-337-351. [Fomenko M. A., Ilyinskaya I. N., Tseluiko O. A. and others. Trends in heat and moisture supply indicators in the northwestern agricultural zone of the Rostov region. Reclamation and hydraulic engineering. 2024;14,4: 337-351. https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-337-351].

Черноусов Е. В., Фоменко М. А., Олейникова Т. А. Источники ценных признаков для селекции озимой пшеницы в условиях засухи. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023; 2(100): 9-14. https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-100-2-9-14. [Chernousov E. V., Fomenko M. A., Oleinikova T. A. Sources of valuable signs for winter wheat breeding in drought conditions. News of the Orenburg State Agrarian University. 2023; 2(100): 9-14. https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-100-2-9-14].

Zhai Zh., Jiang M., Chen W., Che X. Agricultural outputs and structure adjustments: Empirical evidence based on high-impact weather. Frontiers in Environmental Science; 2022: 10. doi https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.951607.

Информация об авторах

Целуйко Оксана Анатольевна, ученый секретарь, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ ФРАНЦ, п. Рассвет, ул. Институтская 1, ORCID 0000-0001-9161-0346.

Парамонов Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ ФРАНЦ, п. Рассвет, ул. Институтская 1, e-mail: alexandr191914@mail.ru, ORCID 0000-0001-6271-4453.

Information about the authors

Tseluiko Oksana Anatolyevna, Scientific Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, FSBSI FRARC , Rassvet, 1 Institutskaya Street, ORCID 0000-0001-9161-0346.

Paramonov Alexander Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, FSBSI FRARC, Rassvet, 1 Institutskaya Street, e-mail: alexandr191914@mail.ru, ORCID 0000-0001-6271-4453.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.