

ISSN 2500-0047

НАУЧНО-АГРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



SCIENTIFIC AGRONOMY
JOURNAL

1 (132) 2026



12+

ISSN 2500-0047

НАУЧНО-АГРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC AGRONOMY
JOURNAL

1 (132) 2026

Волгоград
2026

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

Дубенко 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

Кружильин 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

Сложеникина 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 область
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

Мананков 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., ВолГТУ, Волгоград

Новачадов 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

Садугин 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

Юфев 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.2026.132.1.000

Печатается в копировально-множительном секторе ФНЦ агроэкологии РАН

Адрес: 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97

Тираж 500 экз. Заказ 3, подписано в печать 24 марта 2026 г. Дата выпуска 25 марта 2026 г.

Журнал выходит 4 раза в год и распространяется по адресной рассылке,
а также на выставках и ярмарках агропромышленной тематики. Цена свободная.

Подписной индексе 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

Dubonok 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.), Volgograd 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.2026.132.1.000

Published by FSC of Agroecology RAS

Address: 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97

Print run: 500 copies. Order No. 3, signed for print on March 24, 2026. Release date: March 25, 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 IIP354.

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

Content

ЭкологияEcology

Кузьмин П. А., Шайкина М. А.
Содержание флавоноидов у *Calligonum aphyllum* Pall. в условиях Астраханской области и Ставропольского края.....5

kuzmin P. A., Shaikina M. A.
Flavonoid content in *Calligonum aphyllum* Pall. under the conditions of Astrakhan region and Stavropol Krai.....5

Крылов П. А., Малов В. О., Кузьмин П. А.
Биоразнообразие эндофитных грибов в корневой системе *Krascheninnikovia ceratoides*.....13

Krylov P. A., Malov V. O., Kumin P. A.
Biodiversity of endophytic fungi in the root system of *Krascheninnikovia ceratoides*.....13

Фоменко Ю. П.
Эколого-гидрохимический анализ водных и почвенных ресурсов Сарпинской оросительно-обводнительной системы.... 21

Fomenko Y. P.
Ecological and hydrochemical analysis of water and soil resources of the Sarpinskaya irrigation and watering system.....21

Дережа Д. С.
Геоинформационный анализ территории Ольховского района Волгоградской области и оценка условий размещения сельскохозяйственных угодий.....28

Dereza D. S.
Geoinformation analysis of the territory of the Olkhovsky district of the Volgograd region and assessment of conditions for agricultural land use.....28

Земледелие, растениеводствоLand cultivatijn, crop production

Беденко А. Е.
Мониторинг орошаемой кукурузы с использованием данных Sentinel-2.....38

Bedenko A. E.
Monitoring Irrigated Maize Using Sentinel-2 Data38

Гузенко А. Ю., Солонкин А. В.
Влияние современных микроудобрений на урожайность сортов ярового ячменя в засушливой зоне Волгоградской области.....46

Guzenko A. Yu, Solonkin A. V.
Effect of modern micronutrient fertilizers on the yield of spring barley varieties in the arid zone of the Volgograd Region.....46

Балыков Д. Е.
Применение хлористого калия совместно с органическими и минеральными удобрениями при возделывании ярового ячменя.....57

Balykov D. E.
Application of potassium chloride in combination with organic and mineral fertilizers in spring barley.....57

Биотехнология растенийPlant biotechnology

Исаков А. С., Гричик Е. Л., Жолобова О. О., Мalyukov Н. А., Могилевская И. В., Терещенко Т. В.
Эффективность стерилизации первичных эксплантов плодовых растений семейства Rosáceae при введении в культуру *in vitro*.....66

Isakov A. S., Grichik E. L., Zholobova O. O., Malyukov N. A., Mogilevskaya I. V., Tereshchenko T. V.
Sterilization efficiency of primary explants of fruit plants of the family Rosáceae during the initiation of *in vitro* culture.....66

АгроресомелиорацияAgroforestry

Хужахметова А. Ш., Сапронова Д. В.
Особенности выращивания сеянцев крупноплодных древесных пород с закрытой корневой системой.....76

Khuzhakmetova A. Sh., Saproнова D. V.
Features of Growing Seedlings of Large-Fruited Tree Species with a Closed Root System.....76

Игольникова И. С. Хужахметова А. Ш., Иванченко Т. В.
Особенности роста сеянцев *Ulmus pumila* L. при применении фосфогипса.....84

Igolnikova I. S., Khuzhakmetova A. Sh., Ivanchenko T. V.
Growth characteristics of *Ulmus pumila* L. seedlings under phosphogypsum application.....84

От редакции.....92

From the editorial board.....92

Содержание флавоноидов у *Calligonum aphyllum* Pall. в условиях Астраханской области и Ставропольского края

Кузьмин П. А. ✉, Шайкина М. А.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты определения содержания флавоноидов в образцах *Calligonum aphyllum* Pall. в условиях Астраханской обл. и Ставропольского края. Биологические образцы растений собраны в течение вегетационного периода 2025 г. на двух участках масового произрастания исследуемого вида. Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью изучения адаптационных механизмов *C. aphyllum* к засушливым условиям Астраханской обл. и Ставропольского края, что является ключевым для фитомелиорации и восстановления деградированных экосистем. Целью работы являлось выявление особенностей динамики содержания флавоноидов в зеленых побегах *C. aphyllum*, произрастающего в условиях Ставропольского края и Астраханской обл. Экстракцию образцов проводили в 80 %-ном этаноле. Определение содержания данного метаболита проводили на спектрофотометре при длине волны 420 нм. Количественные данные, полученные после расчета содержания флавоноидов, обрабатывали с помощью программы Statistica 12.0. Для определения различий между двумя независимыми выборками использовали критерий Манна-Уитни, р-Фридмана и медианы. Результаты исследования выявили статистически значимые результаты в содержании флавоноидов на обоих участках Астраханской обл. и Ставропольского края, отражая динамику к снижению концентрации в зеленых побегах *C. aphyllum*. На территории Астраханской обл. максимальное содержание флавоноидов в надземных зеленых побегах *C. aphyllum* наблюдалось в июне на участке 1 и в июле на участке 2. На территории Ставропольского края на участке 1 в июне содержание флавоноидов *C. aphyllum* было выше на 8 % по сравнению с июлем и на 56 % выше, чем в августе. На участке 2 в июне содержание данного метаболита было выше, чем в июле и августе, соответственно на 37 и 18 %. В целом в течение периода вегетации независимо от исследуемой территории и участка наблюдается динамика к снижению содержания флавоноидов в зеленых побегах *C. aphyllum*.

Ключевые слова. *Calligonum aphyllum* Pall., флавоноиды, адаптация, Астраханская обл., Ставропольский край.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного задания № FNFE-2025-0007 «Генотипирование древесных и кустарниковых пород устойчивых к ограничивающим рост и развитие факторам внешней среды».

Цитирование. Кузьмин П. А., Шайкина М. А. Содержание флавоноидов у *Calligonum aphyllum* Pall. в условиях Астраханской обл. и Ставропольского края // Научно-агрономический журнал. 2026; 1(132):05-12. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.001.05-12.

Поступила в редакцию: 23.01.2026

Принята к печати: 02.03.2026

Flavonoid content in *Calligonum aphyllum* Pall. under the conditions of Astrakhan region and Stavropol Krai

Kuzmin P. A. ✉, Shaikina M. A.

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", Volgograd, Russia

✉ – Для контактов/Corresponding author

Abstract. This study presents the results of determining flavonoid content in *Calligonum aphyllum* Pall. samples collected in the Astrakhan Region and Stavropol Krai. Plant material was collected during the 2025 growing season at two sites characterized by mass occurrence of the studied species. The relevance of the study stems from the need to investigate adaptive mechanisms of *C. aphyllum* to arid conditions in the Astrakhan Region and Stavropol Krai, which is essential for phytomelioration and the restoration of degraded ecosystems. The aim of the work was to identify patterns in the dynamics of flavonoid content in green shoots of *C. aphyllum* growing under the environmental conditions of these regions. Extraction was performed using 80 % ethanol. Flavonoid content was determined spectrophotometrically at a wavelength of 420 nm. Quantitative data were processed using Statistica 12.0 software. Differences between independent samples were assessed using the Mann-Whitney U test, the Friedman test, and median analysis. The results revealed statistically significant differences in flavonoid content at both study sites, demonstrating an overall decreasing trend in flavonoid concentration in green shoots over the growing season. In the Astrakhan Region, maximum flavonoid content in aboveground green shoots of *C. aphyllum* was recorded in June at Site 1 and in July at Site 2. In Stavropol Krai, at Site 1, flavonoid content in June was 8 % higher than in July and 56 % higher than in August. At Site 2, flavonoid levels in June exceeded those in July and August by 37 and 18 %, respectively. Overall, regardless of region or site, a consistent downward trend in flavonoid content in green shoots of *C. aphyllum* was observed throughout the growing season.

Keywords. *Calligonum aphyllum* Pall., flavonoids, adaptation, Astrakhan region, Stavropol Krai.

Funding. The research was carried out within the framework of the State Assignment No. FNFE-2025-0007 "Genotyping of tree and shrub species resistant to environmental factors limiting growth and development".

For citation. Kuzmin P. A., Shaikina M. A. Flavonoid content in *Calligonum aphyllum* Pall. under the conditions of Astrakhan region and Stavropol Krai // Scientific Agronomic Journal. 2026; 1(132):05-12. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.001.05-12.

Received: 23.01.2026

Accepted: 02.03.2026

Введение. Джугун безлистый (*Calligonum aphyllum* Pall.) – один из ключевых песчано-укрепляющих видов растений для защитного лесоразведения в пустынных и полупустынных регионах, который хорошо приспособлен к жизни на почвах полупустынь и пустынь юга России (Подпирогов, Хюпинин, 2023). Особенностью данного вида является редукция листьев, функцию фотосинтеза у которых выполняют ассимилирующие побеги, что является классической ксероморфной адаптацией, минимизирующей транспирационные потери. Растение обладает высоким адаптационным потенциалом для произрастания в экстремальных условиях – низким и высоким температурам, а также повышенной солености почвы (Song et al., 2020). Данный вид обладает рядом иных адаптаций, среди которых наибольший интерес представляет его способность синтезировать широкий спектр вторичных метаболитов. Современные представления о растительных фенольных соединениях включают более чем 10000 соединений, число которых продолжает увеличиваться, что обусловлено новыми методическими возможностями для их идентификации (Назаренко, Загоскина, 2023; Csepregi et al., 2013, Зыбинская, 2025).

Флавоноиды – группа природных полифенольных веществ, подразделяющихся на различные подклассы, такие как фенольные кислоты, флавоноиды, танины, кумарины, лигнаны, хиноны, стилбены и куркуминоиды (Gan et al., 2019). В ответ на комплекс биотических и абиотических стрессов в растениях индуцируется синтез защитных метаболитов, среди которых особая роль принадлежит фенольным соединениям. Как вторичные метаболиты растений, флавоноиды играют роль во многих биологических процессах и реакциях на факторы окружающей среды, включая участие флавоноидов в защитных механизмах против бактериальных и грибковых патогенов (Patil et al., 2024; Shen et al., 2022). Многочисленные исследования показывают, что экстракты цветочных почек, листьев, коры и корней демонстрируют потенциальную антиоксидантную активность, где наблюдается содержание флавоноидов в виде гликозидов с различными сахарными группами, связанными с гидроксильными группами (Курдюков, Плешакова, 2023; Verwal et al., 2021). В контексте взаимодействия растений

и окружающей среды флавоноидные аллелохимикаты отражают двойственную природу, стимулируя активность физиологических процессов при низких концентрациях и тормозящее действие при высоких концентрациях (Patil et al., 2024; Wei et al., 2026). Антиоксидантные свойства флавоноидов основаны на их способности служить ловушками для свободных радикалов, а также хелатировать ионы металлов, участвующих в перекисном окислении, способствовать эффективному взаимодействию с гидроксильными и пероксильными радикалами липидов, в результате образуя феноксилы, не участвующие в распространении окислительного процесса (Кастерова и др., 2022). В условиях хронического действия стресс-факторов (дефицит влаги, гипертермия, засоление, УФ-радиация) у растений активируются системы антиоксидантной защиты. В связи с этим содержание вторичных метаболитов в растениях сильно варьируется в зависимости от погодно-климатических условий (Маланкина и др., 2025; Gasmi et al., 2022; Wang et al., 2022).

Вследствие этого актуальными остаются вопросы по выявлению особенностей динамики содержания флавоноидов, как важных элементов антиоксидантной защиты, в зеленых побегах *C. aphyllum*, используемого в агролесомелиорации и борьбе с опустыниванием, для оценки формирования защитных реакций в засушливых условиях юга России.

Для определения количественного состава флавоноидных соединений в растении *C. aphyllum* широко используется доступный и информативный метод молекулярной абсорбционной спектроскопии в УФ и видимых областях спектра. Спектрофотометрические анализы, оценивающие общее содержание флавоноидов в образцах растений, дешевле и быстрее, а значит, более доступны, чем методы аналитической хроматографии, хотя они выявляют категории соединений, а не отдельные соединения (Кариева, Абдуназарова, 2025; Csepregi et al., 2013).

Целью исследования являлось выявление особенностей динамики содержания флавоноидов в зеленых побегах *C. aphyllum*, произрастающего в условиях Астраханской обл. и Ставропольского края.

Материалы и методы. В работе исследовано содержание флавоноидов в зеленых побегах *C. aphyllum* на двух территориях: Астраханская обл. и Ставропольский край. Отбор проб с каждой территории проводился на двух участках, обозначенных как участок 1 и участок 2 в течение вегетационного периода 2025 года: в апреле (фаза распускания почек), в июне (период максимальной вегетации) и в августе (конец активного роста).

Для спектрофотометрического определения содержания флавоноидов навеску зеленых побегов гомогенизировали в растворе 80 %-ного этанола с последующей экстракцией в твердотельном термостате. После этапа центрифугирования гомогената отобрали надосадочную жидкость и смешали с 5 %-ным раствором хлорида алюминия с дополнительным разведением 80 %-ным раствором этанола. Инкубация смеси проводилась в течение 30 минут в отсутствие света. Концентрацию флавоноидных соединений определяли на спектрофотометре SpectrostarNano (BMG Labtech, Германия) при длине волны 420 нм (Csepregi et al., 2013).

Выбор стандартного вещества при количественном определении флавоноидов осуществляли с учетом близости спектров поглощения комплекса рутина с Al (III) и спектров поглощения флавоноидов из извлеченных растительных объектов. Был построен градуировочный график, представленный на рис. 1, при длине волны 420 нм.

Сбор образцов был проведен на территории Астраханской обл.: участок 1 – памятник природы «Урочище Кордон» (47.401996, 47.845036), участок 2 – территория в 10 км к юго-западу от «Урочище Кордон» (47.374218, 47.714348). На территории Ставропольского края: участок 1 – 3-я дача 67 кв., село Ачикулак (44.524854, 45.128717), участок 2 – 3-я дача 51 кв., село Ачикулак (44.486779, 45.194745). Выбранные участки характеризуются типичными условиями произрастания для обследуемых территорий: участки в Астраханской обл. отличаются континентальным климатом, характеризуются малым количеством осадков, высокими температурами летом и холодными зимами, среднее количество осадков около 200 мм в год, преимущественно выпадают весной и осенью, летняя засуха является типичной особенностью климата. Участки в Ставропольском крае характеризуются умеренно-континентальным сухим климатом с мягкой зимой и жарким сухим летом, среднее количество осадков около 300-400 мм в год (Мелихова А. В., 2025).

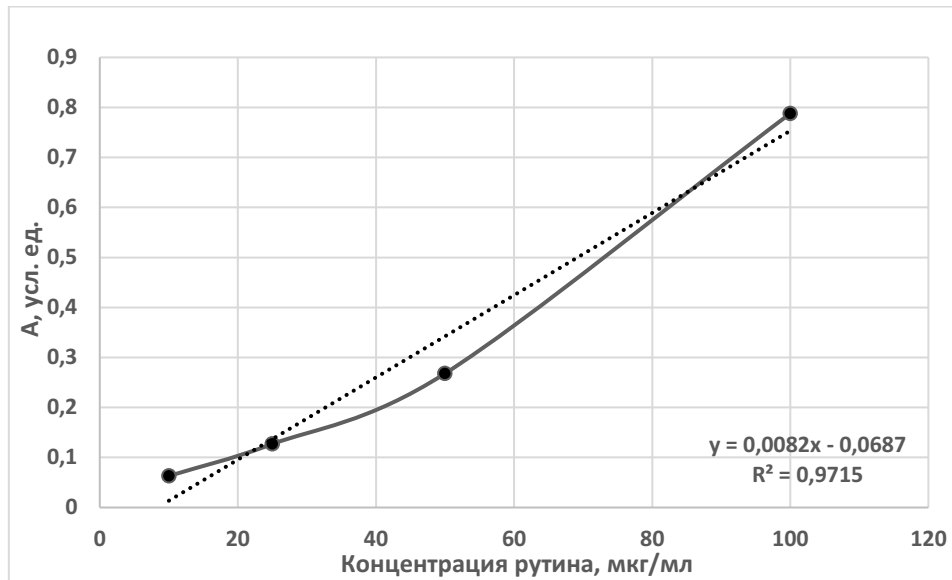


Рис. 1. Градуировочный график на рутин, мкг/мл. λ = 420 нм.

Количественные данные, полученные после расчета содержания флавоноидов, обрабатывали с помощью программы Statistica 12.0 (StatSoftInc., США). Рассчитывались показатели, принятые для оценки непараметрических выборок в биологических исследованиях: нормальность распределения значений, медиана [1-й квартиль, 3-й квартиль], достоверность различий выборок. Для определения различий между двумя независимыми выборками использовали критерий Манна-Уитни при уровне достоверности $p < 0,05$.

Результаты. Статистически значимые различия были выявлены в содержании флавоноидов между группами в июне и августе, в июле и августе на обоих участках Астраханской обл. и Ставропольского края ($p < 0,05$).

На территории Астраханской обл. максимальное содержание флавоноидов в надземных зеленых побегах *C. aphyllum* наблюдалось в июне на участке 1 и в июле на участке 2 (табл. 1). В июне содержание флавоноидов было выше по сравнению с августом на 18 и 30 %, соответственно на участке 1 и 2. В июле на участке 2 содержание данного метаболита было выше на 64 %, чем в августе. Также выявлено достоверное различие в содержании флавоноидов в июле между участком 1 и 2, которое составило 55 %.

Таблица 1

Содержание флавоноидов в зеленых побегах джугзуна безлистного в условиях Астраханской обл., мкг/мл

Территория	Участок	Срок			p-Fridman
		июнь	июль	август	
Астраханская обл.	у1	12,69 [12,05÷13,80]	12,33 [11,87÷12,42]	10,35 [10,20÷10,63]	0,005
	у2	13,94* [13,76÷14,07]	27,40* [26,73÷28,91]	9,73 [9,55÷9,87]	

Примечание: * – статистически значимые различия между группами в июне и июле (критерий Манна-Уитни, при $p < 0,05$); ME – медиана [Q1 и Q3] – первый и третий квартили, соответственно.

На территории Ставропольского края на участке 1 в июне содержание флавоноидов *C. aphyllum* было выше на 8 % по сравнению с июлем и на 56 % выше, чем в августе (табл. 2). На участке 2 в июне содержание данного метаболита было выше, чем в июле и августе, соответственно на 37 и 18 %.

В условиях Ставропольского края на участке 1 содержание флавоноидов в зеленых побегах *C. aphyllum* было выше на 14 и 41 % соответственно в июне и июле по сравнению с участком 2.

В целом в течение периода вегетации независимо от исследуемой территории и участка наблюдается динамика к снижению содержания флавоноидов в зеленых побегах *C. aphyllum*.

Таблица 2

**Содержание флавоноидов в зеленых побегах джужгуна безлистного
в условиях Ставропольского края, мкг/мл**

Территория	Участок	Срок			p-Fridman
		июнь	июль	август	
Ставропольский край	У1	23,94 [22,80÷24,62]	21,99 [24,51÷25,80]	10,44 [10,32÷10,79]	0,005
	У2	20,54* [19,38÷21,47]	12,94* [12,03÷14,97]	16,84 [16,51÷17,60]	

Примечание:* – статистически значимые различия между группами в июне и июле (критерий Манна-Уитни, при $p < 0,05$); ME – медиана [Q1 и Q3] – первый и третий квартили, соответственно.

Обсуждение. В исследованиях, проведенных на разных видах растений, отмечается важная роль флавоноидов в формировании защитных реакций от внешних неблагоприятных абиотических и биотических факторов. Это подтверждается сравнительным исследованием, в котором на примере конкретных видов растений (*Cirsium esculentum*, *Cirsium serratuloides* и *Ancathia igniaria*) был установлен видоспецифичный состав флавоноидов, причем именно эти соединения определяют различия в фенольном профиле между видами и родами, что доказывает их ключевую роль в формировании уникальных защитных и адаптивных свойств растений (Кастерова и др., 2022).

Нами проведен сравнительный анализ динамики содержания флавоноидов в зеленых побегах *Calligonum aphyllum* Pall., произрастающего в условиях Астраханской обл. и Ставропольского края. Наблюдаемое максимальное содержание флавоноидов в зеленых побегах исследуемого вида в июне – июле, особенно выраженный на участках Астраханской области, можно интерпретировать в контексте ответной адаптивной реакции ксерофитного кустарника на засушливые условия среды произрастания. В этот период растения подвергаются воздействию максимальной инсоляции, высоких температур и возможного дефицита влаги, что закономерно индуцирует активацию систем антиоксидантной защиты, ключевую роль в которой играют фенольные соединения, включая флавоноиды. В частности, прямое доказательство этого механизма демонстрирует исследование, проведенное на 14 хозяйственно значимых видах из семейства Яснотковые (*Lamiaceae*), где показано, что содержание фенольных соединений, включающих флавоноиды сильно варьирует под влиянием условий среды, и выделены таксоны с наиболее предсказуемыми показателями (Маланкина и др., 2025).

Полученные нами результаты согласуются с представлениями о роли флавоноидов как вторичных метаболитов, участвующих в адаптации растений к стрессовым условиям, особенно в аридных и засоленных территориях с исследованием на *Calligonum polygonoides* (Phog) из пустыни Тар, в котором выявлено высокое содержание фенольных соединений и флавоноидов, обеспечивающее значительный антиоксидантный потенциал в условиях аридной среды (Verwal et al., 2021). Пиковое содержание флавоноидов в июне – июле на обоих участках может быть связано с активацией защитных механизмов в период максимальной вегетации и повышенной инсоляции, что соответствует данным о стимулирующем влиянии УФ-излучения и температурного стресса на биосинтез флавоноидных соединений. Это согласуется с данными исследования, где в условиях УФ-В облучения на пак-чое (*Brassica rapa* L.) свет выступает как абиотический стресс-фактор, стимулировавший синтез флавоноидов через активацию ключевых ферментов и генов их биосинтеза (Hao et al., 2022).

Метод спектрофотометрического определения общего содержания флавоноидов, использованный в работе, доказал свою эффективность для сравнительных исследований в условиях ограниченных ресурсов, что соответствует подходам, описанным в работах по анализу фенольного профиля ксерофитных растений (Csepregi et al., 2013).

Проведенное исследование расширяет представления о биохимической адаптации *Calligonum aphyllum* – ключевого вида-фитомелиоранта, используемого для закрепления песков и восстановления деградированных аридных экосистем. Полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований, направленных на оценку антиоксидантного потенциала данного вида, изучение его адаптационного потенциала в засушливых условиях юга России.

Заключение. Исследование посвящено сравнительному анализу содержания флавоноидов в зеленых побегах джужгуна безлистного (*Calligonum aphyllum* Pall.), произрастающего в различных почвенно-климатических условиях Астраханской обл. и Ставропольского края. На территории Астраханской области максимальное содержание флавоноидов отмечено в июне на участке 1 и в июле на участке 2, с выявленным снижением концентрации к августу на 18 и 30 % соответственно. На территории Ставропольского края наибольшие значения зафиксированы в июне на обоих участках с последующим снижением к концу вегетационного периода. Статистически значимые различия в содержании флавоноидов между территориями и участками отражают влияние локальных экологических факторов, таких как влагообеспеченность и степень засоления почв. Полученные результаты свидетельствуют о динамическом характере накопления флавоноидов в течение вегетационного периода с тенденцией к снижению к фазе окончания активного роста. Это согласуется с представлениями о роли флавоноидов как вторичных метаболитов, участвующих в адаптации растений к стрессовым условиям аридных и засоленных ландшафтов. Данное исследование расширяет представления об адаптационных механизмах *C. aphyllum* как ключевого фитомелиоранта аридных зон и служит основой для дальнейших исследований, направленных на оценку его антиоксидантного потенциала и устойчивости в условиях опустынивания.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Гнеушева И. А., Солохина И. Ю., Лушников А. В. Биологические эффекты флавоноидов гречихи посевной. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2022;6. doi: <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-06-04> [Gneusheva I. A., Solokhina I. Y., Lushnikov A. V. Biological effects of buckwheat flavonoids. Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2022;6. doi: <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-06-04>].

Зыбинская П. А. Транскрипционная активность генов, вовлеченных в биосинтез антоцианов и флавонолов у *Quercus robur* L. в условиях засухи. Научно-агрономический журнал. 2025;4(131):58-64. doi: <https://doi.org/10.34736/FNC.2025.131.4.006.58-64> [Zybinskaya P. A. Transcriptional activity of genes involved in the biosynthesis of anthocyanins and flavonols in *Quercus robur* L. under drought conditions Scientific. Agronomy Journal. 2025;4(131):58-64. <https://doi.org/10.34736/FNC.2025.131.4.006.58-64>].

Кариева Ё. С., Абдуназарова Н. Б. Технологические параметры экстракции некоторых биологически активных веществ из травы чистотела большого (*Chelidonium majus* L.) и сушки полученного экстракта. Химия растительного сырья. 2025;2: 360-371. doi: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250214770> [Karieva Y. S., Abdunazarova N. B. Technological parameters of extraction of some biologically active substances from greater celandine herb (*Chelidonium majus* L.) and drying of the obtained extract. Chemistry of plant raw material. 2025;2: 360-371. doi: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250214770>].

Кастерова Е. А., Прокопьева Е. С., Мудрикова А. Е. Сравнительное изучение содержания полифенольных соединений в растениях видов *Cirsium esculentum*, *Cirsium serratuloides* и *Ancathia igniaria* (Asteraceae). Растительные ресурсы. 2022;58(3): 261-271. doi: <https://doi.org/10.31857/S0033994622030062> [Kasterova E. A., Prokopyeva E. S., Mudrikova A. E. Comparative study of the content of polyphenolic compounds in plants of the species *Cirsium esculentum*, *Cirsium serratuloides* and *Ancathia igniaria* (Asteraceae). Plant Resources. 2022;58(3): 261-271. doi: <https://doi.org/10.31857/S0033994622030062>].

Курдюков Е.Е., Финаёнова Н. В., Неклюдова В. А. Физико-химические свойства флавоноидов. Международный научно-исследовательский журнал. 2023;11 (137). doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.136> [Kurdyukov E. E., Finayonova N. V., Neklyudova V. A. Physico-chemical properties of flavonoids. International Research Journal. 2023;11 (137). doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.136>].

Курдюков Е. Е., Плешакова Д. А., Глебова Н. Н. Флавоноиды: классификация, биологические свойства и перспективы использования в медицине. Международный научно-исследовательский журнал. 2023;11(137). doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.143> [Kurdyukov E. E., Pleshakova D. A., Glebova N. N. Flavonoids: classification, biological properties and

prospects for use in medicine. International Research Journal. 2023;11 (137). doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.143>].

Лапенко Н. Г., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г. Растительность степных фитоценозов и особенности ее вегетации в условиях Ставропольского края. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;193(2): 9-18. doi: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19> [Lapenko N. G., Eroshenko F. V., Storchak I. G. Vegetation of steppe phytocenoses and features of its vegetation in the conditions of the Stavropol Territory. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;193(2): 9-18. doi: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19>].

Маланкина Е. Л., Еремеева Е. Н., Терехова В. И. Стабильность накопления фенольных соединений как видовая особенность представителей семейства Яснотковые (Lamiaceae). Известия ТСХА. 2025;1. doi: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-1-137-149> [Malankina E. L., Ereemeeva E. N., Terekhova V. I. Stability of accumulation of phenolic compounds as a species-specific feature of representatives of the Lamiaceae family. News of the Timiryazev Agricultural Academy. 2025;1. doi: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-1-137-149>].

Мелихова А. В. Пространственная структура антропогенных объектов в Астраханском заволжье. Известия НВ АУК. 2025;1(79). doi: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-24> [Melikhova A. V., Spatial structure of anthropogenic objects in the Astrakhan Trans-Volga region. Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2025;1(79). doi: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-24>].

Назаренко Л. В., Загоскина Н. В. Биофлавоноиды высших растений. Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2023;4(52). doi: <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.52.4.02> [Nazarenko L. V., Zagoskina N. V. Bioflavonoids of higher plants. MCU Journal of Natural Sciences. 2023;4(52). doi: <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.52.4.02>].

Подопригоров Ю. Н., Хюпинин А. А. Джузгун безлистный (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) – эффективный фитомелиорант в засушливых условиях Северного Прикаспия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023;2(70). doi: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-02-33> [Podoprigrorov Y. N., Khyupinin A. A. Aphyllous calligonum (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) – an effective phytomeliorent in arid conditions of the Northern Caspian region. Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2023; 2(70). doi: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-02-33>].

Соколова Е. Н., Ионов В. В., Эллер К. И. Изучение состава флавоноидов в ферментолитах жмыха брусники и жмыха рябины черноплодной. Химия растительного сырья. 2024;4:361-368. doi: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240414797> [Sokolova E. N., Ionov V. V., Eller K. I. Study of the composition of flavonoids in enzyme hydrolyzates of lingonberry press cake and chokeberry press cake. Chemistry of plant raw material. 2024;4: 361-368. doi: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240414797>].

Berwal M. K., Haldhar S.M., Ram C. Determination of total phenolic & flavonoids and antioxidant activity in *Calligonum polygonoides* L. from Thar Desert. Journal of Environmental Biology. 2021;42:1347-1354. doi: <https://doi.org/10.22438/jeb/42/5/MRN-1680>.

Csepregi K., Kocsis M., Hideg E. On the spectrophotometric determination of total phenolic and flavonoid contents. Acta Biol Hung. 2013;64(4):500. doi: <https://doi.org/10.1556/ABiol.64.2013.4.10>

Gan R. Y., Chan C. L., Yang Q. Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. Sprouted grains. 2019:191-246. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00009-9>.

Gasmi A., Triki T., Benabderrahim M. A. Assessing phenolic and molecular diversity of arta (*Calligonum comosum* L.), a wild Tunisian desert plant. South African Journal of Botany. 2022;151:166-174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.044>.

Hao J., Lou P. P., Han Y. D. et al. Ultraviolet-B irradiation increases antioxidant capacity of Pak-choi (*Brassica rapa* L.) by inducing flavonoid biosynthesis. Plants. 2022;11(6):766. doi: <https://doi.org/10.3390/plants11060766>.

Patil, J.R., Mhatre, K.J., Yadav K. et al. Flavonoids in plant-environment interactions and stress responses. Discover Plants. 2024;1:68. doi: <https://doi.org/10.1007/s44372-024-00063-6>.

Shen N., Wang T., Gan Q. et al. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. Food Chemistry. 2022;383:132531. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531>.

Song F., Li T., Burgess K.S. et al. Complete plastome sequencing resolves taxonomic relationships among species of *Calligonum* L. (Polygonaceae) in China. BMC Plant Biol. 2020;20:261. doi: <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02466-5>.

Wang, L., Chen, M., Lam, P.Y. et al. Multifaceted roles of flavonoids mediating plant-microbe interactions. Microbiome. 2022;10:233. doi: <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01420-x>

Wei S. S., Zhang Y. Y., Jin X. Y. et al. Divergent Nutrient Resorption Strategies in C4 Desert Shrubs: Stoichiometric Evidence From Assimilative Branches. Ecol Evol. 2026;16(1). doi: <https://doi.org/10.1002/ece3.72853>.

Wu, J., Lv, S., Zhao, L. et al. Advances in the study of the function and mechanism of the action of flavonoids in plants under environmental stresses. Planta. 2023;257(108). doi: <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04136-w>.

Информация об авторах

Кузьмин Петр Анатольевич, к. с-х. н., ведущий научный сотрудник с и.о. заведующего лабораторией молекулярной селекции, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, пр-кт. Университетский, 97, kuzmin-p@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1303-765X.

Шайкина Мария Андреевна, лаборант-исследователь, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, пр-кт. Университетский, 97, shaikina-m@vfanc.ru, ORCID: 0009-0003-8451-9773.

Information about the authors

Kuzmin Petr Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Acting Head of the Laboratory of Molecular Breeding, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., kuzmin-p@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1303-765X.

Shaikina Maria Andreevna, Laboratory Researcher, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., shaikina-m@vfanc.ru, ORCID: 0009-0003-8451-9773.

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.

Биоразнообразии эндофитных грибов в корневой системе *Krascheninnikovia ceratoides*

Крылов П. А., Малов В. О., Кузьмин П. А. ✉

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. В данной работе была проведена оценка видового разнообразия микоризы в корневой системе Терескена серого (*Krascheninnikovia ceratoides* Gueldenst.) в начале вегетационного периода 2025 г., произрастающего на засушливых территориях Астраханской обл. на территории «урочища Кордон» (47°24'49.2"N 47°53'01.2"E). Качество выделенной ДНК оценивалось по отношениям поглощения на длинах волн A260/280 и A260/230 на спектрофотометре SPECTROstar Nano (BMG Labtech, Германия), а концентрация измерялась на флуориметре Qubit® 4 (Thermo Fisher Scientific, США). ПЦР с праймерами, разработанными для ITS-региона грибов ITS1-F_KYO2 и ITS4_KYO2, проводилась в амплификаторе Gentier 96E (Tianlong, Китай) с использованием набора реагентов 5X qPCRmix-HS. Подготовка библиотеки для секвенирования проводилась по протоколу Ligation sequencing gDNA – Native Barcoding Kit 24 V14 (SQK-NBD114.24), размещенному на сайте Nanopore Community (версия NBE_9169_v114_revU_30Jan2025). Секвенирование было проведено на нанопоровом секвенаторе 3-го поколения MinION (Oxford Nanopore Technologies, Великобритания). Определение родовой принадлежности прочтений было выполнено программой minimap2 с настройками ax splice при помощи выравнивания по базе данных NT (NCBI). В результате анализа метагенома грибов было выявлено 129871 последовательностей ITS, которые были отнесены к отделам: *Ascomycota* – 128906, *Basidiomycota* – 895, *Mucoromycota* – 35 а также *Simplicillium* – 13. Помимо сапротрофных и патогенных грибов были идентифицированы представители рода *Mucoromycota*, которые представлены двумя видами арбускулярной эндомикоризы *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler и *Entrophospora drummondii* (Błaszk. & Renker) Błaszk., Niezgoda, B. T. Goto & Magurno, а также двумя немикоризными эндофитами *Linnemannia elongata* (Linnem.) Vandepol & Bonito и *Mortierella alpina* Peyronel. Полученные данные метагеномного анализа депонированы в международную базу NCBI под идентификатором BioProject: PRJNA1368747.

Ключевые слова. *Krascheninnikovia ceratoides*, эндомикориза, арбускулярная эндомикориза, Астраханская обл.

Финансирование. Исследования проведены в рамках гранта Российского научного фонда «24-26-00174 Видовое разнообразие арбускулярной эндомикоризы и ее влияние на засухоустойчивость ксерофитных растений аридных территорий юга России».

Цитирование. Крылов П. А., Малов В. О., Кузьмин П. А. Биоразнообразии эндофитных грибов в корневой системе *Krascheninnikovia ceratoides* // Научно-агрономический журнал. 2026; 1(132):13-20. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.002.13-20.

Поступила в редакцию: 3.11.2025

Принята к печати: 10.12.2025

Biodiversity of endophytic fungi in the root system of *Krascheninnikovia ceratoides*

Krylov P. A., Malov V. O., Kumin P. A. ✉

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", Volgograd, Russia

✉ – Для контактов/Corresponding author

Abstract. This study assessed the species diversity of endophytic and mycorrhizal fungi in the root system of *Krascheninnikovia ceratoides* Gueldenst. (Pamirian winterfat) at the beginning of the 2025 growing season. Plant samples were collected from arid territories of the Astrakhan Region at the site "Kordon" (47°24'49.2"N, 47°53'01.2"E). The quality of extracted DNA was evaluated based on absorbance ratios (A260/280 and A260/230) using a SPECTROstar Nano spectrophotometer (BMG Labtech, Germany), and DNA concentration was measured with a Qubit® 4 fluorometer (Thermo Fisher Scientific, USA). PCR amplification of the fungal ITS region was performed using primers ITS1-F_KYO2 and ITS4_KYO2 in a Gentier 96E thermal cyler (Tianlong, China) with the 5× qPCRmix-HS reagent kit. Library preparation for sequencing was carried out according to the Ligation Sequencing gDNA – Native Barcoding Kit 24 V14 protocol (SQK-NBD114.24) available on the Nanopore Community website (version NBE_9169_v114_revU_30Jan2025). Sequencing was performed using a third-generation nanopore sequencer, MinION (Oxford Nanopore Technologies, UK). Taxonomic assignment of reads at the genus level was conducted using minimap2 (–ax splice mode) with alignment against the NCBI NT database. Metagenomic analysis identified 129,871 ITS sequences assigned to the fungal phyla *Ascomycota* (128,906 sequences), *Basidiomycota* (895 sequences), and *Mucoromycota* (35 sequences); additionally, 13 sequences were assigned to the genus *Simplicillium*. Along with saprotrophic and pathogenic fungi, representatives of arbuscular endomycorrhizal fungi were detected, including *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler and *Entrophospora drummondii* (Błaszk. & Renker) Błaszk., Niezgodna, B.T. Goto & Magurno. Two non-mycorrhizal endophytes, *Linnemannia elongata* (Linnem.) Vandepol & Bonito and *Mortierella alpina* Peyronel, were also identified. The obtained metagenomic data have been deposited in the NCBI database under BioProject accession number PRJNA1368747.

Keywords. *Krascheninnikovia ceratoides*, endomycorrhiza, arbuscular endomycorrhiza, Astrakhan region.

Funding. This research was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation "24-26-00174 Species diversity of arbuscular endomycorrhiza and its effect on drought tolerance of xerophytic plants in arid territories of southern Russia".

For citation. Krylov P. A., Malov V.O., Kuzmin P. A. Biodiversity of endophytic fungi in the root system of *Krascheninnikovia ceratoides* // Scientific Agronomy Journal. 2026; 1(132):13-20. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.002.13-20.

Received: 3.11.2025

Accepted: 10.12.2025

Введение. Терескен серый (*Krascheninnikovia ceratoides* Gueldenst.) является типичным ксерофитом, важным элементом в фитоценозах засушливых территорий, применяется в агролесомелиоративных технологиях (Крылов и др., 2024). *K. ceratoides* – многолетний полукустарничек, играющий ключевую экологическую роль в пустынных, полупустынных и степных экосистемах, а также используется в качестве ценного кормового ресурса (Булахтина, 2022; Liu et al., 2024).

Устойчивость *K. ceratoides*, как и других кустарников полупустынь и сухих степей к комплексу неблагоприятных факторов внешней среды, так или иначе связаны с образованием симбиотических связей между микоризой и растением-хозяином. Эндофитная микориза, которая чаще всего представлена арбускулярными микоризными грибами (АМГ), с точки зрения симбиоза (мутуализма) обеспечивает питание, рост и формирование устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды, в частности, засухе, повышенным температурам (Huang et al., 2023; Kryukov et al., 2025, Wang et al., 2025, Bunn R. et al., 2009). Видовое разнообразие арбускулярно-микоризных грибов зависит от различных факторов, таких, как тип почвы (Alguacil et al., 2016), вид растения-хозяина (Busby et al., 2013), соседние растения и очередность заселения ими среды (Hausmann, N. T., Hawkes, C. V., 2010)

В связи с этим целью работы стало определение видового биоразнообразия микоризы, в частности арбускулярной эндомикоризы, в корневой системе *K. ceratoides*.

Материалы и методы. Образцы корней *K. Ceratoides* собирались с насаждений в Астраханской обл. на территории «урочища Кордон» (47°24'49.2"N 47°53'01.2"E) в июне 2025 г. Корни помещались в криопробирки со стабилизатором St-100 (Биолабмикс, Россия) и хранились при температуре –80 °С. Из навесок образца корня массой 45 мг была выделена ДНК с помощью набора D-Plants (Биолабмикс, Россия) и дополнительно очищена магнитными частицами AMPure XP Beads (Beckman Coulter, США). Гомогенизация образцов проводилась с помощью Precellys® 24 (Bertin Technologies, Франция). Качество выделенной ДНК оценивалось по отно-

шениям поглощения на длинах волн A260/280 и A260/230 на спектрофотометре SPECTROstar Nano (BMG Labtech, Германия), а концентрация измерялась на флуориметре Qubit® 4 (Thermo Fisher Scientific, США). ПЦР с праймерами, разработанными для ITS-региона грибов ITS1-F_KYO2 и ITS4_KYO2 (Toju et al., 2012), проводилась в амплификаторе Gentier 96E (Tianlong, Китай) с использованием набора реагентов 5X qPCRMix-HS (Евроген, Россия). Реакционная смесь объемом 25 мкл содержала 5 мкл 5X qPCRMix-HS, по 1 мкл каждого праймера (10 мкМ) и 150 нг ДНК. Протокол ПЦР был следующим: преинкубация при 95 °C в течение 5 мин, далее 35 циклов амплификации при 94 °C в течение 30 с, при 52°C в течение 30 с, при 72 °C в течение 1 мин и заключительная стадия 8 мин при 72 °C. Полученные ампликоны очищались на магнитных частицах AMPure XP Beads. Подготовка библиотеки для секвенирования производилось по протоколу Ligation sequencing gDNA – Native Barcoding Kit 24 V14 (SQK-NBD114.24), размещенному на сайте Nanopore Community (версия NBE_9169_v114_revU_30Jan2025). Секвенирование проводилось на нанопоровом секвенаторе 3-го поколения MinION (Oxford Nanopore Technologies, Великобритания). Расшифровка (бейзколлинг) сырого сигнала выполнялась с использованием программы Dorado (Oxford Nanopore Technologies, Великобритания) инструментом basecaller с удалением прочтений со средним качеством ниже q10 (--min-qscore 10) и удалением адаптерных последовательностей (--trim adapters), был указан использованный набор реагентов секвенирования (SQK-NBD114-24) и выставлена наибольшая точность (режим sup, super-accurate). Разделение прочтений по баркодам выполнялось программой Dorado, инструментом demux, указан набор для секвенирования SQK-NBD114-24. Определение родовой принадлежности прочтений выполнялось программой minimap2 с настройками -ax splice, при помощи выравнивания по базе данных NT (NCBI). Для обработки файлов применялись общепринятые инструменты bash, python и R. Полученные данные метагеномного анализа депонированы в международную базу NCBI под идентификатором BioProject: PRJNA1368747.

Результаты. В результате секвенирования метагенома было получено 1918965 прочтений со средним качеством q19.5, после чего они были отфильтрованы по длине с удалением прочтений короче 400 и длиннее 800 нуклеотидов, в соответствии с длиной ампликона, нижняя граница в 400 нуклеотидов была выставлена, чтобы не пропустить прочтения, представляющие собой не полностью секвенированный ITS-участок. Несмотря на то, что используемые праймеры предназначены для амплификации ITS микоризы, тем не менее произошла и амплификация ITS-региона растения хозяина *K. ceratoides*, что дало большую часть прочтений. Из всех прочтений 129871 были классифицированы как прочтения микоризы, из которых 128906 были классифицированы как относящиеся к отделу *Ascomycota*, 895 – к отделу *Basidiomycota*, 35 – *Mucoromycota*. Среди отдела *Ascomycota* наиболее представлены рода *Preussia* – 31369 прочтений, *Aporospora/Montagnula*, у которых таксономический статус видов не до конца определен, 28180 + 6323 прочтений, *Fusarium* – 27427 прочтений, *Monosporascus* – 10487 прочтений и *Simplicillium* – 13 (рис. 1).

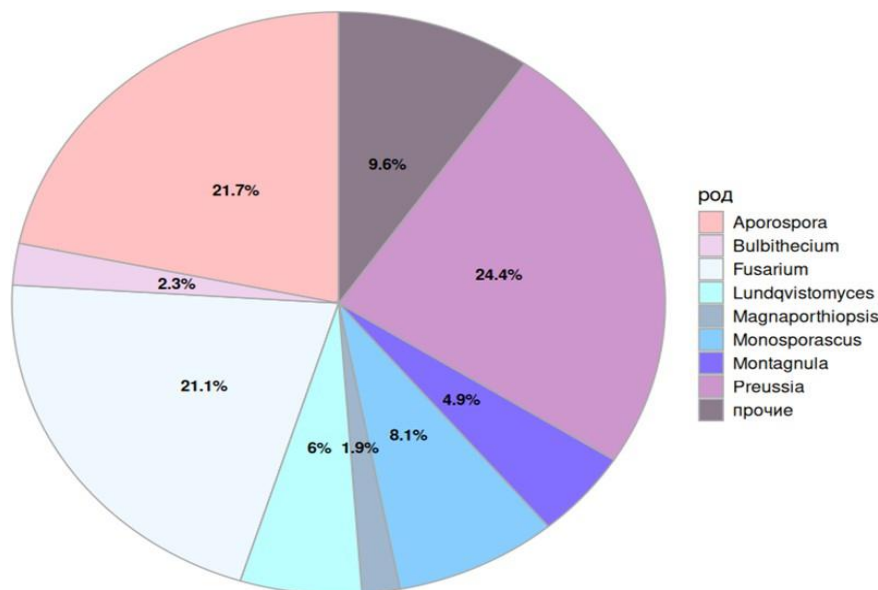


Рис. 1. Распределение ITS микоризы по родам в корневой системе *K. ceratoides*

Встречались также представители отдела Basidiomycota, но количество их прочтений было значительно ниже, чем прочтений Ascomycota.

Всего было обнаружено 508 видов грибов, из которых 467 относились к отделу Ascomycota, 33 – к отделу Basidiomycota и 4 к отделу Mucoromycota.

Анализ грибного метагенома в корневой системе *K. ceratoides* позволил найти представителей отдела Mucoromycota, которые были представлены 35 прочтениями (рис. 2), 22 из которых относились к подотделу Glomeromycotina, остальные – к подотделу Mortierellomycotina.

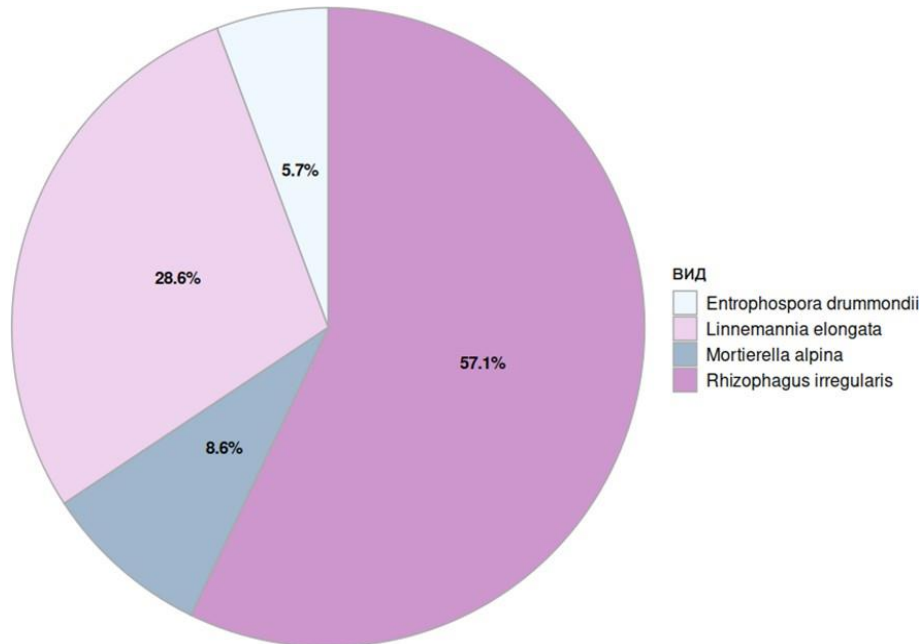


Рис. 2. Распределение ITS видов эндомикоризы, включая представителей арбускулярной эндомикоризы из отдела Mucoromycota в корневой системе *K. ceratoides*

Обсуждение. Наиболее представленные в корневой системе виды относились к отделу Ascomycota. Наибольшим числом прочтений представлен род *Preussia*, который описывают, как преимущественно сапротрофный, но в котором встречаются эндофитные виды (Arenal et al., 2007). У некоторых представителей отмечается также антимикробная активность (Mapperson et al., 2014).

Наименование рода *Aporospora* является условным и его таксономическое положение до конца не прояснено. С большой вероятностью он на самом деле относится к роду *Montagnula* (95,10 % сходства ITS-последовательностей), как показывают некоторые филогенетические исследования. Экология данного вида изучена слабо, немногие статьи, посвященные данному виду, рассматривают таксономические отношения внутри вида (Wanasinghe et al., 2024). Вторым по представленности является род *Fusarium*. Хотя грибы рода *Fusarium* иногда называют эндофитами (Nazir et al., 2022), но чаще всего пишут о них как о фитопатогенах (Ma et al., 2013). Тем не менее, есть свидетельство повышения устойчивости к высокому содержанию солей в результате симбиоза растения *Leymus mollis* и гриба *Fusarium culmorum* (Rodriguez, R., & Redman, R., 2008). Представители рода *Monosporascus* также являются фитопатогенами (Salem et al., 2013). В группе «прочие представители» выявлены прочтения представителей рода *Simplicillium*, которые часто относятся к фитопатогенам, однако имеются сведения об их антагонистической роли (Wang et al., 2024). Представителем рода *Bulbithecium* является один вид *Bulbithecium hyalosporum* Udagawa & T. Muroi, который в настоящее время активно изучается (Mancheary John et al., 2024). Представители *Lundqvistomyces* являются типичными сапротрофами (Marin-Felix et al., 2020), а представители *Magnoporthiopsis* – фитопатогенами корневой системы (Xia et al. 2021).

Такая картина представляется вполне типической для дикорастущего растения, вынужденного существовать в условиях постоянного контакта с патогенными и условно-патогенными организмами: корни растений постоянно заселены патогенными и эндофитными

грибами (Porras-Alfaro A, Bayman P, 2011). Поскольку образцы корней получены с внешне здоровых растений, логично предположить, что защитные механизмы растения сдерживают распространение патогенных грибов в пределах, в которых они не наносят критического ущерба растению. Возможно также возникновение антогонистических отношений между различными грибами, как патогенными, так и эндофитными (Wang et al., 2024). Исследование грибных сообществ корней ивы и березы выявило схожую картину: широкое распространение патогенных, эндофитных и эктомикоризных грибов при малой представленности арбускулярной эндомикоризы (Kolaříková Z et al., 2017).

Среди грибов арбускулярной эндомикоризы выявлено два вида, оба представлены малым числом прочтений. *R. irregularis* считается модельным видом для изучения арбускулярной эндомикоризы (Kokkoris et al., 2024) и участвует в регуляции метаболизма флавоноидов (Deng et al., 2024), устойчивости к засухе, тяжелым металлам и усвоения азота (Motaharpour et al., 2019; Wang et al., 2024). *E. drummondii* пока слабоизученный вид, упоминается только в таксономических исследованиях (Błaszowski et al., 2022; Silva et al., 2025). Ее близкий родственник *Entrophospora infrequens* выделяет алкалоид с противоопухолевыми (Amna et al., 2006) и иммуномодулирующими (Puri et al., 2007) свойствами. Еще два вида относились к подотделу *Mortierellomycotina* того же отдела *Mucoromycota*. Вид *L. elongata* также малоизучен, но отмечено его положительное влияние на рост растения-хозяина (Vandepol et al., 2022). *M. alpina* изучается прежде всего с точки зрения использования ее метаболитов (Chang et al., 2021, Baldeweg et al., 2019, Rassbach et al., 2023), при этом также отмечено ее положительное влияние на устойчивость растения-хозяина к патогенам рода *Fusarium* (Wang et al., 2022).

Как видно из результатов, большую часть полученных прочтений составляли ITS-участки растения-хозяина *K. ceratoides* что, в целом, ожидаемо, учитывая степень сходства данного региона у растений и грибов. Большое количество прочтений растения объяснимо изначально большим количеством ДНК растения в образце. Наличие прочтений *Glomeromycotina* и *Mortierellomycotina* свидетельствует о наличии данных организмов в образце корня. Малое количество прочтений может быть следствием как малой представленности грибов отдела *Mucoromycota* в корнях терескена, так и слабой амплификацией ITS-региона данных грибов в сравнении и ITS-регионами других организмов в образце. Не вызывает, однако, сомнений представленность грибов *Ascomycota*: *Preussia*, *Fusarium*, *Aporospora*/*Montangula*, *Monosporascus* и других, чье воздействие может варьироваться от симбиотического до патогенного.

Влияние грибов арбускулярной эндомикоризы на устойчивость растения-хозяина к неблагоприятным условиям среды и патогенам практически не изучено, но данные о разнообразии ее видового состава и видового состава прочих грибов, населяющих корни растений помогут расширить наши знания об этом вопросе и спланировать дальнейшие эксперименты по его изучению.

Заключение. В результате проведенных исследований по определению видового биоразнообразия эндофитных грибов в корневой системе *K. ceratoides* выявлен характерный спектр эндофитных грибов, представленный как сапротрофами, так и фитопатогенами. Кроме того, обнаружено два представителя арбускулярной эндомикоризы в корневой системе *K. Ceratoides*, одним из которых является типичным *R. irregularis* и *E. drummondii*. Влияние *E. drummondii* еще предстоит изучить, особенно его возможной роли в формировании устойчивости к засухе. Не исключено, что выявленный эндофит *L. elongata* и нитевидный гриб *M. alpina* могут вносить вклад в формирование адаптационных механизмов *K. ceratoides* к неблагоприятным факторам внешней среды.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Булахтина Г. К. Изучение адаптивного потенциала кормовых кустарниковых растений для использования в восстановлении деградированных полупустынных пастбищных экосистем. *Аграрный вестник Урала*. 2022;1(216): 2-11. doi: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-216-01-2-11>. [Bulakhtina G.K. Study of the adaptive potential of fodder shrubs for use in the restoration of degraded semi-desert pasture ecosystems. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2022;1(216): 2-11. doi: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-216-01-2-11>].

Крылов П. А., Малов В. О., Кузьмин П. А. Оценка наличия эндофитной микоризы у *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. в засушливых условиях. *Научно-агрономический журнал*. 2024;4(127): 17-21. doi: <https://doi.org/10.34736/FNC.2024.127.4.002.17-21>.

Alguacil M. D. M., Torres M. P., Montesinos-Navarro A., Roldán A. Soil characteristics driving arbuscular mycorrhizal fungal communities in semiarid mediterranean soils. *Applied and environmental microbiology*. 2016;82(11): 3348-3356. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.03982-15>.

Amna T., Puri S. C., Verma V., Sharma J. P., Khajuria R. K., Musarrat J., Spitteller M., Qazi G. N. Bio-reactor studies on the endophytic fungus *Entrophospora infrequens* for the production of an anti-cancer alkaloid camptothecin. *Canadian journal of microbiology*. 2006;52(3): 189-196. doi: <https://doi.org/10.1139/w05-122>.

Arenal F., Platas G., Pela'ez F. A new endophytic species of *Preussia* (*Sporormiaceae*) inferred from morphological observations and molecular phylogenetic analysis. *Fungal Divers*. 2007;25:1-17.

Baldeweg, F., Warncke, P., Fischer, D., Gressler, M. Fungal Biosurfactants from *Mortierella alpina*. *Organic letters*. 2019;21(5): 1444-1448. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.9b00193>.

Błaszowski J., Sánchez-García M., Niezgodna P., Zubek S., Fernández F., Vila A., Al-Yahya'ei M. N., Symanczik S., Milczarski P., Malinowski R., Cabello M., Goto B. T., Casieri L., Malicka M., Bierza W., Magurno F. A new order, Entrophosporales, and three new *Entrophospora* species in Glomeromycota. *Frontiers in microbiology*. 2022;13: 962856. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962856>.

Bunn R., Lekberg Y., Zabinski C. Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate temperature stress in thermophilic plants. *Ecology*. 2009;90(5): 1378-1388. doi: <https://doi.org/10.1890/07-2080.1>.

Busby R. R., Stromberger M. E., Rodriguez G., Gebhart D. L., Paschke, M. W. Arbuscular mycorrhizal fungal community differs between a coexisting native shrub and introduced annual grass. *Mycorrhiza*. 2013;23(2):129-141. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0455-x>.

Chang L., Chen H., Tang X., Zhao J., Zhang H., Chen Y. Q., Chen W. Advances in improving the biotechnological application of oleaginous fungus *Mortierella alpina*. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2021;105(16-17): 6275-6289. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11480-y>.

Deng S., Pan L., Ke T., Liang J., Zhang R., Chen H., Tang M., Hu W. *Rhizophagus Irregularis* regulates flavonoids metabolism in paper mulberry roots under cadmium stress. *Mycorrhiza*. 2024;34(4): 317-339. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-024-01155-7>.

Hausmann N. T., Hawkes C. V. Order of plant host establishment alters the composition of arbuscular mycorrhizal communities. *Ecology*. 2010;91(8): 2333-2343. doi: <https://doi.org/10.1890/09-0924.1>.

Huang S., Gill S., Ramzan M. Ahmad M. Z., Danish S., Huang P., Obaid S. A., Alharbi S. A. Uncovering the impact of AM fungi on wheat nutrient uptake, ion homeostasis, oxidative stress, and antioxidant defense under salinity stress. *Scientific reports*. 2023;13(1): 8249. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35148-x>.

Kokkoris V., Banchini C., Paré L., Abdellatif L., Séguin S., Hubbard K., Findlay W., Dalpé Y., Dettman J., Corradi N., Stefani F. *Rhizophagus irregularis*, the model fungus in arbuscular mycorrhiza research, forms dimorphic spores. *New Phytol*. 2024;242(4): 1771-1784. doi: <https://doi.org/10.1111/nph.19121>.

Kolaříková Z., Kohout P., Krüger C., Janoušková M., Mrnka L., Rydlová J. Root-associated fungal communities along a primary succession on a mine spoil: distinct ecological guilds assemble differently. *Soil Biol. Biochem*. 2017;113: 143-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.06.004>.

Kryukov A. A., Yurkov A. P., Gorbunova A. O., Kudriashova T. R., Gorenkova A. I., Kosulnikov Y. V., Laktionov Y. V. Evaluation of the biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi during regenerative succession in quarries. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2025;29(1): 72-78. doi: <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-09>.

Liu Y., Zheng C., Su X., Chen J., Li X., Sun C., Nizamani M. M. Comparative analysis and characterization of the chloroplast genome of *Krascheninnikovia ceratoides* (Amarathaceae): a xerophytic semi-shrub exhibiting drought resistance and high-quality traits. *BMC genomic data*. 2024;25(1): 10. doi: <https://doi.org/10.1186/s12863-024-01197-y>.

Ma L. J., Geiser D. M., Proctor R. H., Rooney A. P., O'Donnell K., Trail F., Gardiner D. M., Manners J. M., Kazan K. Fusarium pathogenomics. *Annu Rev Microbiol*. 2013;67: 399-416. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>.

Mancheary John P. U., Kandula S. K., Cheekatla S. S., Metta V. S. M. K., Peddi K. Qualitative and untargeted volatolome fingerprinting of *Aspergillus sp.* and *Bulbithecium sp.* by HS-SPME-GCMS and functional interactions. *Journal of basic microbiology*. 2024;64(11): e2400210. doi: <https://doi.org/10.1002/jobm.202400210>.

Mapperson R. R., Kotiw M., Davis R. A., Dearnaley J. D. The diversity and antimicrobial activity of *Preussia sp.* endophytes isolated from Australian dry rainforests. *Current microbiology*. 2014;68(1): 30-37. doi: <https://doi.org/10.1007/s00284-013-0415-5>.

Marin-Felix Y., Miller A. N., Cano-Lira J. F., Guarro J., García D., Stadler M., Huhndorf S. M., Stchigel A. M. Re-Evaluation of the order sordariales: delimitation of Lasiosphaeriaceae s. str., and introduction of the new families Diplogelasinosporaceae, Naviculisporaceae, and Schizotheciaceae. *Microorganisms*. 2020;8(9): 1430. doi: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091430>.

Motaharpoor Z., Taheri H., Nadian H. *Rhizophagus irregularis* modulates cadmium uptake, metal transporter, and chelator gene expression in *Medicago sativa*. *Mycorrhiza*. 2019;29(4): 389-395. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00900-7>.

Nazir A., Hafeez S., Habeeb A. R. Bioactive potentials of endophyte (*Fusarium redolens*) isolated from *Olea europaea*. *Archives of microbiology*. 2022;204(4):219. doi: <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02826-9>.

Porrás-Alfaro A., Bayman P. Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. *Annual review of phytopathology*, 2011;49: 291-315. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081831>.

Puri S. C., Amna T., Khajuria A., Gupta A., Arora R., Spitteller M., Qazi G. N. Immunomodulatory activity of an extract of the novel fungal endophyte *Entrophospora infrequens* isolated from *Nothapodytes foetida* (Wight) Sleumer. *Acta microbiologica et immunologica Hungarica*, 2007;54(3): 237-260. doi: <https://doi.org/10.1556/AMicr.54.2007.3.2>.

Rassbach J., Merseburger P., Wurlitzer J. M., Binnemann N., Voigt K., Rohlf M., Gressler, M. Insecticidal Cyclodepsitrapeptides from *Mortierella alpina*. *Journal of natural products*, 2023;86(7): 1715-1722. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.3c00146>.

Rodriguez R., Redman R. More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of experimental botany*, 2008;59(5): 1109-1114. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erm342>.

Salem I. B., Correia K. C., Boughalleb N., Michereff S. J., León M., Abad-Campos P., García-Jiménez J., Armengol J. *Monosporascus eutypoides*, a cause of root rot and vine decline in Tunisia, and evidence that *M. cannonballus* and *M. eutypoides* are distinct species. *Plant Dis*. 2013;97(6): 737-743. doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-12-0464-RE>.

Silva G. A. D., Sieverding E., Assis D. M. A., Goto B. T., Corazon-Guivin M. A., Oehl F. Revision of *Entrophosporales*, with three genera and an identification key for all species currently attributed to this order. *J Fungi (Basel)*. 2025;11(2): 97. doi: <https://doi.org/10.3390/jof11020097>.

Toju H., Tanabe A. S., Yamamoto S., Sato H. High-coverage ITS primers for the DNA – based identification of ascomycetes and basidiomycetes in environmental samples. *PloS one*. 2012;7(7): e40863. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040863>.

Vandepol N., Liber J., Yocca A., Matlock J., Edger P., Bonito G. *Linnemannia elongata* (Mortierellaceae) stimulates *Arabidopsis thaliana* aerial growth and responses to auxin, ethylene, and reactive oxygen species. *PloS one*. 2022;17(4): e0261908. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261908>

Wanasinghe D. N., Nimalrathna T. S., Qin Xian L., Faraj T. K., Xu J., Mortimer P. E. Taxonomic novelties and global biogeography of *Montagnula* (Ascomycota, Didymosphaeriaceae). *MycKeys*. 2024;101: 191-232. doi: <https://doi.org/10.3897/mycokeys.101.113259>.

Wang H., Wang H., Wei S., Sun L., Cheng L. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the root systems of *Populus euphratica* and *Haloxylon ammodendron* under different drought conditions in Xinjiang, China. *Front Plant Sci*. 2025;15: 1504650. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504650>.

Wang N., Fan X., Zhang S., Liu B., He M., Chen X., Tang C., Kang Z., Wang X. Identification of a Hyperparasitic *Simplicillium obclavatum* strain affecting the infection dynamics of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* on wheat. *Frontiers in microbiology*. 2020;11: 1277. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01277>.

Wang Y., Wang L., Suo M., Qiu Z., Wu H., Zhao M., Yang H. Regulating root fungal community using *Mortierella alpina* for *Fusarium oxysporum* resistance in panax ginseng. *Front Microbiol.* 2022;13: 850917. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.850917>.

Wang Z., Zhang S., Liang J., Chen H., Jiang Z., Hu W., Tang M. *Rhizophagus irregularis* regulates RiCPSI and RiCARI expression to influence plant drought tolerance. *Plant Physiol.* 2024;197(1): kiae645. doi: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae645>.

Xia Q., Rufty T., Shi W. Predominant microbial colonizers in the root endosphere and rhizosphere of turfgrass systems: *Pseudomonas veronii*, *Janthinobacterium lividum*, and *Pseudogymnoascus* spp. *Frontiers in microbiology.* 2021;12: 643904. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.643904>.

Информация об авторах

Крылов Павел Андреевич, к. б. н, ведущий научный сотрудник с и.о. заведующего лабораторией геномных и постгеномных технологий, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, пр-кт. Университетский, 97, krylov-p@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-9587-5886.

Малов Всеволод Олегович, инженер-исследователь лаборатории геномных и постгеномных технологий, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, пр-кт. Университетский, 97, malov-v@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-2766-0124.

Кузьмин Петр Анатольевич, к. с-х. н, ведущий научный сотрудник с и.о. заведующего лабораторией молекулярной селекции, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, пр-кт. Университетский, 97, kuzmin-p@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1303-765X.

Information about the authors

Krylov Pavel Andreevich, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Acting Head of the Laboratory of Genomic and Post-genomic technologies, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., krylov-p@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-9587-5886.

Malov Vsevolod Olegovich, Research Engineer, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., malov-v@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-2766-0124.

Kuzmin Petr Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Acting Head of the Laboratory of Molecular Breeding, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., kuzmin-p@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1303-765X.

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.

Эколого-гидрохимический анализ водных и почвенных ресурсов Сарпинской оросительно-обводнительной системы

Фоменко Ю. П.✉

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. Статья посвящена комплексной оценке эколого-мелиоративного состояния Сарпинской оросительно-обводнительной системы (СООС) в 2022-2024 гг. Актуальность исследования обусловлена проблемами засоления почв, деградации каналов и загрязнения вод в зоне недостаточного увлажнения (300-320 мм осадков/год). Выявлена динамика изменения качества воды и почв, а также предложены меры по оптимизации работы системы. Исследования проводились на территории Сарпинской оросительно-обводнительной системы с отбором проб воды (по ГОСТ Р 59024-2020), почв (по ГОСТ 17.4.4.02-2017) и грунтовых вод (по ГОСТ 59539-2021). Химический анализ выполнен в лаборатории ФНЦ агроэкологии РАН. Оценка мелиоративного состояния опиралась на методику Л. В. Кирейчевой и И. Ф. Юрченко. Анализировались данные по водоподаче, минерализации и ионному составу (Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ и др.). По результатам исследования установлено, что имеется рост минерализации сбросных вод с 2,2 до 7,2 г/л (осень 2023 г.), присутствует превышение норм по Cl^- (в 27 раз), SO_4^{2-} (в 1,5 раза), Na^+ (в 9-11 раз) в почвах; существует снижение эффективности водоподачи из-за заиливания каналов и изношенности оборудования; есть трансформация состава воды от сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевого к хлоридно-сульфатно-натриевому типу. Установлено, что ключевыми проблемами СООС являются засоление почв, загрязнение сбросных вод и технические ограничения инфраструктуры. Предложены краткосрочные рекомендации по улучшению состояния СООС, такие как промывка и гипсование почв, внедрение технологий деминерализации вод. К долгосрочным необходимо отнести реконструкцию каналов. Реализация рекомендаций позволит снизить экологические риски, повысить продуктивность земель и обеспечить устойчивое функционирование системы в условиях аридного климата.

Ключевые слова. Оросительная система; химический анализ; минерализация; водохозяйственные мероприятия; эксплуатационное состояние ГТС; засоление почв; дренажный сток.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН 125020401361-1.

Цитирование. Фоменко Ю. П. Эколого-гидрохимический анализ водных и почвенных ресурсов Сарпинской оросительно-обводнительной системы // Научно-агрономический журнал. 2026; 1(132):21-27. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.003.21-27.

Поступила в редакцию: 9.02.2026

Принята к печати: 11.03.2026

Ecological and hydrochemical analysis of water and soil resources of the Sarpinskaya irrigation and watering system

Fomenko Y. P.✉

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

✉ – Для контактов/Corresponding author

Abstract. The article presents a comprehensive assessment of the ecological and meliorative condition of the Sarpinskaya Irrigation and Watering System (SIWS) during the period 2022-2024. The relevance of the study is determined by the problems of soil salinization, canal degradation, and water pollution in a zone of insufficient precipitation (300–320 mm per year). The dynamics of changes in water and soil quality were identified, and measures for optimizing the operation of the system were proposed. The research was carried out within the territory of the Sarpinskaya Irrigation and Watering System with sampling of surface water (according to GOST R 59024-2020), soils (according to GOST 17.4.4.02-2017), and groundwater (according to GOST 59539-2021). Chemical analyses were conducted in the laboratory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences. The assessment of the meliorative condition was based on the methodology developed by L. V. Kireicheva and I.F. Yurchenko. Data on water supply, mineralization, and ionic composition (Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , etc.) were analyzed. The results showed an increase in the mineralization of drainage water from 2.2 to 7.2 g/L (autumn 2023). Exceedances of permissible concentrations in soils were recorded for Cl^- (by 27 times), SO_4^{2-} (by 1.5 times), and Na^+ (by 9-11 times). A decrease in water supply efficiency was observed due to canal siltation and the deterioration of hydraulic equipment. A transformation of water composition from the sulfate-hydrocarbonate-calcium type to the chloride-sulfate-sodium type was also identified. It was established that the key problems of the SIWS are soil salinization, pollution of drainage water, and technical limitations of the infrastructure. Recommendations for improving the system condition include short-term measures such as soil leaching and gypsum application, as well as long-term measures including canal reconstruction. Implementation of these recommendations will reduce environmental risks, increase land productivity, and ensure the sustainable functioning of the irrigation system under arid climate conditions.

Keywords. Irrigation system; chemical analysis; mineralization; water management measures; operational condition of hydraulic engineering structures; soil salinization; drainage runoff.

Funding. The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences No. 125020401361-1.

For citation. Fomenko Yu. P. Ecological and hydrochemical analysis of water and soil resources of the Sarpinskaya irrigation and watering system // Scientific Agronomy Journal. 2026; 1(132):21-27. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.003.21-27.

Received: 09.02.2026

Accepted: 11.03.2026

Введение. Устойчивость агропромышленного комплекса в условиях глобальной климатической изменчивости детерминирована двумя критическими ресурсными факторами: потенциалом почвенного плодородия и уровнем водообеспеченности. Наиболее остро данный вопрос стоит в регионах с засушливым климатом, где ведение продуктивного сельского хозяйства невозможно без применения агромелиоративных мероприятий. Аридные зоны, характеризующиеся дефицитом атмосферных осадков, высокими температурами, интенсивным испарением и хрупкостью экосистем, крайне уязвимы к антропогенному воздействию (Брылев и др., 2005). Создание и эксплуатация оросительных систем в таких регионах, с одной стороны, позволяют освоить значительные земельные массивы, а с другой, провоцируют возникновение комплекса серьезных экологических проблем (Ольгаренко, 2025). Нерациональная эксплуатация мелиоративных систем без учета локальных гидрогеологических условий и без своевременного проведения мелиоративных мероприятий со временем приводит к выводу ценных сельскохозяйственных земель из оборота, что влечет за собой значительные экономический и экологический ущерб как для региона, так и в целом для страны (Арзамасцева и др., 2021).

Таким образом, целью настоящего исследования стало проведение гидрохимического анализа водных и почвенных ресурсов СООС и обоснование мелиоративных решений, направленных на предотвращение деградационных процессов.

Материалы и методы. Объектом исследования является Сарпинская оросительно-обводнительная система, которая расположена в северо-восточной зоне Республики Калмыкия преимущественно на светло-каштановых, бурых полупустынных почвах в комплексе с солончаками (Алимов, 1982). Водосточником для Сарпинской ООС является р. Волга. Территория оросительно-обводнительной системы является частью Сарпинской низменности и в клима-

тическом отношении район исследования можно отнести к зоне недостаточного увлажнения, где годовое количество атмосферных осадков не превышает 300-320 мм (Церен-Убушиева, Сангаджиева, 2016). На правом берегу р. Волга располагается головной водозаборный узел системы у поселка Райгород и в его состав входят две плавучие насосные станции, размещающиеся на трех понтонах. Данная система имеет межхозяйственные распределительные каналы, длина которых составляет 388 км. Система включает 1224 ГТС, в т. ч. на межхозяйственной распределительной сети 164 шт., на хозяйственной и внутрихозяйственной, сбросной и дорожной сети 1050 шт. Общий объем воды, который может подаваться в систему, составляет 320,0 млн м³ (Зоценко, 1988; Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2026).

Химический состав оросительных и дренажно-сбросных вод, почвы и донных отложений с оросительной системы определялся по общепринятым методикам: анализ эколого-мелиоративного состояния оросительной системы выполнялся с применением методических рекомендаций по оценке экологической и мелиоративной ситуаций на орошаемых землях, разработанных Л. В. Кирейчевой и И. Ф. Юрченко (Кирейчева и др., 1994), отбор проб грунтовых вод осуществлялся посредством бурения скважин согласно ГОСТ 59539-2021 «Грунты. Методы отбора подземных вод» с использованием бурового прибора Н. Ф. Кулика (патент № 137613), отбор проб воды выполнялся согласно ГОСТ Р 59024-2020, отбор почвенных образцов согласно «ГОСТ 17.4.4.02-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» (введен в действие Приказом Росстандарта от 17.04.2018 N 202-ст).

Результаты. Данные по водоподаче и водосбросу на Сарпинской оросительно-обводнительной системе представлены в табл. 1 по годам исследований 2022-2024 гг.

Таблица 1

Данные по водоподаче и водосбросу на СОС за 2022-2024гг

Показатель		2022 г.	2023 г.	2024г.
Годовой объем водозабора, тыс. м ³	Плановое значение	155000	155000	155000
	Фактическое значение	155000	155000	182730
Годовой объем водоподачи потребителям, тыс. м ³	Плановое значение	116250	116250	113070
	Фактическое значение	102420	101420	132450

В 2022-2023 гг. разница между водозабором (155000 тыс. м³) и водоподачей (~102000 тыс. м³) составляла около 53000 тыс. м³. Это указывает на значительные потери или использование воды на собственные нужды (промывка сетей, технологические нужды). В 2024 г. разница сократилась до 50280 тыс. м³, что может свидетельствовать о снижении потерь.

Волжская вода, относится к первому классу качества и минерализация равна 0,3 г/л, она поступает в каналы в земляном русле. При транспортировке на территории с высоким содержанием водорастворимых солей в почвенном профиле вода ухудшает свое состояние по всем показателям и, прежде всего, по минерализации. Из сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевого она переходит в хлоридно-сульфатно-натриево-кальциевый тип, а минерализация воды возрастает до 0,7-1,0 г/л, что уже соответствует II классу качества (DeLaune, et al. 1998; Церен-Убушиева, Сангаджиева, 2016).

Мелиоративный фонд в зоне деятельности Сарпинской ООС представлен в табл. 2.

Таблица 2

Объемы орошаемых/осушенных площадей за 2022-2024 гг.

Объем орошаемых/осушенных площадей	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Проектная площадь, обслуживаемая МС (орошение), тыс. га	31,000	31,000	31,000
Фактическая площадь, обслуживаемая МС (орошение), тыс. га	31,064	31,064	31,064
Фактическая площадь сельхозугодий, обслуживаемая МС (орошение), тыс. га	31,064	31,064	31,064
Фактически полито, тыс. га	11,814	12,440	12,582
Не поливалось/осушалось (всего), тыс. га	19,250	18,624	18,482

Фактическая площадь 31,064 тыс. га стабильно превышает проектную 31,000 тыс. га на 0,064 тыс. га. Это незначительное превышение может быть связано с уточнением границ участков, включением дополнительных малых участков в систему обслуживания. Наблюдается небольшой рост эффективности использования оросительных мощностей с 38,0 до 40,5 %. Постепенное сокращение неиспользуемых площадей коррелирует с ростом доли политых земель.

В настоящее время в структуре водораспределения на СООС (рис. 1) наблюдается увеличение доли на орошаемые площади на 34,79 млн м³.

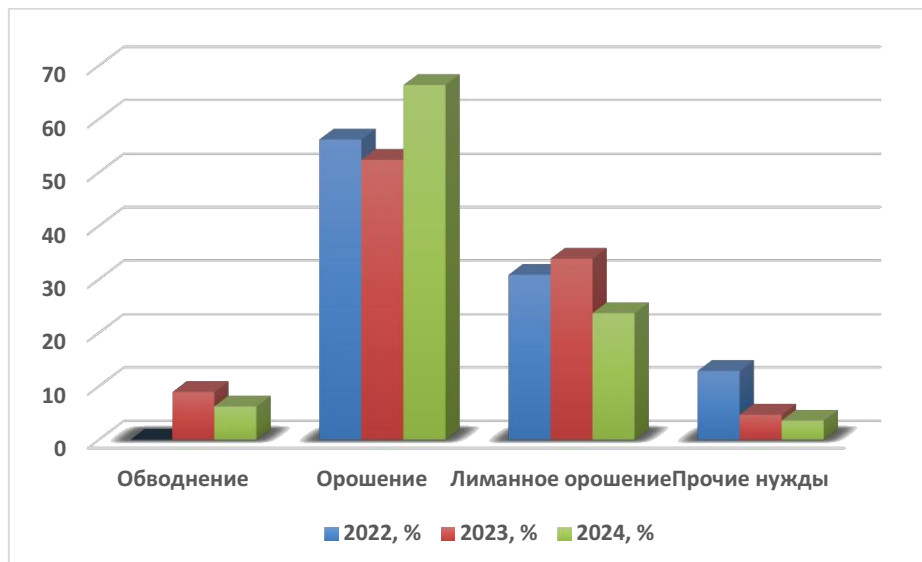


Рис. 1. Структура водораспределения на СООС за 2022-2024 гг.

Проанализировав данные по структуре водораспределения на СООС, видим, что общее водопотребление выросло на 30 % в 2024 г. после небольшого спада в 2023 г., доминирующим направлением остается орошение – 66,4 % в 2024 г.

В ходе проведения экспедиционных выездов, были взяты пробы оросительной и сбросной воды, для дальнейшего проведения исследований в лаборатории анализа почв ФНЦ агроэкологии РАН (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты химического анализа проб воды
Сарпинской оросительно-обводнительной системы в период 2023-2024гг.**

Название ОС	Минерализация, г/л	Ca ²⁺ (мг/л)	Cl ⁻ (мг/л)	SO ₄ ²⁻ (мг/л)	Na ⁺ (мг/л)	K ⁺ (мг/л)	HCO ₃ ⁻ (мг/л)	Mg ²⁺ (мг/л)
Сарпинская оросительно-обводнительная система	2023 год							
	<i>Оросительный канал (лето)</i>							
	0,8	±60	±90	±70	±20	±20	±178	±10
	<i>Оросительный канал (осень)</i>							
	0,7	±50	±80	±70	±30	±20	±175	±10
	<i>Сбросной канал (лето)</i>							
	2,2	±600	±2400	±2500	±1400	±40	±329	±400
	<i>Сбросной канал (осень)</i>							
	7,2	±500	±2400	±2200	±1400	±40	±275	±300
	2024 год							
	<i>Оросительный канал (лето)</i>							
	0,6	±60	±29,6	±53	±19,9	±3	±330	±13,3
<i>Оросительный канал (осень)</i>								
0,8	±60	±94	±78	±46	±20	±179	±12	
<i>Сбросной канал (лето)</i>								
2,4	±112	±530	±750	±660	> 0,5	±504	±70	
<i>Сбросной канал (осень)</i>								
6,1	±524	±2654	±2134	±1322	±36	±556	±74	

Ключевым показателем является минерализация в исследуемых каналах. Так в оросительном канале она низкая – от 0,6 до 0,8 г/л, но стабильна между сезонами и годами, по химическому составу хлоридно-натриевый, а в сбросном канале показатель минерализации осенью резко возрастает с 2,2 г/л (лето) до 7,2 г/л (осень) в 2023 г. до 2,4 г/л (лето) до 6,1 г/л (осень) в 2024 г., где уже преобладают ионы хлора, сульфата и натрия. В оросительных каналах концентрации большинства ионов снизились к 2024 г. (например, Cl^- с ± 90 мг/л до $\pm 29,6$ мг/л летом). Сбросные каналы демонстрируют высокую минерализацию, особенно осенью. Резкий рост хлоридов, сульфатов и нитратов указывает на поступление дренажных вод.

Стоит отметить, что в оросительном канале вода стабильно мягкая и подходит для полива, а в сбросном канале отмечается высокая жесткость осенью, особенно в 2023 г.

Коэффициент использования воды высок по сравнению с другими обводнительно-оросительными системами и составляет 0,85.

По результатам химического анализа проб почвы были получены следующие данные (рис. 2).

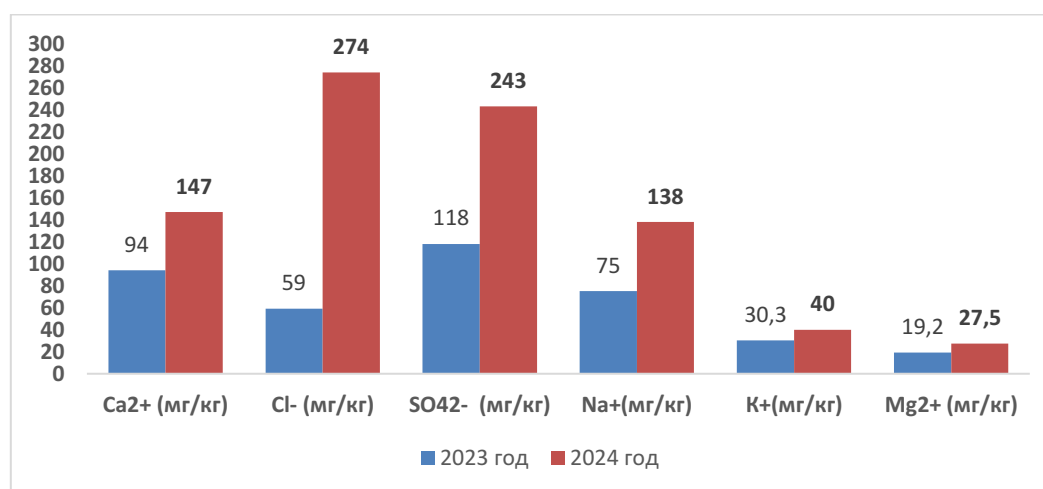


Рис. 2. Результаты химического анализа проб почвы Сарпинской оросительно-обводнительной системы в период 2023-2024 гг.

Значительный рост концентраций в сравнении по годам исследований был у Cl^- – с 59 до 274 мг/кг (в 4,6 раза), что говорит о существенном превышении от нормы (норма 10 мг/кг), показатель SO_4^{2-} , где изменения произошли с 118 до 243 мг/кг (в 2,1 раза), что также выше нормы (норма 160 мг/кг), результаты по Na^+ изменялись от 75 до 138 мг/кг (в 1,8 раза), что также значительно выше нормы (норма 12-15 мг/кг), изменения для NH_4^+ с 2,28 до >2 мг/кг выше нормы (норма 0,1 мг/кг).

Значения показателей следующих веществ, говорят об умеренном изменении и требуют дальнейшего мониторинга, так Ca^{2+} – от 94 до 147 мг/кг (в 1,6 раза) – вошел в нормативный диапазон (100-300 мг/кг), это положительная динамика для плодородия почвы. Результаты по Mg^{2+} изменились от 19,2 до 27,5 мг/кг (в 1,4 раза), но остаются ниже нормы (норма 48 мг/кг), а данные результатов по K^+ увеличились в 1,3 раза – от 30,3 до 40 мг/кг, но все еще ниже оптимального уровня (норма 50-300 мг/кг), что указывает на возможную потребность в калийных удобрениях (Кирейчева и др. 1994; Церен-Убушиева, Сангаджиева, 2016).

Обсуждение. В исследовании А. А. Сухова (Сухов и др. 2021) говорится, что проходимость каналов Сарпинской ООС заметно ухудшилась ввиду их заиления, зарастания водной растительностью и неравномерной подачи воды из р. Волги. Руководителями рисоводческих предприятий в зоне функционирования Сарпинской ООС также был отмечен недостаток подаваемой воды для полного созревания культур, изношенность насосного оборудования, отсутствие современных приборов для учета объемов подаваемой воды и низкая пропускная способность каналов системы (Арзамасцева и др., 2021). Еще одной из проблем доставки необходимого потребителям количества качественной воды в зоне функционирования Сарпинской ООС является прохождение участка магистрального канала Р-1 в близости от отстойников

промпредприятий г. Волгограда. На протяжении 2,1 км канал имеет общую дамбу с отстойниками нефтеперерабатывающего предприятия, а также в непосредственной близости от канала на протяжении 14,4 км проложен трубопровод сточных вод (Гарбуз, 2022).

На основе полученных данных можно рекомендовать следующие мероприятия:

1. Провести промывку почвы (обильный полив) для снижения концентрации Na^+ и Cl^- ;
2. Провести гипсование для вытеснения натрия кальцием и улучшения структуры почвы;
3. Использовать калийные (например, сульфат калия) и магниевые удобрения (сульфат магния);
4. Контролировать азотные подкормки – избегать избытка аммонийных форм;
5. Повторить анализ через сезон для оценки эффективности мер.

В дальнейшем существует необходимость продолжение изучения динамики изменений качества водных и почвенных ресурсов для оптимизации существующих схем водоотведения и разработки новых подходов к поддержанию устойчивого функционирования СООС.

Заключение. Проведенное комплексное исследование позволило дать объективную экологическую оценку состояния Сарпинской оросительно-обводнительной системы в период 2023-2024 гг. Результаты химического анализа проб почвы и воды показали, что в почвах наблюдается значительный негативный рост концентраций ионов солей: Cl^- (в 4,6 раз), SO_4^{2-} (в 2,1 раза), Na^+ (в 1,8 раз). Чтобы обеспечить безопасную работу оросительной системы, необходимы срочные меры: внедрение технологий очистки и деминерализации сбросных вод; постоянный мониторинг почв, грунтовых вод и экосистемы в целом; контроль уровня грунтовых вод, плодородия и засоления почв. Таким образом, реализация указанных мер обеспечит сохранение биоресурсов региона, повысит продуктивность орошаемых территорий и создаст условия для экологически безопасной эксплуатации Сарпинской оросительно-обводнительной системы в условиях сухого климата и позволит сохранить хрупкий баланс степной экосистемы.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Алимов А. Г. Эффективность облицовок оросительных каналов. *Гидротехника и мелиорация*. 1982;4:31-35 [Alimov A. G. Efficiency of lining irrigation channels. *Hydraulic engineering and land reclamation*. 1982;4:31-35].

Арзамасцева Н. В., Прохорова Н. В., Хамидова Л. Л. Проблема достоверности и полноты информации о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021;3: 19-128. doi: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-3-119-128> [Arzamasceva N. V., Prokhorova N. V., Khamidova L. L. The problem of reliability and completeness of information on the state and use of agricultural lands. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;3: 19-128. doi: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-3-119-128>].

Брылев В. А., Ключникова Н. М., Сергиенко Н. В. Памятники природы и заказники Волгоградской области и проблемы их инвентаризации. *Известия Волгоградского государственного педагогического университета*. 2005;4(13): 99-111. [Brylev V. A., Klyushnikova N. M., Sergienko N. V. Natural Monuments and Nature Reserves of the Volgograd Region and the Problems of Their Inventory. *Izvestiya of the Volgograd State Pedagogical University*. 2005;4(13): 99-111].

Гарбуз А. Ю. Натурные обследования и анализ технического состояния Сарпинской оросительно-обводнительной системы. *Экология и водное хозяйство*. 2022; 4(4):139-151. doi: <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-139-151> [Garbuz A. Yu. Field surveys and analysis of the technical condition of the Sarpa irrigation and water supply system. *Ecology and Water Management*. 2022;4(4): 139-151. doi: <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-4-139-151>].

Зоценко А. Ф. Противопермеабильная эффективность бетонных облицовок каналов. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1988;5: 25-27. [Zotzenko A. F. Anti-filtration efficiency of concrete channel linings. *Land Reclamation and Water Management*. 1988;5: 25-27].

Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inform-raduga.ru/> (дата обращения: 06.03.2026). [Information portal of the All-Russian Research Institute Raduga [Electronic resource]. Access mode: <https://inform-raduga.ru/> (accessed: 06.03.2026)].

DeLaune R. D., Patrick Jr. W. H., Guo T. The redox-pH chemistry of chromium in water and sediment. *Metals in Surface Waters*. 1998: 241-255.

Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф., Яшин В. М. Методические рекомендации по оценке экологической и мелиоративной ситуаций на орошаемых землях. Москва: Россельхозакадемия, 1994 [Kireicheva L. V., Yurchenko I. F., Yashin V. M. Methodological Recommendations for Assessing the Environmental and Land Reclamation Situations on Irrigated Lands. Moscow: Russian Agricultural Academy, 1994].

Ольгаренко Г. В. Анализ перспектив и рисков развития мелиоративного комплекса Северного Кавказа с учетом агроклиматического потенциала региона. *Научно-агрономический журнал*. 2025;4(131): 40-47. doi: <https://doi.org/10.34736/FNC.2025.131.4.004.40-47>. [Ol'garenko G. V. Analysis of prospects and risks of the development of the north caucasus land reclamation complex, taking into account the agroclimatic potential of the region. *Scientific and Agronomic Journal*. 2025;4(131): 40-47. doi: <https://doi.org/10.34736/FNC.2025.131.4.004.40-47>].

Сухов А. А., Арьков Д. П., Никифорова Д. Н., Ляшенко К. А. Сарпинская оросительно-обводнительная система на территориях Волгоградской, Астраханской областей и Республики Калмыкия: ее геоэкологические и гидротехнические проблемы и пути их решения. *Вестник мелиоративной науки*. 2021;2: 28-32. [Sukhov A. A., Arykov D. P., Nikiforova D. N., Lyashenko K. A. Sarpinskaya irrigation and water supply system in the territories of the Volgograd, Astrakhan regions and the Republic of Kalmykia: its geo-ecological and hydraulic engineering problems and ways of their solution. *Bulletin of Land Reclamation Science*. 2021;2: 28-32].

Церен-Убушиева Д. В., Сангаджиева Л. Х. Динамика гидролого-гидрохимических характеристик Сарпинской водной системы в экологических условиях водопользования. Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы международной научно-практической конференции, Москва, 29-30 марта 2016. Том II. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2016;264-268. [Tseren-Ubushieva D. V., Sangadzhieva L. Kh. Dynamics of hydrological and hydrochemical characteristics of the Sarpa water system in the ecological conditions of water use. Land Reclamation and Water Management: Problems and Solutions: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Moscow, March 29-30, 2016. Volume II. Moscow: D. N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, 2016;264-268].

Информация об авторе

Фоменко Юлия Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97), e-mail: fomenko-y@vfanc.ru, ORCID: 0009-0008-6050-6325.

Information about the author

Fomenko Yulia Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading 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: fomenko-y@vfanc.ru, ORCID: 0009-0008-6050-6325.

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. 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.

Геоинформационный анализ территории Ольховского района Волгоградской области и оценка условий размещения сельскохозяйственных угодий

Дереза Д. С. ✉

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

Аннотация. Развитие геоинформационных технологий в последние десятилетия позволило автоматизировать методы математико-картографического моделирования агроландшафтов, главная цель которого – построение комплексных моделей, отражающих их пространственно-временные особенности. Использование методов моделирования позволяет оценить пригодность земель к сельскохозяйственной деятельности, прогнозировать развитие эрозионных и дефляционных процессов, проектировать размещение защитных лесных насаждений и проводить другие мероприятия, способствующие сохранению почвенного плодородия и устойчивого развития земель. В комплексном моделировании агроландшафтов на основе использования данных дистанционного зондирования Земли на первом этапе проводится анализ геоморфологических условий и моделирование рельефа с использованием данных дистанционного зондирования. Рельеф определяет эрозионную устойчивость обрабатываемых земель. Кроме того, рельеф оказывает влияние на формирование аккумулятивных отложений, распределение тепла и влаги и, в конечном итоге, на развитие растительного покрова. Целью работы является оценка возможности возникновения и развития водной эрозии сельскохозяйственных угодий с учетом рельефа территории и их размещения. Новизна исследования заключается в разработке пространственной модели эрозионной опасности территории, как возможности развития различных форм водной эрозии при соответствующих геоморфологических и погодных условиях (дождевой, ливневой или талый сток), а также в разработке классификации территории исследования по степени эрозионной опасности. Выбор в качестве территории исследования Ольховского р-на Волгоградской обл., объясняется высокой степенью его сельскохозяйственного освоения. Площадь сельскохозяйственных угодий района составляет 275,9 тыс. га (86 % от площади района). Геоинформационный анализ охватывает ряд этапов: построение и анализ карты рельефа на основе цифровой модели рельефа SRTM; построение и анализ гипсометрических профилей поверхности; построение моделей крутизны и экспозиции склонов; оценка эрозионной опасности территории.

Проведенный геоморфологический анализ показал, что на территории исследования базис эрозии равен 190 м, при этом преобладающий диапазон от 100175 м занимает 70 % территории исследования. В структуре рельефа около 55 % площади занимают поверхности крутизной от 0 до 2°, тем не менее фиксируются крутизна до 5°, а максимальные значения 10-15° характерны для склонов балочных систем. При оценке экспозиции склонов выявлено преобладание склонов южной составляющей. По результатам исследований можно сделать вывод о том, что опасность развития водной эрозии приурочена к геоморфологическим условиям территории Ольховского р-на, но так-как большая площадь обрабатываемых угодий размещена на территориях с низкой опасностью возникновения эрозионных процессов, можно сделать вывод о низкой потере плодородия почв от водной эрозии на обрабатываемых полях.

Ключевые слова. Цифровая модель рельефа, SRTM, геоморфологический анализ, Доно-Медведицкая гряда, Приволжская возвышенность.

Цитирование. Дереза Д. С. Геоинформационный анализ территории Ольховского района Волгоградской области и оценка условий размещения сельскохозяйственных угодий // Научно-агрономический журнал. 2026; 1(132):28-37. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.004.28-37.

Поступила в редакцию: 13.12.2025

Принята к печати: 16.03.2026

✉ – Для контактов/Corresponding author

Geoinformation analysis of the territory of the Olkhovsky district of the Volgograd region and assessment of conditions for agricultural land use

Dereza D. S. ✉

Volgograd State University, Volgograd, Russia

Abstract. The development of geoinformation technologies in recent decades has made it possible to automate methods of mathematical and cartographic modeling of agroforestry landscapes, the main purpose of which is to create integrated models reflecting their spatial and temporal characteristics. The use of modeling methods makes it possible to assess land suitability for agricultural use, predict the development of erosion and deflation processes, design the placement of protective forest belts, and implement other measures aimed at preserving soil fertility and ensuring sustainable land use. In the integrated modeling of agroforestry landscapes based on remote sensing data, the first stage involves the analysis of geomorphological conditions and terrain modeling using remote sensing data. Terrain plays a key role in determining the erosion resistance of cultivated land. In addition, it influences the formation of accumulative deposits, the distribution of heat and moisture, and ultimately the development of vegetation cover. The aim of this study was to assess the potential occurrence and development of water erosion on agricultural lands taking into account terrain characteristics and land use patterns. The novelty of the research lies in the development of a spatial model of erosion hazard representing the potential development of various forms of water erosion under specific geomorphological and weather conditions (rainfall, storm runoff, or snowmelt runoff), as well as in the development of a classification of the study area according to the degree of erosion hazard. The Olkhovsky district of the Volgograd region was selected as the study area due to its high level of agricultural development. The area of agricultural land in the district is 275.9 thousand hectares, accounting for 86 % of the total district area. The geoinformation analysis included several stages: construction and analysis of a terrain map based on the SRTM digital elevation model; development and analysis of hypsometric surface profiles; modeling of slope steepness and aspect; and assessment of the erosion hazard of the territory. The geomorphological analysis showed that the erosion base within the study area is 190 m, while the predominant elevation range of 100-175 m occupies about 70 % of the territory. In the relief structure, approximately 55 % of the area is represented by surfaces with slopes ranging from 0 to 2°. However, slopes of 3-5° are also present, while maximum values of 10-15° are typical for slopes of gully systems. The analysis of slope aspect revealed the predominance of slopes with a southern exposure. Based on the results obtained, it can be concluded that the potential development of water erosion is related to the geomorphological conditions of the Olkhovsky district. However, since a significant portion of cultivated land is located in areas with low erosion risk, the expected loss of soil fertility due to water erosion on arable lands is relatively low.

Keywords. Digital elevation model; SRTM; geomorphological analysis; Dono-Medveditskaya Ridge; Volga Upland.

For citation. Dereza D. S. Geoinformation analysis of the territory of the Olkhovsky district of the Volgograd region and assessment of conditions for agricultural land use // Scientific Agronomy Journal. 2026; 1(132):28-372. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.004.28-37.

Received: 13.12.2025

Accepted: 16.03. 2026

Введение. В комплексном моделировании агролесоландшафтов на первом этапе проводится анализ рельефа, который представляет собой литогенную основу ландшафта и является ключевым фактором в пространственной дифференциации растительных сообществ (Florinsky, Kuryakova, 1996; Vierman, Montgomery, 2014). Здесь происходит перераспределение тепла и влаги, миграция химических элементов. Морфология форм мезорельефа и его элементов способствует

✉ – Для контактов/Corresponding author

развитию экзогенных процессов, таких как плоскостная и линейная эрозия, оказывающих неблагоприятное влияние на сельскохозяйственные угодья, приводящие к деградации почвенно-растительного покрова (Кулик К. Н. и др., 2009). При дальнейшем исследовании агролесоландшафтов на геоморфологическую основу наносятся остальные характеристики, такие как почвенный покров, контуры сельскохозяйственных угодий, защитные лесные полосы и т. д.

В настоящее время исследование рельефа с целью адаптивного развития сельского хозяйства отдельных регионов широко представлено в научных исследованиях. В Волгоградской обл. работы, посвященные геоинформационному анализу рельефа сельскохозяйственных угодий, проводятся в ФНЦ Агроэкологии РАН (Юферев и др., 2010; Рулев, Юферев, 2017; Синельникова, 2021). В Самарской области геоморфологические условия изучаются с целью проведения дальнейшего землеустройства агропромышленного комплекса (Иванова, Григорьев, 2023). В работе Стекольниковой К. Е. анализируется роль рельефа в урожайности озимой пшеницы (Стекольников, 2022). Также подчеркивается роль рельефа как ландшафтообразующего фактора (Беляева, 2020).

Отдельное направление в изучении рельефа отводится современным методам, основанным на применении данных дистанционного зондирования Земли в комплексе с геоинформационными технологиями. Главным инструментом, позволяющим исследовать рельеф дистанционно, являются цифровые модели рельефа (ЦМР). Можно выделить несколько способов их получения. Первый – оцифровка крупномасштабных топографических карт (масштаба 1:25 000 и крупнее) и генерация на их основе в среде ГИС интерполированной поверхности. Второй – геоинформационная обработка результатов геодезических изысканий. Третий – использование готовых цифровых моделей рельефа, полученных с помощью радарной топографической съемки поверхности (Павлова, 2009; Хаванская, 2016; Тесленок и др., 2020, Хаванская, Шапрова, 2024). Наиболее популярной ЦМР является SRTM с разрешением 1 угловая секунда или 30 м.

В данной работе объектом исследования является Ольховский р-н Волгоградской обл., отличающийся высокой степенью сельскохозяйственного освоения. Исходя из этого, цель проведенного исследования – анализ геоморфологических особенностей района с применением геоинформационных технологий.

Материалы и методы. Для геоинформационного анализа рельефа была использована цифровая модель рельефа SRTM 1 arcsecond. Геоинформационный анализ, выполненный в геоинформационной системе ArcGis, включал этапы:

1. Построение карты рельефа на основе ЦМР. Способ классификации – вручную через интервал 25 м.
2. Построение на основе ЦМР продольного и поперечного профилей территории.
3. Построение и анализ карты крутизны склонов.
4. Классификация территории по степени опасности эрозионных процессов.
5. Построение и анализ карты водотоков с использованием функций гидрологического моделирования.

При выделении порядков водотоков применяется геоморфологический подход. Метод определения порядка водотоков разработан Страхлером (Strahler) в 1952 г. Водотоки, не имеющие притоков, являются водотоками 1 порядка. Слияние водотоков 1 порядка дает водоток 2 порядка. Слияние водотоков 2 порядка приводит к образованию водотока 3 порядка и т. д. Порядок водотоков возрастает, только если водотоки с одинаковым порядком пересекаются. Следовательно, после слияния сегментов первого и второго порядка, результирующий водоток будет по-прежнему водотоком второго порядка.

6. Построение и анализ карты экспозиции склонов.
7. Построение и анализ карты почвенного бонитета сельских поселений Ольховского р-на.
8. Построение геоморфологических карт, отражающих особенности рельефа территории исследований: коэффициента горизонтальной расчлененности рельефа, классов эрозионной опасности территории.

Для иллюстрации общих свойств территории, а также в качестве подложки для составления карт использовался космический снимок сверхвысокого разрешения провайдера Махаг.

Результаты. Район исследования расположен в бассейне р. Иловли, на юго-восточном склоне Доно-Медведицкой гряды и северо-западном склоне Приволжской возвышенности. Эрозионный врез территории составляет 190 м, минимальная высота – 35 м находится в пойме Иловли в южной части района. Максимальная высота (225 м) приурочена к водоразделам левобережной части.

Преобладающие высоты района – от 100 до 175 м. На них приходится около 70 % общей площади. На территории с высотами менее 100 м – около 23 % площади (рис. 1).

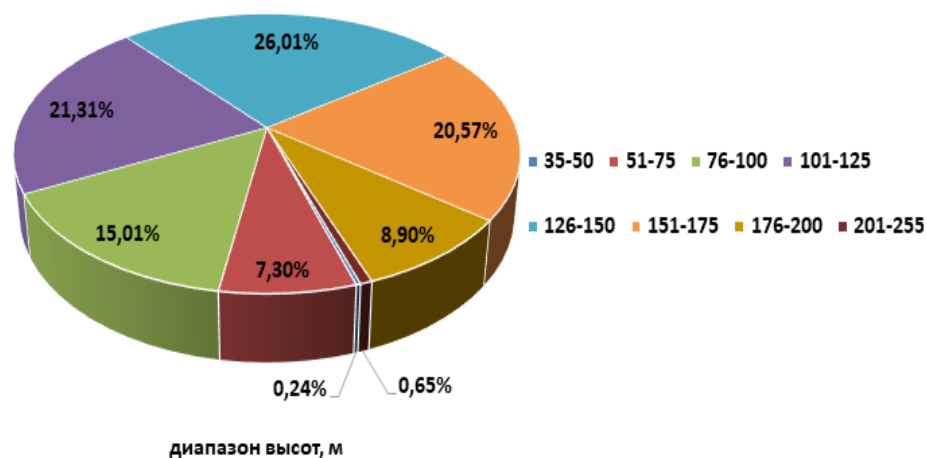


Рис. 1. Соотношение площадей ступеней высоты рельефа

По диаграмме распределения высот (см. рис. 1) можно предположить равномерность их распределения в целом.

Для анализа морфологических особенностей на основе цифровой модели SRTM были построены продольный и поперечный профили рельефа, протяженность каждого составила 58 км (рис. 2). При этом максимальные высоты на левом берегу на 40 м превышают таковые правого берега Иловли. Профиль тальвега Иловли на территории исследований плавно-вогнутый. Такая форма соответствует профилю равновесия и является наиболее распространенной. Перепад высот в русловой части района исследования составляет 30 м.

Моделирование крутизны склонов осуществляется с целью оценки возможности возникновения и развития неблагоприятных процессов, таких как дефляция и водная эрозия. Главными факторами развития дефляции выступает активный ветровой режим, гранулометрический состав почв и рельеф местности. При крутизне склона от 0 до 2° (плоские и очень пологие поверхности) преимущественным видом деградации будет дефляция, при крутизне склона от 2° до 8° (пологие и покатые поверхности) отмечают совместное проявление дефляции и водной эрозии под действием ветра и временных водотоков.

В районе исследования преобладает крутизна от 0 до 1°, что соответствует плоским поверхностям. Крутизна более 8° характерна для склоновых участков оврагов и балок (рис. 3). Наибольшие значения крутизны склонов отмечаются в восточной части полигона, расположенной на Приволжской возвышенности. Водораздельные пространства широкие, что является благоприятным условием для сельскохозяйственного использования. В зависимости от крутизны склона проведена классификация территории по опасности развития неблагоприятных процессов деградации земель (рис. 4).

Моделирование и последующий морфометрический анализ эрозионной сети имеет большое значение при оценке интенсивности природных и антропогенно обусловленных эрозионных процессов (Павлова А. Н., 2009; Хаванская Н. М., Шапова А. А., 2024). Эти данные востребованы при инвентаризации земельных и почвенных ресурсов. Структура эрозионной сети служит одним из диагностических признаков процессов возможной деградации (Хаванская, 2016).

На рис. 5 приведена картосхема водотоков и контуры групп расчлененности территории. Коэффициент расчлененности территории района составляет 0,65 км/км².

Анализ распределения экспозиции склонов показал (рис. 6), что в Ольховском р-не склоны северного румба занимают 30 % территории, в то время как склоны южного румба – 46 %, что является условием, благоприятствующим развитию эрозионных процессов.

Почвенные условия района исследования характеризуются наличием каштановых и темно-каштановых почв. Западная часть района расположена в зоне темно-каштановых почв, восточная – каштановых.

На основе проведенного геопространственного анализа крутизны склонов, эрозионной расчлененности и распределения типа почв на территории исследований в ГИС был проведен

анализ соответствующих слоев, в результате разработана карта условий территории района для ведения сельского хозяйства с выделением трех типов: удовлетворительные, хорошие и очень хорошие (рис. 7). Эта оценка представлена в сравнительном аспекте по сумме значений показателей трех указанных факторов, различающихся в пределах Ольховского р-на. Территориальной единицей итоговой карты являются сельские поселения.

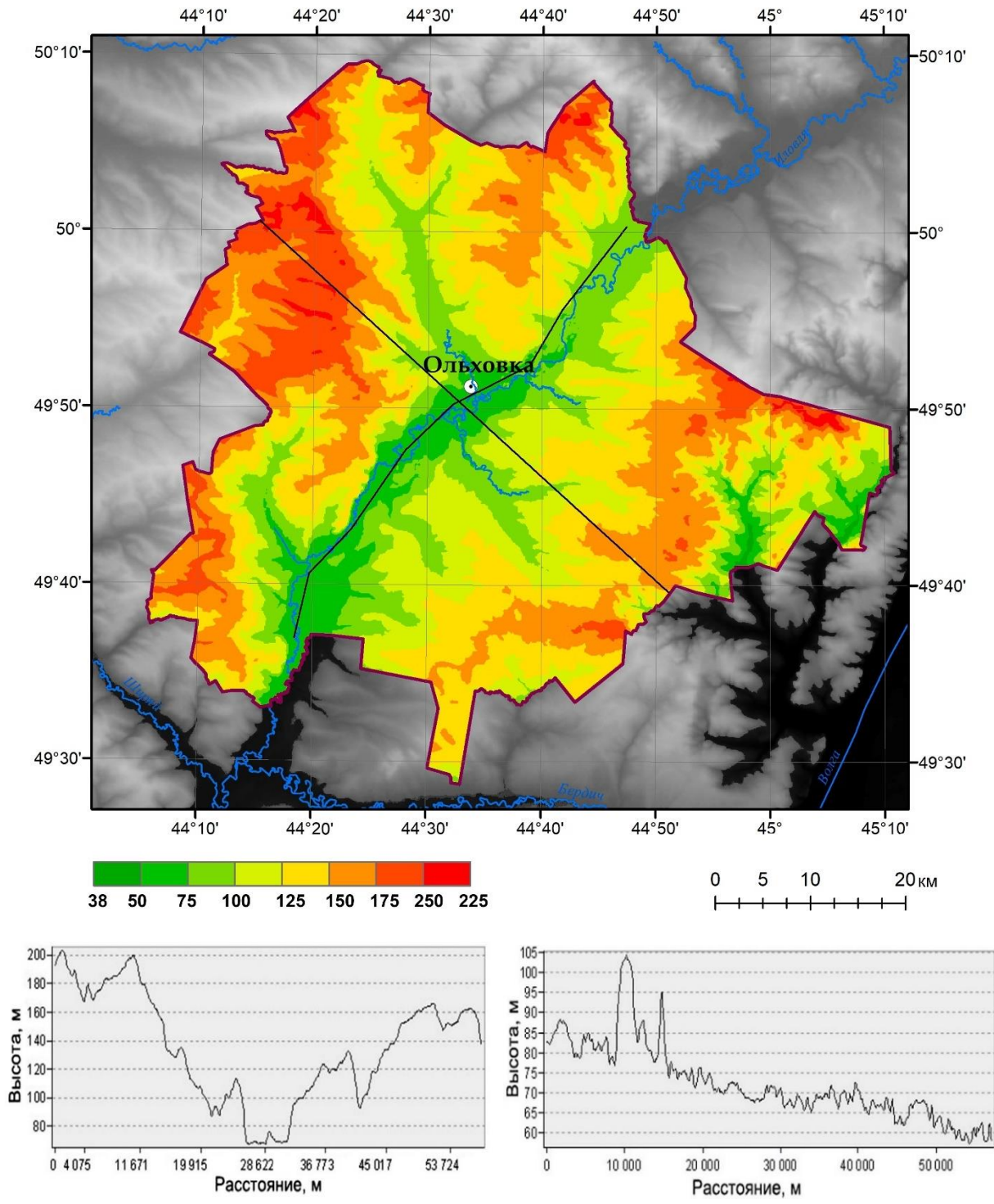


Рис. 2. Схема распределения диапазонов высот рельефа Ольховского р-на и характерные профили

Таким образом, из 13 сельских поселений Ольховского р-на удовлетворительные условия по названным критериям установлены в Липовском сельском поселении, а очень хорошие в Гуровском. Рыбинском, Гусёвском и Каменнобродском сельских поселениях. В пределах оставшихся 8 сельских поселений наблюдается хорошие условия.

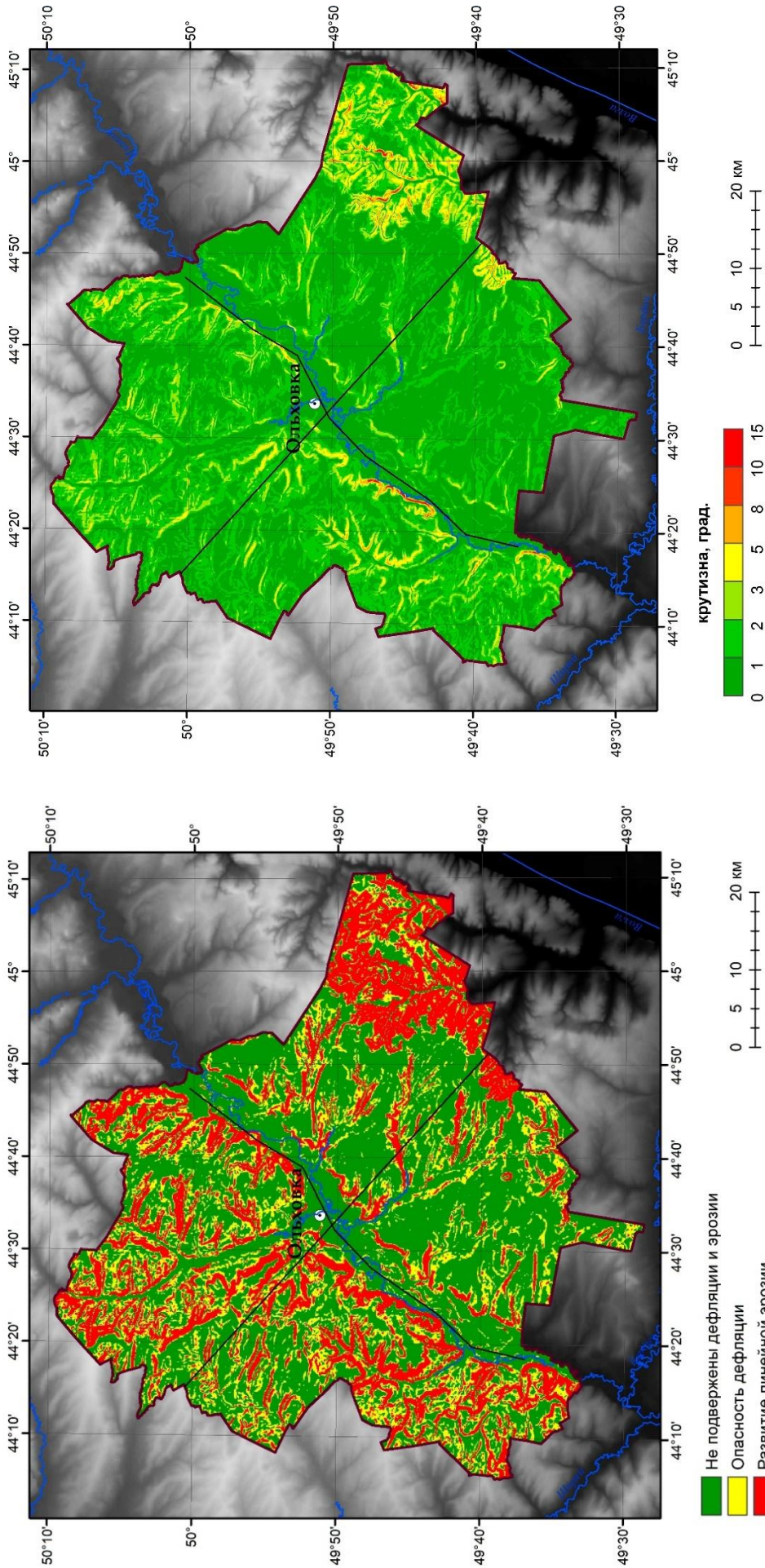


Рис. 3. Распределение территории Ольховского р-на по крутизне склонов

Рис. 4. Распределение территории по опасности проявления процессов деградации

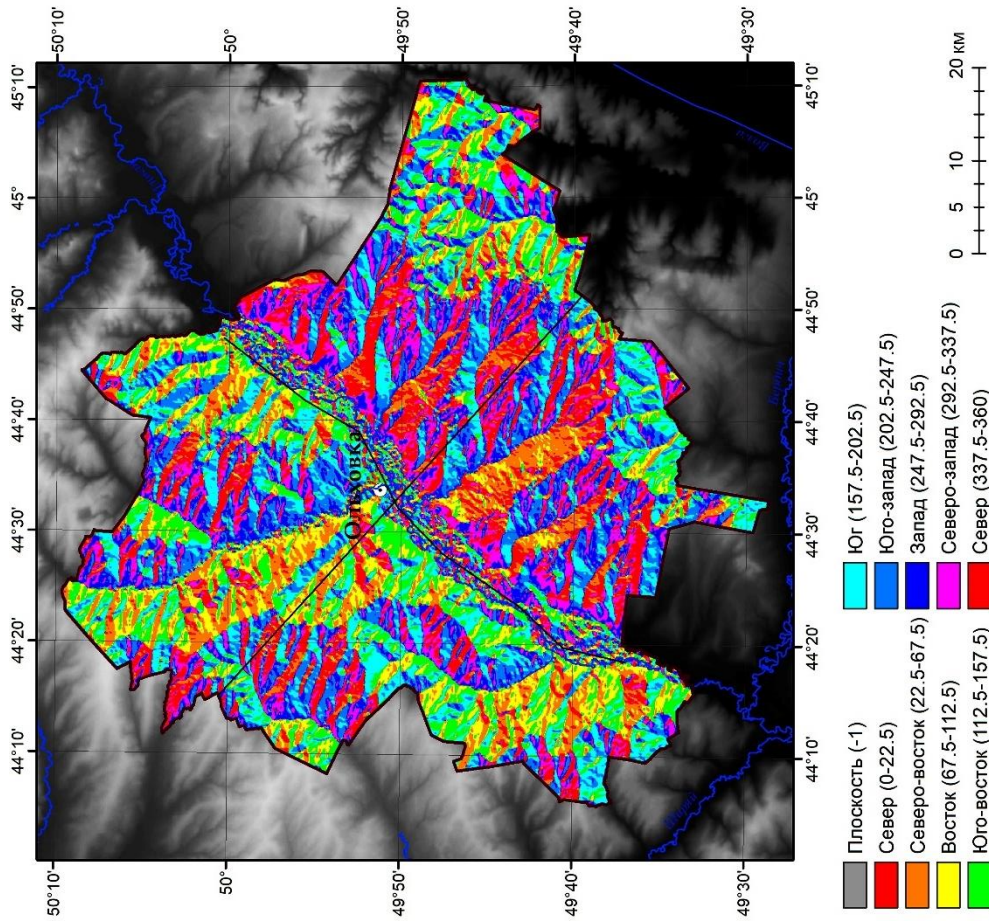


Рис. 5. Схема распределения коэффициента расчлененности рельефа на территории Ольховского р-на

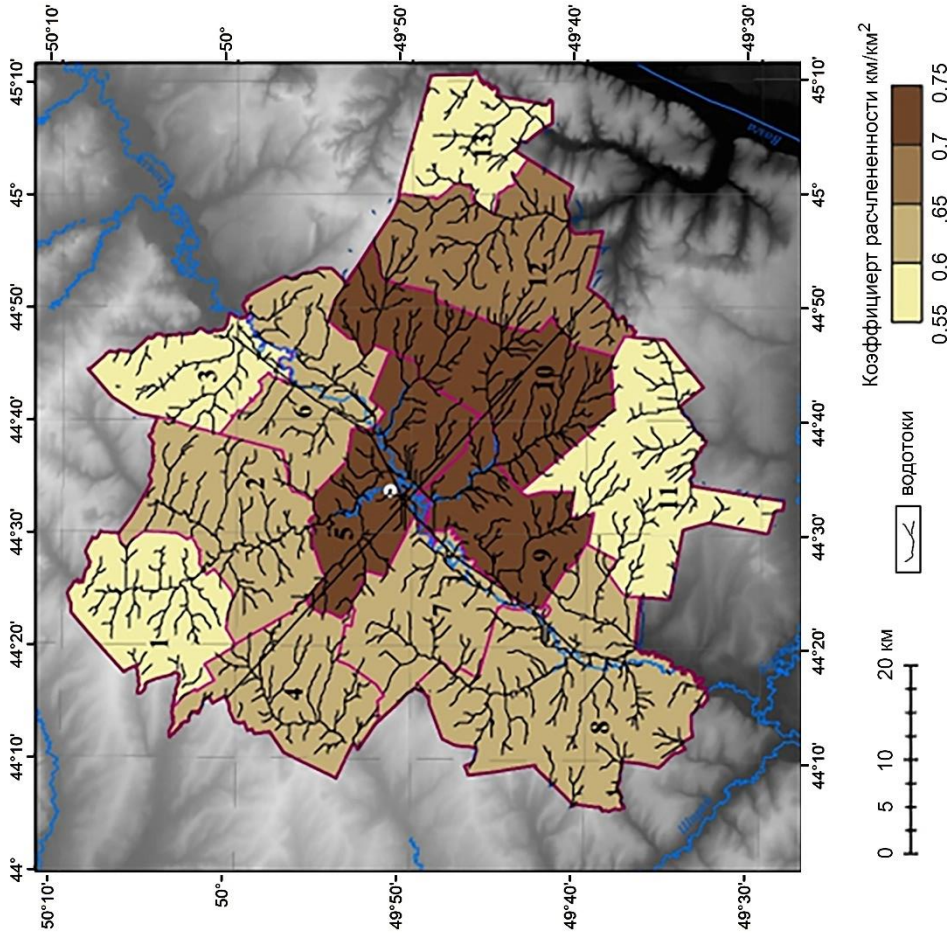


Рис. 6. Экспозиция склонов в пределах Ольховского р-на

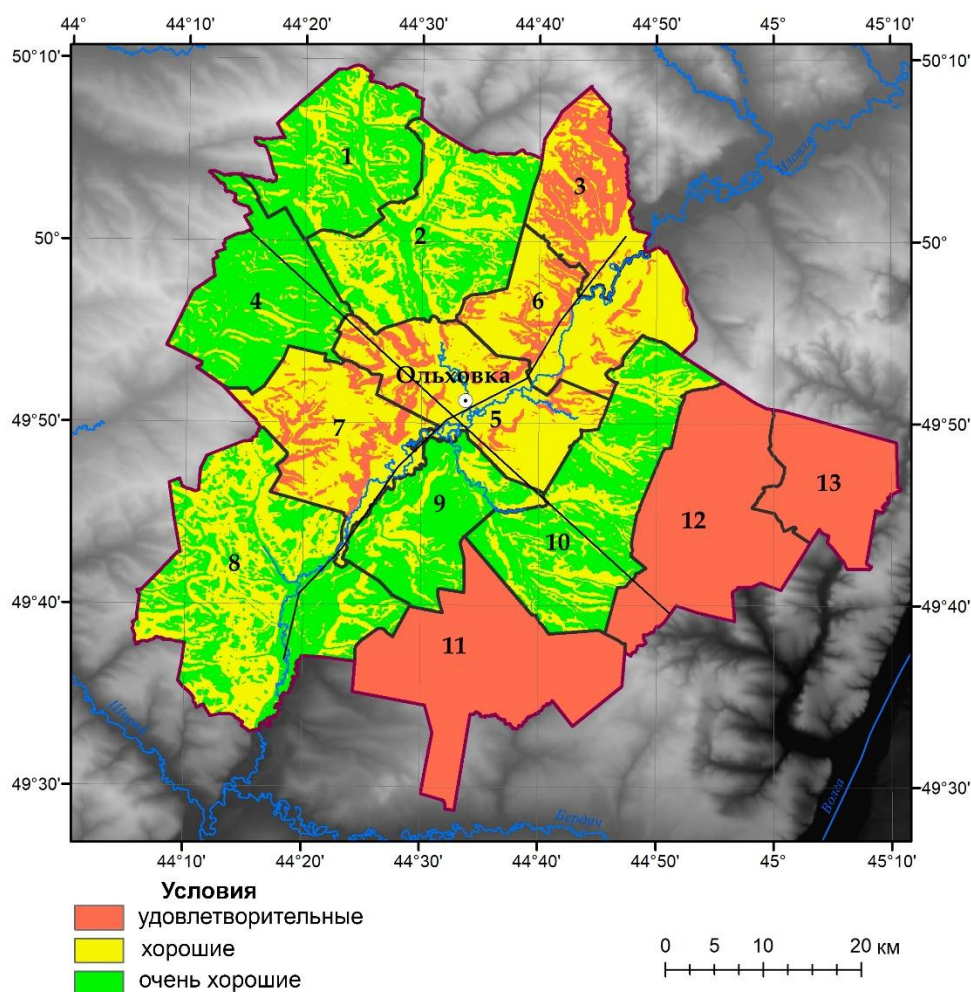


Рис. 7. Схема условий территории района для ведения сельского хозяйства (Сельские поселения: 1. Гуровское, 2. Киреевское, 3. Рыбинское, 4. Нежинское, 5. Ольховское, 6. Гусёвское, 7. Каменнобродское, 8. Солодчинское, 9. Зензеватское, 10. Ягодновское, 11. Октябрьское, 12. Липовское, 13. Романовское)

Обсуждение. Проведенный геоинформационный анализ условий в Ольховском р-не для ведения сельского хозяйства охватывал ряд этапов геоинформационного моделирования, результаты которого представлены в сводной таблице.

Анализ результатов показал, что рельеф Ольховского р-на носит равнинный характер. Базис эрозии – 187 м. Относительно симметричное строение долины Иловли в этой части приводит к равномерному распределению значений морфометрических характеристик по территории. Коэффициент эрозионной расчлененности района составляет $0,65 \text{ км/км}^2$, при этом в пределах административных границ сельских поселений эта величина находится в диапазоне $0,55-0,77 \text{ км/км}^2$, т. е. не наблюдаются значимые различия от значений по всему району.

В распределении склонов по крутизне преобладают плоские поверхности (уклон до 0°), очень пологие ($1-2^\circ$) и пологие ($2-3^\circ$). В таких условиях для территории характерно развитие процессов дефляции и линейной эрозии, что четко наблюдается на космических снимках.

Наиболее плодородные почвы, темно-каштановые, занимают склон Доно-Медведицкой гряды и расположены в пределах Гуровского, Нежинского, Солодчинского и Киреевского сельских поселений. Октябрьское, Липовское и Романовское сельские поселения расположены в пределах Приволжской возвышенности на каштановых почвах.

Пространственный анализ сочетания в пределах административных границ муниципальных образований таких факторов, как крутизна склона, коэффициент эрозионной расчлененности с учетом типа почв позволил ранжировать территорию муниципальных образований по 3 градациям условий для ведения сельского хозяйства, в первую очередь – земледелия, на удовлетворительные, хорошие и очень хорошие.

**Сводная таблица геоморфологических характеристик
Ольховского р-на Волгоградской обл.**

Сельское поселение	Высота, м			Расчлененность, км/км ²	Крутизна, град. макс
	макс.	мин.	средняя		
Романовское	225	41	122	0,55	15
Октябрьское	189	79	136	0,55	5
Каменнобродское	202	63	138	0,64	13
Липовское	203	38	138	0,68	11
Рыбинская	213	77	138	0,55	7
Ольховское	185	66	102	0,72	8
Зензеватское	133	64	95	0,73	4
Ягодновское	187	79	130	0,77	4
Гусёвское	167	71	114	0,64	7
Нежинское	209	125	176	0,63	4
Киреевское	207	79	134	0,64	5
Солодчинское	192	55	117	0,64	13
Гуровское	213	92	150	0,56	5

Заключение. Таким образом, в ходе проведенного исследования установлены природные условия, влияющие на вероятную продуктивность сельскохозяйственных угодий, расположенных на территории муниципальных образований (сельских поселений), установлены территории с минимальной крутизной, благоприятной для обработки почв, но требующих защиты от дефляции, территории совместного воздействия дефляции и водной эрозии (2-8°) и территории, которые можно использовать в качестве пастбищ и сенокосов с крутизной более 8°. Совместный анализ геоморфологических условий с почвенными условиями позволил выделить территории с удовлетворительными, хорошими и очень хорошими условиями по критериям крутизны склона, эрозионной расчлененности и характеристика типов почв.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Беляева Н. Г., Сандлерский Р. Б., Черненко Т. В. Ландшафтообразующая роль рельефа в формировании состава лесов югозападной части Московской области. *Вестник СПбГУ. Науки о Земле.* 2020; 65 (2): 362373. [Belyaeva N. G., Sandler'sky R. B., Chernenkova T. V. Landscapeforming role of relief in shaping the composition of forests in the southwestern part of the Moscow region. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences.* 2020;65 (2):362373].

Воробьев А. В. Землеустройство и кадастровое деление Волгоградской области: Справочное издание. Волгоград. Станица – 2, 2002; 92. [Vorobyov A. V. Land management and cadastral division of the Volgograd region: Reference publication. Volgograd. Stanitsa 2, 2002; 92].

Иванова Ю. А., Григорьев А. Б. Особенности влияния рельефа Самарской области на развитие сельскохозяйственного предприятия. В: Сб. материалов VI Международной научнопрактической конференции «Мировые исследования в области естественных и технических наук». Ставрополь, 2023; 108110. [Ivanova Yu. A., Grigoriev A. B. Features of the influence of the relief of the Samara region on the development of agricultural enterprises. In: Collection of materials of the VI International scientific and practical conference "World research in the field of natural and technical sciences". Stavropol, 2023;108110].

Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферев В. Г. Дистанционнокартографическая оценка деградационных процессов в агроландшафтах юга России. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование.* 2009;4:1225. [Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V. G. Remote-cartographic assessment of degradation processes in agricultural landscapes of southern Russia. *Izvestia of the Lower Volga AgroUniversity Complex: Science and higher professional education.* 2009;4:1225].

Павлова А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки). *Известия Саратовского государственного университета.* 2009;9:3944. [Pavlova A.N. Geoinformation modeling of a river basin based on SRTM satellite imagery data (using the Tereshka River basin as an example). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences.* 2009;9:3944].

Рулев А. С., Юферев В. Г. Геоинформационный анализ рельефа южной части Ергенинской возвышенности. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование.* 2017; 1 (45): 4147. [Rulev A. S., Yuferev V. G. Geoinformation analysis of the relief of the southern part of the Ergeninskaya Upland. *Izvestia of the Lower Volga AgroUniversity Complex: Science and higher professional education.* 2017;1(45): 4147].

Синельникова К. П. Геоинформационный анализ рельефа водосбора реки Большая Голубая на территории Донской гряды. *Научноагрономический журнал*. 2021; 1(112):3439. [Sinelnikova K. P. Geoinformation analysis of the relief of the Bolshaya Golubaya River catchment area in the Don Ridge. *Scientific agronomic journal*. 2021;1(112):3439].

Стекольников К. Е. Влияние предшественников и рельефа на урожай озимой пшеницы. В Сб. материалов Международ. конф. «Актуальные вопросы развития идей В. В. Докучаева в XXI веке. Развитие аграрной науки на современном этапе» и Всерос. школы молодых ученых и специалистов, посвященных 130-летию организации «Особой экспедиции Лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях южной России», в 2 частях. 2022. Москва, 2022;150156. [Stekolnikov, K. E., "The Effect of Predecessors and Topography on Winter Wheat Yield." In: Proceedings of the International Conference "Current Issues in the Development of V.V. Dokuchaev's Ideas in the 21st Century. Development of Agricultural Science at the Current Stage" and the All-Russian School of Young Scientists and Specialists, dedicated to the 130th Anniversary of the "Special Expedition of the Forestry Department for Testing and Recording Various Methods and Techniques of Forestry and Water Management in the Steppes of Southern Russia," in 2 parts. 2022. Moscow, 2022;150156].

Тесленок К. С., Муштайкин А. П., Тесленок С. А. Изучение особенностей сельскохозяйственных угодий с использованием цифровых моделей рельефа. *Интеркарто. ИнтерГИС*. 2020;26; 3: 221228. [Teslenok K. S., Mushtaikin A. P., Teslenok S. A. Studying the characteristics of agricultural lands using digital elevation models *Interkarto. InterGIS*. 2020;26;3: 221228].

Хаванская Н. М., Шапрова А. А. Моделирование геоморфологических условий речного бассейна на примере р. Бузулук. *Природные системы и ресурсы*. 2024;14:4250. [Khavanskaya N. M., Shaprova A. A. Modeling geomorphological conditions of a river basin using the Buzuluk River as an example. *Natural Systems and Resources*. 2024;14:4250].

Хаванская Н. М. Применение цифровых моделей рельефа при моделировании эрозийной сети. В: Сб. материалов III Международной научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: история и современность». Волгоград, 2016;215221. [Khavanskaya N. M. Application of digital elevation models in modeling erosion networks. In: Collection of materials from the III International scientific and practical conference "Anthropogenic transformation of geospace: history and modernity". Volgograd, 2016;215221].

Юфев В. Г., Кулик К. Н., Рулев А. С., Мушаева К. Б., Кошелев А. В., Дорохина З. П., Березовикова О. Ю. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград. ВНИАЛМИ, 2010;102. [Yuferev V. G., Kulik K. N., Rulev A. S., Mushaeva K. B., Koshelev A. V., Dorokhina Z.P., Berezovikova O. Yu. Geoinformation technologies in agroforestry. Volgograd. VNIALMI, 2010;102.]

Bierman P. R., Montgomery D. R. Key concept in geomorphology. New York W. H. Freeman, 2014.

Florinsky I. V., Kuryakova G. A. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, 1996; 27 (2): 123141.

Информация об авторе

Дережа Данила Сергеевич, старший преподаватель, ФГАОУ ВО Волгоградский государственный университет, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский 100, dereza@volsu.ru, ORCID: 0009-0001-6725-1184.

Information about the author

Dereza Danila Sergeevich, Senior Lecturer, Volgograd State University, 400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., dereza@volsu.ru, ORCID: 0009-0001-6725-1184.

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. 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.

Мониторинг орошаемой кукурузы с использованием данных Sentinel-2

Беденко А. Е. 

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»,
Московская область, Россия

Аннотация. В условиях возрастающих климатических рисков и необходимости рационального использования водных ресурсов актуальной задачей является разработка эффективных методов контроля состояния сельскохозяйственных культур. В данной статье представлены результаты сезонного мониторинга орошаемого посева кукурузы в производственных условиях Ростовской области за вегетационный период 2025 г. Основу исследования составил комплексный анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗ) с космических аппаратов Sentinel-2 и синхронных агроклиматических показателей. Методология работы включала формирование временного ряда из 15 безоблачных сцен, расчет вегетационных индексов NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) и NDMI (нормализованный разностный индекс влажности) с пространственным разрешением 10 и 20 м соответственно, а также последующую статистическую обработку в границах поля. В результате была детально описана сезонная динамика индексов, отражающая все ключевые фазы развития культуры: от начального роста до полного созревания. Установлено, что пик фотосинтетической активности ($NDVI = 0,79$) и оптимальный водный статус ($NDMI = 0,28$) наблюдались в критическую фазу цветения в начале июля. Сравнение с данными о максимальных температурах и осадках позволило сделать вывод об эффективности работы оросительной системы, которая нивелировала негативное воздействие июльской атмосферной засухи. Особое внимание уделено анализу пространственной неоднородности посева, выраженной через стандартное отклонение значений индексов, которая достигала максимума в период наибольшего влагопотребления культуры. Полученные результаты подтверждают целесообразность совместного использования индексов NDVI и NDMI совместно с метеоданными для оперативной оценки состояния орошаемых посевов, диагностики водного стресса и выявления внутривидовой вариативности, что является основой для принятия решений в рамках прецизионного земледелия.

Ключевые слова. Дистанционное зондирование, орошение, мониторинг посевов, вегетационные индексы, Sentinel-2, кукуруза.

Цитирование. Беденко А. Е. Мониторинг орошаемой кукурузы с использованием данных Sentinel-2 // Научно-агрономический журнал. 2026; 1(132):38-45. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.005.38-45.

Поступила в редакцию: 25.02.2026

Принята к печати: 16.03.2026

Monitoring Irrigated Maize Using Sentinel-2 Data

Bedenko A. E. 

Federal state budgetary scientific institution "All-Russian Scientific Research Institute for Irrigation and Farming Water Supply Systems "Raduga", Raduzhny settlement, Kolomna Urban District, Moscow Region, Russia

Abstract. In the context of increasing climate risks and the need for rational water resource management, the development of effective methods for crop condition monitoring is an urgent task. This paper presents the results of seasonal monitoring of an irrigated maize field under commercial production conditions in the Rostov Region during the 2025 growing season. The study was based on an integrated analysis of Earth remote sensing data acquired from Sentinel-2 satellites and concurrent agroclimatic parameters. The methodology included the creation of a time series consisting of 15 cloud-free scenes, calculation of the vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and NDMI (Normalized Difference Moisture Index) with spatial resolutions of 10 m and 20 m, respectively, and subsequent statistical analysis within the field boundaries. The seasonal dynamics of the indices were comprehensively characterized, reflecting all key stages of crop development, from early vegetative growth to full maturity. The peak of photosynthetic activity (NDVI = 0.79) and optimal plant water status (NDMI = 0.28) were recorded during the critical flowering stage in early July. A comparison with maximum temperature and precipitation data indicated the effective performance of the irrigation system, which mitigated the negative impact of July atmospheric drought. Special attention was paid to the analysis of spatial heterogeneity within the field, assessed through the standard deviation of index values, which reached its maximum during the period of highest crop water demand. The results confirm the feasibility of integrating NDVI and NDMI indices with meteorological data for operational assessment of irrigated crop conditions, detection of water stress, and identification of within-field variability, providing a basis for decision-making in precision agriculture.

Keywords. Remote sensing, irrigation, crop monitoring, vegetation indices, Sentinel-2, maize.

For citation. Bedenko A. E. Monitoring Irrigated Maize Using Sentinel-2 Data // *Scientific Agronomy Journal*. 2026; 1(132):38-45. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.005.38-45.

Received: 25.02. 2026

Accepted: 16.03. 2026

Введение. Современное сельское хозяйство сталкивается с беспрецедентными вызовами, такими как растущая изменчивость климата, увеличение частоты экстремальных погодных явлений и необходимость устойчивого управления водными ресурсами (Рогачев, Юрченко, 2022; Султыгова, 2023). В этих условиях эффективный мониторинг состояния сельскохозяйственных культур становится критически важным инструментом для обеспечения продовольственной безопасности и экономической устойчивости агропредприятий (Якушев и др., 2023). Особое значение это приобретает для влаголюбивых культур, таких как кукуруза, урожайность которой в значительной степени зависит от точного управления орошением (Иванова Н. А. и др., 2015).

Традиционные методы контроля, основанные на наземных визуальных обследованиях, являются трудозатратными, не обеспечивают полного покрытия больших площадей и зачастую субъективны (Труфляк и др., 2019). В этой связи данные дистанционного зондирования Земли предоставляют уникальные возможности для оперативного, объективного и пространственно-непрерывного мониторинга состояния посевов (Михайленко, Тимошин, 2018).

Спутники семейства Sentinel-2 Европейского космического агентства с их систематическим обзором, высоким пространственным и спектральным разрешением стали одним из ключевых источников информации для прецизионного земледелия (Тарасов, 2020). Вегетационные индексы, рассчитанные на основе мультиспектральных данных, такие как нормализованный разностный вегетационный индекс) и нормализованный разностный индекс влажности, доказали свою эффективность для оценки биометрических параметров, фотосинтетической активности и водного стресса растений (Фомин, Чащин, 2018; Зверьков и др., 2021). Однако успешное применение этих индикаторов требует их калибровки и интерпретации в конкретных почвенно-климатических условиях и при специфических технологиях возделывания, в частности, при орошении дождевальными машинами, которые сами могут вносить пространственную неоднородность в состояние посева (Беденко, Миронов, 2025).

Таким образом, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью развития методов интегральной оценки, сочетающих анализ спутниковых индексов и агроклиматических данных, для мониторинга эффективности орошения и выявления стрессовых состояний посевов кукурузы в реальных производственных условиях.

Цель исследования – оценить динамику состояния орошаемого посева кукурузы в течение вегетационного сезона 2025 года на основе комплексного анализа временных рядов индексов NDVI и NDMI (данные Sentinel-2) и метеорологических параметров.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Рассчитать и проанализировать сезонную динамику медианных значений NDVI и NDMI для производственного участка кукурузы.

2. Оценить пространственную неоднородность посева на основе анализа изменчивости (стандартного отклонения) значений индексов по ключевым датам.

3. Провести корреляционный анализ изменений вегетационных индексов с динамикой основных агроклиматических показателей (максимальная температура воздуха и сумма осадков).

4. На основе полученных зависимостей интерпретировать влияние режима орошения и экстремальных погодных условий на состояние посева.

Материалы и методы. Объектом мониторинга являлся производственный участок в Волгодонском р-не Ростовской обл., на котором в 2025 г. возделывалась кукуруза по интенсивной технологии с применением широкозахватной дождевальной машины кругового типа. Почвенный покров опытного участка представлен черноземами, что типично для данной агроклиматической зоны.

В качестве эмпирической базы для оценки состояния растительного покрова использовались данные ДДЗ, полученные с космических аппаратов миссии Sentinel-2 (ESA). Для анализа были отобраны снимки уровня обработки Level-2A, прошедшие процедуру атмосферной коррекции и преобразованные в значения отражательной способности на дне атмосферы (Bottom-Of-Atmosphere reflectance), что обеспечивает сопоставимость данных в динамике.

Временной ряд исследования был сформирован из 15 безоблачных сцен, полученных в период с 3 июня по 3 октября 2025 г., что позволило с высокой детальностью (шаг мониторинга 7-12 дней) охватить все критические фазы органогенеза культуры: от появления всходов и активного вегетативного роста до фаз цветения, налива зерна и физиологического созревания.

Для интерпретации спектральных характеристик посева и количественной оценки его состояния в среде геоинформационной системы QGIS (версия 3.40) проводился расчет вегетационных индексов. В качестве индикатора фотосинтетической активности и накопления биомассы использовался нормализованный вегетационный индекс, рассчитываемый на основе каналов ближнего инфракрасного (Band 8) и красного (Band 4) диапазонов. Для диагностики водного статуса растений и выявления стресса, вызванного дефицитом влаги, рассчитывался нормализованный разностный индекс влажности, использующий сочетание узкого ближнего инфракрасного канала (Band 8A) и коротковолнового инфракрасного канала (Band 11). Пространственное разрешение выходных растровых продуктов составило 10 (для NDVI) и 20 (для NDMI) метров на пиксель, что является достаточным для выявления внутривольной неоднородности.

С целью выявления корреляционных связей между состоянием посевов и агроклиматическими условиями дистанционный мониторинг был синхронизирован с анализом метеорологических данных. Исходные ряды наблюдений за температурой воздуха и осадками были получены из архива ближайшей репрезентативной метеостанции (база данных Rp5.ru по метеостанции Цимлянск) и агрегированы из трехчасовых измерений в суточные показатели. Ключевыми параметрами анализа выступали суточная сумма осадков, характеризующая естественное влагообеспечение, и максимальная суточная температура воздуха, используемая как маркер событий экстремального теплового стресса.

Статистическая обработка пространственных данных выполнялась методом зональной статистики в границах вектора поля с предварительным исключением буферных зон и технических дорог для минимизации краевого эффекта. Для каждого временного среза рассчитывались медианные значения индексов, являющиеся робастными оценками центрального состояния массива данных, а также стандартное отклонение, характеризующее степень пространственной гетерогенности посева, возникающую вследствие неравномерности работы дождевальной техники или почвенных различий. Комплексный анализ полученных временных рядов позволил оценить эффективность орошения в периоды атмосферных засух и проследить динамику увядания культуры к концу вегетации.

Результаты. На основе комплексного анализа данных дистанционного зондирования и агроклиматической информации была получена детальная картина состояния посева кукурузы в течение вегетационного сезона 2025 г. Начало периода наблюдений (3 июня) характеризовалось низкими значениями индексов: NDVI составил 0,21, а NDMI –0,24. К 28 июня NDVI вырос до 0,61, а 3 июля был зафиксирован пик вегетационной активности, когда индекс достиг максимального за сезон значения 0,79 (табл. 1).

Таблица 1

Статистические показатели индексов NDVI и NDMI

Дата	Медиана	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
NDVI				
3 июня	0,21	0,02	0,18	0,63
10 июня	0,28	0,03	0,18	0,68
17 июня	0,44	0,09	-0,01	0,64
28 июня	0,61	0,07	0,22	0,74
3 июля	0,79	0,05	0,26	0,85
10 июля	0,69	0,06	0,24	0,80
18 июля	0,60	0,09	0,24	0,83
30 июля	0,60	0,09	0,24	0,81
6 августа	0,61	0,11	0,20	0,84
12 августа	0,67	0,09	0,23	0,83
22 августа	0,63	0,09	0,21	0,80
1 сентября	0,61	0,08	0,20	0,78
15 сентября	0,53	0,06	0,20	0,71
28 сентября	0,48	0,05	0,20	0,66
3 октября	0,37	0,03	0,20	0,52
NDMI				
3 июня	-0,24	0,02	-0,27	0,06
10 июня	-0,18	0,02	-0,22	0,05
17 июня	-0,01	0,03	-0,14	0,12
28 июня	0,18	0,03	-0,03	0,25
3 июля	0,28	0,05	-0,04	0,34
10 июля	0,20	0,05	-0,07	0,29
18 июля	0,17	0,08	-0,12	0,36
30 июля	0,20	0,08	-0,09	0,37
6 августа	0,19	0,09	-0,11	0,36
12 августа	0,24	0,08	-0,08	0,38
22 августа	0,21	0,08	-0,10	0,36
1 сентября	0,18	0,07	-0,10	0,34
15 сентября	0,14	0,06	-0,09	0,30
28 сентября	0,06	0,05	-0,12	0,24
3 октября	0,06	0,03	-0,07	0,18

Динамика индекса NDMI в целом повторяла траекторию NDVI с пиковым значением 0,28, отмеченным также 3 июля (рис. 1).

Период устойчиво высоких значений индексов продолжался с середины июля до середины августа. Анализ метеоданных (табл. 2) показал, что фаза максимального влагопотребления в июле совпала с периодом экстремально высоких температур: с 8 по 14 июля максимальная температура стабильно превышала 33 °С (пик 37,8 °С 13 июля) при полном отсутствии осадков.

В этих условиях значения NDVI оставались стабильными, а NDMI показал умеренное снижение до 0,17-0,20. Более выраженная реакция зафиксирована в конце лета: после 22 августа при отсутствии осадков и подъеме температуры до 35,8 °С (1 сентября) оба индекса продемонстрировали значительное снижение к 15 сентября (NDVI до 0,53, NDMI до 0,14). Заключительная фаза сезона ознаменовалась снижением NDVI до 0,37 и NDMI до 0,06 к 3 октября.

Параллельно была выявлена динамика пространственной неоднородности посева через стандартное отклонение (рис. 2).

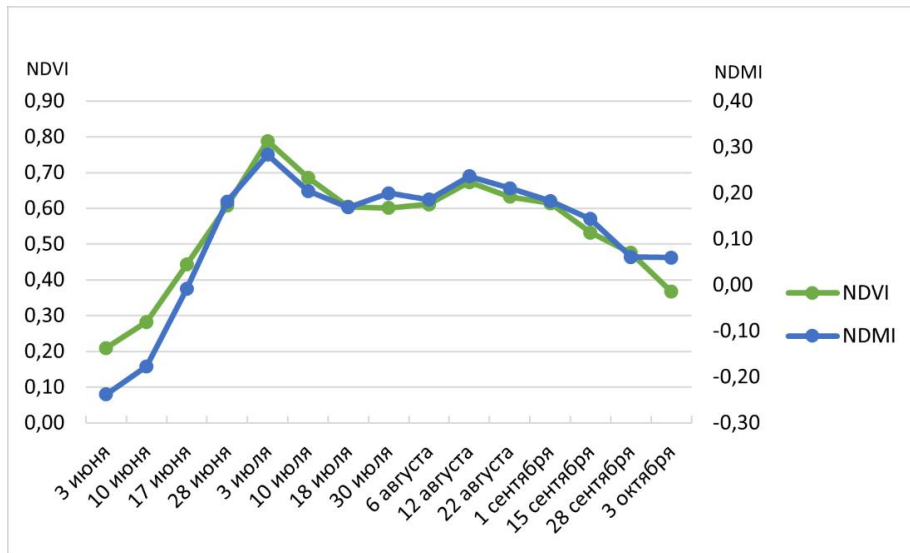


Рис. 1. График динамики индексов NDVI и NDMI

Таблица 2

Фрагмент таблицы климатических показателей по метеостанции Цимлянск

Дата	Максимальная температура, °С	Сумма осадков, мм
08 июля	33,0	0
09 июля	33,3	0
10 июля	35,4	0
11 июля	34,3	0
12 июля	36,6	0
13 июля	37,8	0
14 июля	37,2	0
22 августа	32,2	0
23 августа	31,9	0
24 августа	27,5	0,7
25 августа	24,8	0
26 августа	23,1	0
27 августа	28,2	0
28 августа	25,5	0
29 августа	27,5	0

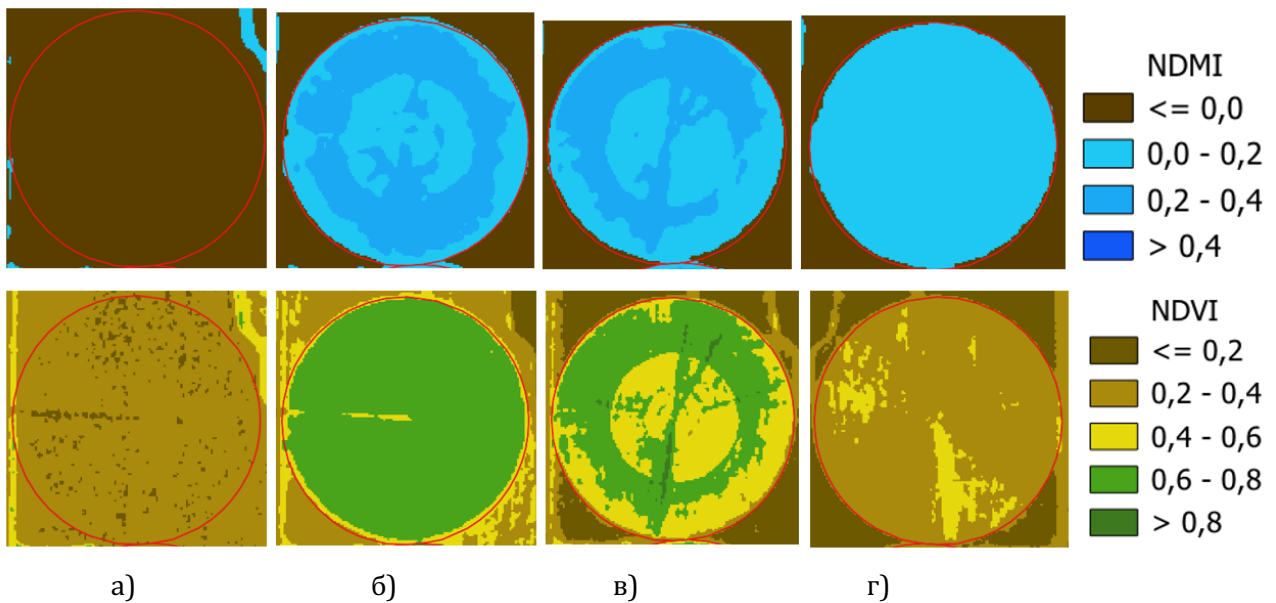


Рис. 2. Визуальное отображение индексов NDMI и NDVI (а – 3 июня, б – 10 июля, в – 6 августа, г – 3 октября)

Наблюдалась тенденция к росту вариабельности от начала к середине вегетации: стандартное отклонение NDVI увеличилось с 0,02 в июне до 0,11 в августе, а NDMI – с 0,02 до 0,09. Максимальная внутренняя гетерогенность поля зафиксирована 6 августа, после чего к октябрю произошло снижение показателей вариабельности до 0,03-0,04.

Обсуждение. Медианные значения индексов NDVI и NDMI демонстрировали классическую для однолетней культуры динамику, что согласуется с результатами исследований сезонного хода спектральных характеристик кукурузы (Tamás et al., 2023). Зафиксированный 3 июля уровень NDVI (0,79) характерен для высокопродуктивных посевов кукурузы на орошении в пик вегетации (Miller et al., 2024).

Стабильность индексов в период экстремальной жары в июле при отсутствии осадков однозначно указывает на эффективную работу оросительной системы, компенсировавшую атмосферную засуху и предотвратившую развитие глубокого теплового стресса. Аналогичные эффекты «сглаживания» стресса за счет регулярного полива ранее отмечались в засушливых регионах (Filintas et al., 2022). Более высокая чувствительность NDMI к содержанию воды в листьях по сравнению с NDVI в периоды смыкания травостоя подтверждает выводы (Mabrur et al. 2019). Резкое снижение показателей в сентябре позволяет предположить, что к этому этапу поливная норма была сокращена, что ускорило процессы увядания культуры на фоне возобновившегося дефицита влаги.

Рост пространственной неоднородности в середине сезона может быть объяснен кумулятивным эффектом вариабельности работы дождевальной машины и влиянием естественной почвенной неоднородности, наиболее ярко проявляющейся в периоды пикового влагопотребления. Такая динамика является важным диагностическим признаком для оценки технического состояния систем полива. Снижение вариабельности к октябрю связано с общим выравниванием состояния посева в фазе полного созревания (Chance et al. 2017). Полученные данные имеют практическое значение для обоснования перехода к адаптивному орошению с целью повышения общей эффективности производства.

Заключение. В результате проведенного исследования был успешно выполнен комплексный мониторинг состояния орошаемого посева кукурузы в течение вегетационного сезона 2025 г. с использованием временных рядов мультиспектральных данных космической съемки Sentinel-2 и агроклиматических показателей. Поставленная цель достигнута путем решения ряда последовательных задач.

Анализ сезонной динамики медианных значений вегетационных индексов позволил объективно документировать все ключевые фазы развития культуры. Была зафиксирована классическая сигмоидная кривая NDVI, начиная с низких значений в фазе всходов (0,21 на 3 июня), через быстрый рост в период интенсивной вегетации до достижения максимума (0,79 на 3 июля) в критическую фазу цветения и начала налива зерна с последующим плавным снижением к фазе физиологической зрелости (0,37 на 3 октября). Динамика NDMI в целом коррелировала с NDVI, достигнув пика (0,28) в тот же период, что подтвердило его адекватность как индикатора влагообеспеченности посева.

Оценка пространственной неоднородности на основе стандартного отклонения выявила важную закономерность: внутренняя вариабельность посева по обоим индексам существенно возростала от начала к середине сезона, достигая максимума в августе. Этот факт указывает на кумулятивное проявление влияния вариабельности полива дождевальной машины и почвенных различий в период наибольшего влагопотребления культуры, что является значимым аргументом для перехода к элементам прецизионного земледелия.

Корреляционный анализ динамики индексов с метеорологическими условиями дал четкое представление об эффективности применяемой технологии орошения. Установлено, что в период экстремальной июльской жары при отсутствии осадков посев демонстрировал высокую устойчивость и сохранял оптимальные значения индексов, что является прямым следствием эффективной работы оросительной системы. Более выраженное снижение NDVI и NDMI в сентябре, совпавшее с новой волной высоких температур, позволяет предположить изменение режима орошения на заключительных этапах вегетации.

Таким образом, применение предложенной методики на основе интеграции спутниковых индексов NDVI и NDMI с агроклиматическими данными доказало свою эффективность для решения задач оперативного мониторинга, оценки эффективности полива и диагностики пространственной неоднородности в посевах орошаемой кукурузы. Полученные результаты создают основу для разработки практических рекомендаций по корректировке режимов орошения и выделению зон внутри поля для дифференцированного управления, что в конечном итоге способствует оптимизации ресурсов и повышению урожайности.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Беденко А. Е., Миронов Д. С. Оценка эффективности орошения посевов кукурузы на основе анализа временных серий вегетационного индекса NDVI (на примере Ростовской области). *Вестник мелиоративной науки*. 2025;4: 102-111 [Bedenko A. E., Mironov D. S. Evaluation of the effectiveness of maize irrigation based on the analysis of NDVI vegetation index time series (on the example of the Rostov region). *Bulletin of Meliorative Science*. 2025;4: 102-111].

Зверьков М. С., Смелова С. С., Брыль С. В., Степанова Т. Г., Булгакова Т. Г. Анализ индекса NDMI при дешифрировании спутниковых снимков орошаемых земель. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2025;3: 33-36. [Zverkov M. S., Smelova S. S., Bryl S. V., Stepanova T. G., Bulgakova T. G. Analysis of the NDMI index when decoding satellite images of irrigated lands. *Land reclamation and water management*. 2025;3: 33-36].

Иванова Н. А., Гурина И. В., Шемет С. Ф., Михеев Н. В. Режим орошения и водопотребление кукурузы на зерно при поливах ДМ Reinke-A-100 в условиях Ростовской области. *Мелиорация и гидротехника*. 2015;4: 96-107. [Ivanova N. A., Gurina I. V., Shemet S. F., Mikheev N. V. Irrigation regime and corn consumption for grain during irrigation of DM Reinke-A-100 in the Rostov region. *Land reclamation and Hydrotechnics*. 2015;4: 96-107].

Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Управление химическим состоянием почв на основе данных дистанционного зондирования Земли. *Таврический вестник аграрной науки*. 2018;1: 65-75. [Mikhaylenko I. M., Timoshin V. N. Management of the chemical state of soils based on remote sensing data. *The Tauride Bulletin of Agrarian Science*. 2018;1: 65-75.

Рогачев Д. А., Юрченко И. Ф. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов. *International agricultural journal*. 2022;5: 31. [Rogachev D. A., Yurchenko I. F. Modeling and optimization of systemic water distribution in conditions of water scarcity. *International Agricultural Journal*. 2022;5: 31.

Султыгова Х. А. Влияние климатических изменений на сельское хозяйство и возможные стратегии адаптации. *Научный Лидер*. 2023;47: 116. [Sultygova Kh. A. Influence of climate change on agriculture and possible adaptation strategies. *Scientific Leader*. 2023;47: 116].

Тарасов А. В. Оценка точности алгоритмов выделения маски облачности по данным Sentinel-2 и PlanetScope. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020;7: 26-40. [Tarasov A. V. Accuracy assessment of cloud mask detection algorithms according to Sentinel-2 and PlanetScope data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2020;7: 26-40].

Труфляк Е. В., Скубиев С. И., Цыбулевский В. В., Малашихин Н. В. (2019). Дистанционный мониторинг посевов риса и алгоритм выявления неоднородностей. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019;3: 110-124. [Truflyak E. V., Skubiev S. I., Tsybulevsky V. V., Malashikhin N. V. (2019). Remote monitoring of rice crops and an algorithm for detecting heterogeneities. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2019;3: 110-124.

Фомин Д. С., Чащин А. Н. Вегетационный индекс NDVI в оценке зерновых культур опытных полей Пермского НИИСХ. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018, 4: 39-42. [Fomin D. S., Chashchin A. N. NDVI vegetation index in the assessment of grain crops in the experimental fields of the Perm Research Institute of Agriculture. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018, 4: 39-42].

Якушев В. П., Якушев В. В., Блохина С. Ю., Блохин Ю. И., Матвеевко Д. А. Роль дистанционного зондирования земли в точном земледелии. *Вестник Российской академии наук*. 2023;10: 955-969. [Yakushev V. P., Yakushev V. V., Blokhina S. Yu., Blokhin Yu. I., Matveenko D. A. The role of earth remote sensing in precision farming. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2023;10: 955-969].

Chance E. W., Cobourn, K. M., Thomas, V. A., Dawson, B. C., Flores, A. N. Identifying irrigated areas in the Snake River Plain, Idaho: Evaluating performance across compositing algorithms, spectral indices, and sensors. *Remote sensing*. 2017;6: 546.

Filintas A., Nteskou, A., Kourgialas, N., Gougoulas, N., Hatzichristou, E. A comparison between variable deficit irrigation and farmers' irrigation practices under three fertilization levels in cotton yield (*Gossypium hirsutum* L.) using precision agriculture, remote sensing, soil analyses, and crop growth modeling. *Water*. 2022; 17: 2654.

Mabrur A. F., Setiawan N. A., Ardiyanto I. (2019). Remote Sensing Technology for Land Farm Mapping Based on NDMI, NDVI, and LST Feature. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019;3: 75-79.

Miller J. O., Mondal P., Sarupria M. Sensor-based measurements of NDVI in small grain and corn fields by tractor, drone, and satellite platforms. *Crop and Environment*. 2024;1: 33-42.

Tamás A. Kovács, E., Horváth, É., Juhász, C., Radócz, L., Rátonyi, T., Ragán, P. Assessment of NDVI dynamics of maize (*Zea mays* L.) and its relation to grain yield in a polyfactorial experiment based on remote sensing. *Agriculture*. 2023;3: 689.

Информация об авторе

Беденко Алексей Евгеньевич, младший научный сотрудник отдела геоинформационных технологий и мониторинга мелиоративных систем, ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 140483, Московская область, Коломенский городской округ, поселок Радужный, д. 38, timbothdoom@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7522-0395.

Information about the author

Bedenko Alexey Evgenievich, Junior Researcher, Department of Geoinformation Technologies and Monitoring of Reclamation Systems, Federal state budgetary scientific institution "All-Russian Scientific Research Institute for Irrigation and Farming Water Supply Systems "Raduga", Raduzhny Settlement, Kolomna Urban District, Moscow Region, Russia, timbothdoom@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7522-0395.

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. 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.

Влияние современных микроудобрений на урожайность сортов ярового ячменя в засушливой зоне Волгоградской области

Гузенко А. Ю. , Солонкин А. В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. В настоящее время сельхозтоваропроизводители Южного федерального округа испытывают высокую потребность в яровом ячмене для кормовых целей. Для достижения высоких урожаев необходимо совершенствовать и внедрять новые приемы возделывания, противопоставляя их увеличивающейся засушливости климата и дефициту влаги в некоторых регионах. Применение микроудобрений и регуляторов роста в производстве зерновых культур представляет собой перспективное решение, позволяющее повысить урожай зерна. В 2023-2024 гг. был заложен опыт в Камышинском р-не Волгоградской обл. на светло-каштановых почвах в зоне рискованного земледелия. В работе представлен комплексный анализ эффективности воздействия вариативных биологических обработок с разными питательными элементами растительного происхождения на структуру урожайности сортов ярового ячменя с учетом их индивидуальной восприимчивости. Для изучения использовались специальные удобрения, содержащие определенное количество различных макро и микроэлементов, аминокислот: «Ультрамаг Бор», «Биостим Рост» и «Биостим Универсал». Данные препараты с повышенным содержанием микроэлементов и аминокислот стимулируют фотосинтез и защищают растения от негативного влияния абиотических стрессовых явлений. Настоящим исследованием выявлены наиболее стрессоустойчивые сорта к условиям высоких температур и частого дефицита влаги в Волгоградской обл. и позволяющие в неблагоприятных условиях формировать стабильные урожаи: Медикум 200 – 2,03 т/га, Азимут – 2,12 т/га. Доказано, что использование современных микроудобрений с содержанием бора, калия и аминокислот растительного происхождения способствует увеличению параметров структуры урожая при повышенных температурах: 24,1 °С и 26,3 °С (оптимальные – 20,5 и 22,8 °С соответственно) в среднем по количеству зерен в колосе – на 2-3 шт., по продуктивному стеблестоя – на 35-45 шт./м², по урожайности – на 0,3 т/га.


Ключевые слова. Яровой ячмень, масса 1000 зерен, урожайность, засухоустойчивость, микроудобрения.

Финансирование. Работа выполнена в рамках 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. Гузенко А. Ю., Солонкин А. В. Влияние современных микроудобрений на урожайность ярового ячменя в засушливой зоне Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2026; 1(132):46-56. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.006.46-56.

Поступила в редакцию: 20.01.2026

Принята к печати: 16.02.2026

 – Для контактов/Corresponding author

Effect of modern micronutrient fertilizers on the yield of spring barley varieties in the arid zone of the Volgograd Region

Guzenko A. Yu.✉, Solonkin 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. Currently, agricultural producers of the Southern Federal District have a high demand for spring barley used for feed purposes. Achieving high yields under conditions of increasing climate aridity and moisture deficiency requires the improvement and introduction of modern cultivation practices. The application of micronutrient fertilizers and growth regulators in cereal production represents a promising approach to increasing grain yield. A field experiment was conducted in 2023–2024 in the Kamyshinsky District of the Volgograd Region on light chestnut soils located in a high-risk farming zone. The study presents a comprehensive assessment of the effectiveness of various biological treatments containing different plant nutrients on the yield structure of spring barley varieties, taking into account their individual responsiveness. The following specialized fertilizers containing macro- and micronutrients as well as amino acids were tested: "Ultramag Bor", "Biostim Rost", and "Biostim Universal". These preparations, enriched with micronutrients and plant-derived amino acids, stimulate photosynthesis and enhance plant tolerance to abiotic stress. The study identified the most stress-tolerant varieties under conditions of high temperatures and frequent moisture deficit in the Volgograd Region: 'Medicum 200' (2.03 t/ha) and 'Azimut' (2.12 t/ha), which ensured stable yields under adverse conditions. It was established that the use of modern micronutrient fertilizers containing boron, potassium, and plant-derived amino acids contributed to improved yield structure parameters under elevated temperature conditions (24.1 °C and 26.3 °C; optimal temperatures were 20.5 °C and 22.8 °C, respectively). On average, the number of grains per spike increased by 2-3 grains, productive tillering increased by 35-45 stems/m², and grain yield increased by 0.3 t/ha.

Keywords. Spring barley; thousand-kernel weight; yield; drought tolerance; micronutrient fertilizers.

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment FNFE-2025-0009 "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with high-value characteristics of productivity, quality, resistance to bio- and abiostressors using classical and modern breeding methods, new innovative technologies in nursery and seed production, to solve the problems of prevention of degradation and desolation of agricultural landscapes in a changing climate."

For citation. Guzenko A. Yu., Solonkin A. V. Effect of modern micronutrient fertilizers on the yield of spring barley varieties in the arid zone of the Volgograd Region // Scientific Agronomy Journal. 2026; 1(132):46-56. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.006.46-56.

Received: 20.01.2026

Accepted: 16.02.2026

Введение. Ячмень, благодаря своей универсальности (продовольственное, кормовое и техническое применение), играет важную роль, как одна из стратегических культур страны. Высокая урожайность и относительная адаптивность к условиям выращивания делают его выгодной сельскохозяйственной культурой (Марьина-Чермных, 2021; Гузенко, 2023). Южный федеральный округ является одним из главных (ключевых) центров зернового производства в Российской Федерации (Беляев и др., 2025; Прянишников и др., 2023). Ячмень в данном регионе занимает лидирующие позиции среди зернофуражных культур по площади – от 11 до 16 % от площади посевов (Питоня, Питоня, 2022).

Анализ научных публикаций показывает, что способность сортов ярового ячменя к кущению в засушливой зоне является одним из ключевых факторов его пластичности, регулирующий густоту продуктивного стеблестоя и урожайность. Таким образом, в острозасушливых условиях наиболее важным показателем, определяющим реакцию сорта на недостаток влаги, является его продуктивность. На данном этапе развития при недостаточной влагообеспеченности растение сбрасывает побеги кущения, переводя питательные вещества на формирование репродуктивных органов главных стеблей (Al-Ghzawi, A. L. A. и др., 2019; Guzenko A. Yu., 2023).

Успешное возделывание ярового ячменя во многом зависит от условий выращивания этой культуры. Как известно, показатели сортов по-разному отзывчивы на применяемые технологии, некоторые генотипы демонстрируют снижение урожайности на фоне дефицита флаги, тогда как другие могут иметь высокую компенсаторную способность в фазе кущения. (Петров и др. 2023; Марьина-Чермных, 2021). Разнообразие сортов, которое мы видим на сегодня в сельхозпроизводстве, связано с необходимостью решать множество различных задач, обусловленных с реализацией и поиском потенциальных качеств сортов с дальнейшим уменьшением дополнительных затрат (Aubry, S., 2019; Зеленев и др., 2022; Маркова, 2024).

В настоящее время в Южном Федеральном округе происходит увеличение спроса ярового ячменя на зернофуражные цели, а значит для повышения урожая зерна требуются новые подходы в отработке методов возделывания. Одним из методов повышения урожайности как в товарном производстве, так и в семеноводстве является использование микроэлементных удобрений и фиторегуляторов роста растений, которые позволяют получить продукцию необходимого объема и качества. (Капранов и др., 2025; Сухарева и др., 2025; Михальков и др., 2024).

В связи с вышесказанным **целью** работы являлся комплексный анализ эффективности воздействия вариативных биологических обработок с разным набором питательных элементов растительного происхождения на структуру урожайности ярового ячменя, с учетом их индивидуальной восприимчивости.

Задачи исследования:

- изучение динамики роста и развития перспективных сортов ярового ячменя в засушливой зоне Волгоградской обл.;
- анализ отклика структуры урожайности новых сортов ярового ячменя на применение микроудобрений и регуляторов роста.

Материалы и методы. Проведение всех учетов и наблюдений осуществлялось в соответствии с методикой полевого опыта Доспехова Б. А. и методикой Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур (Доспехов, 2014).

Исследование проводилось в период 2023-2024 гг. Участок, где был заложен опыт, расположен на территории землепользования ФНЦ агроэкология РАН в п. Госселекстанция Камышинского р-на Волгоградской обл. Почва экспериментального участка – каштановая, среднемошная, тяжелосуглинистая, типичная для данной местности. Анализ на содержание гумуса определялся по методу Тюринга (ГОСТ 26213-91). По категории гумусированности показатели были в среднем 1,85 % – малогумусированные. Содержание азота проводилось по ГОСТ 53219-2008. По классификации данная почва показала очень низкое содержание азота – 4,4 мг/100 г почвы. Содержание фосфора и калия определялось по методу Мачигина (ГОСТ 26205-84): Содержание фосфора в слое от 0-10 см и 10-20 см показал повышенное значение – 34,77 и 30,83 мг/100 г почвы. Однако в слое 20-30 см показатели были средние – 23,62 мг/100г почвы. Показатели калия в слое 0-10 см в среднем составляло – 292 мг/100 г почвы. Проводилось лушение стерни после предшественника (озимая пшеница) с помощью ЛДГ-10. Обработка почвы минимальная. Весенне-летний уход за парами состоял из весеннего боронования зубowymi боронами в два следа. Затем последующая культивация с помощью КППГ-4 на 8-10 см и вторая перед посевом на 5-6 см. Обработка опытного участка проводилась гербицидом – Спрут Экстра (доза 3,5 л/га) для уничтожения всей сорной растительности.

Опыт двухфакторный: фактор А – новые сорта ярового ячменя, фактор В – листовые подкормки специальными удобрениями и стимуляторами роста. Площадь делянки под каждым вариантом – 50 м², опыт заложен в 4-кратной повторности.

В рамках исследования были отобраны сорта (образцы) ярового ячменя созданные в двух селекционных центрах: ФНЦ агроэкологии РАН и АНЦ «Донской», которые наиболее соответствуют по характеристикам 8 региону возделывания (Нижеволжский). Сорта ФНЦ агроэкологии РАН: Медикум 139, Медикум 200 и Камышинский 23; сорта АНЦ «Донской»: Азимут, Федос и Леон.

Для изучения листовых подкормок были взяты специальные удобрения и регуляторы роста, содержащие макро- и микроэлементы, аминокислоты, гуминовые и фолиевые кислоты: «Ультрамаг Бор», «Биостим Рост», «Биостим Универсал», «Гумат Калия», которые по заявлению производителей стимулируют фотосинтез и защищают растения от негативного влияния абиотических стрессовых явлений. Бор в растениях занимает главную роль в прохождении фотосинтетических процессов и выступает как катализатор, при этом повышая процент вероят-

ности увеличения урожайности и качества семян за счет прямого воздействия на цветение и плодоношение растений. «Гумат Калия» повышает обводненность клеток, помогая пережить засушливые периоды, а также улучшает усвоение азота.

На протяжении исследования 2023-2024 гг. проводилось предпосевное внесение аммиачной селитры нормой 100 кг/га по всему опытному участку. Протравливание семян проводилось препаратом Поларис Кватро, СМЭ (д. в. суспензия 150 г/л ацетамиприда + 100 г/л прохлораза + 20 г/л тебуконазола + 15 г/л пираклостробина) в дозе 1,5 л/т. Предпосевная культивация проводилась строго за сутки перед севом. Посев сортов ярового ячменя проводился сеялкой «Альфа» СС-11 на глубину 3-4 см нормой высева 3,5 млн шт. всхожих семян на гектар. Внесение листовых подкормок проводилось опрыскивателем «Туман 2» вечером или рано утром в безветренную погоду.

Для достижения поставленных целей была создана двухфакторная схема эксперимента, которая включала посев различных сортов ярового ячменя. В рамках этой схемы проводились обработки сортов ярового ячменя на разных этапах их развития (рис. 1).

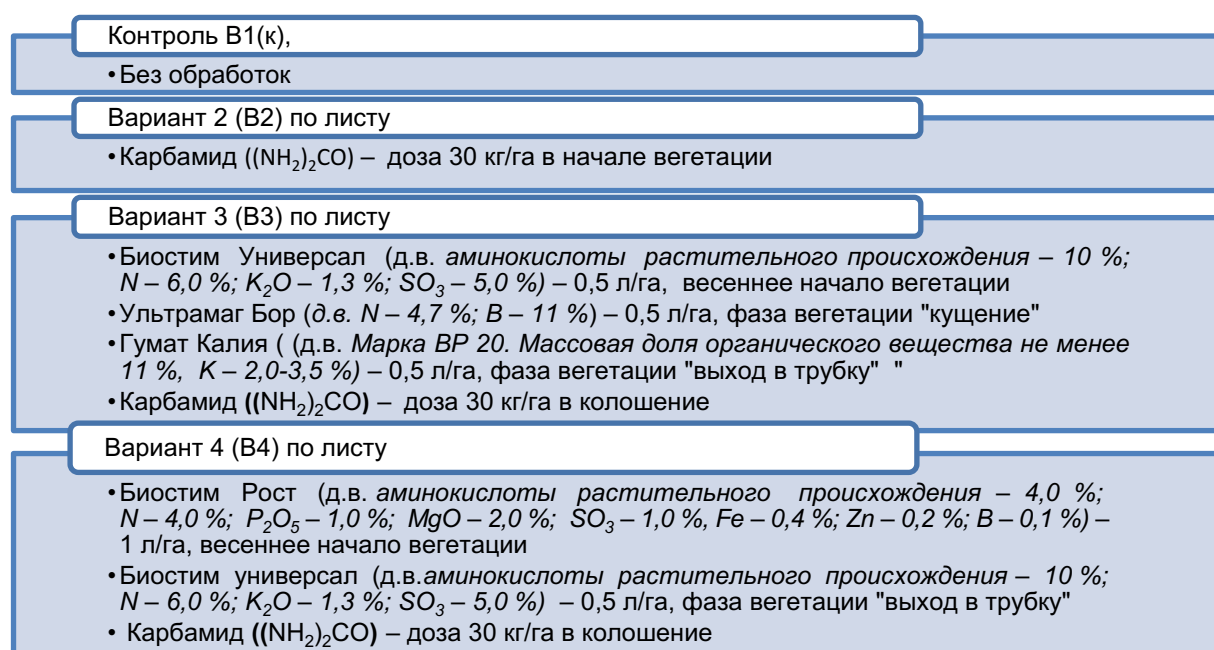


Рис. 1. Варианты обработки сортов ярового ячменя биологическими препаратами, Камышинский р-н Волгоградской обл., 2023-2024 гг.

В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Качественные показатели зерна определялись в испытательной лаборатории ФНЦ агроэкологии РАН на инфракрасном анализаторе «ИнфраЛЮМ ФТ-12». Статистическая обработка проводилась посредством программы Excel.

Результаты. Климат Камышинского р-на засушливый, с резко выраженной континентальностью. В начале весеннего периода установилась положительная динамика дневных температур, но в ночное время наблюдались отрицательные, в среднем за месяц – 2,3 °С. В марте выпало 73,2 мм осадков в виде дождя и снега, это пополнило запас влаги в верхних слоях почвы. В апреле происходило постепенное нарастание температур воздуха с минимальной температурой 7,1 °С (рис. 2а). За время всей вегетации ярового ячменя (апрель – июль) выпало 184,4 мм осадков, что характеризует его как слабо засушливый год.

В 2024 г. сроки сева выпали на вторую декаду апреля. В мае среднемесячная температура воздуха была ниже нормы на 1,2 °С. Температура. 20,5 °С и 22,8 °С соответственно). За время вегетации выпало 125,7 мм осадков, что характеризует его как крайне засушливый год (рис. 2б). Дефицит влаги наблюдался на всем протяжении вегетационного периода.

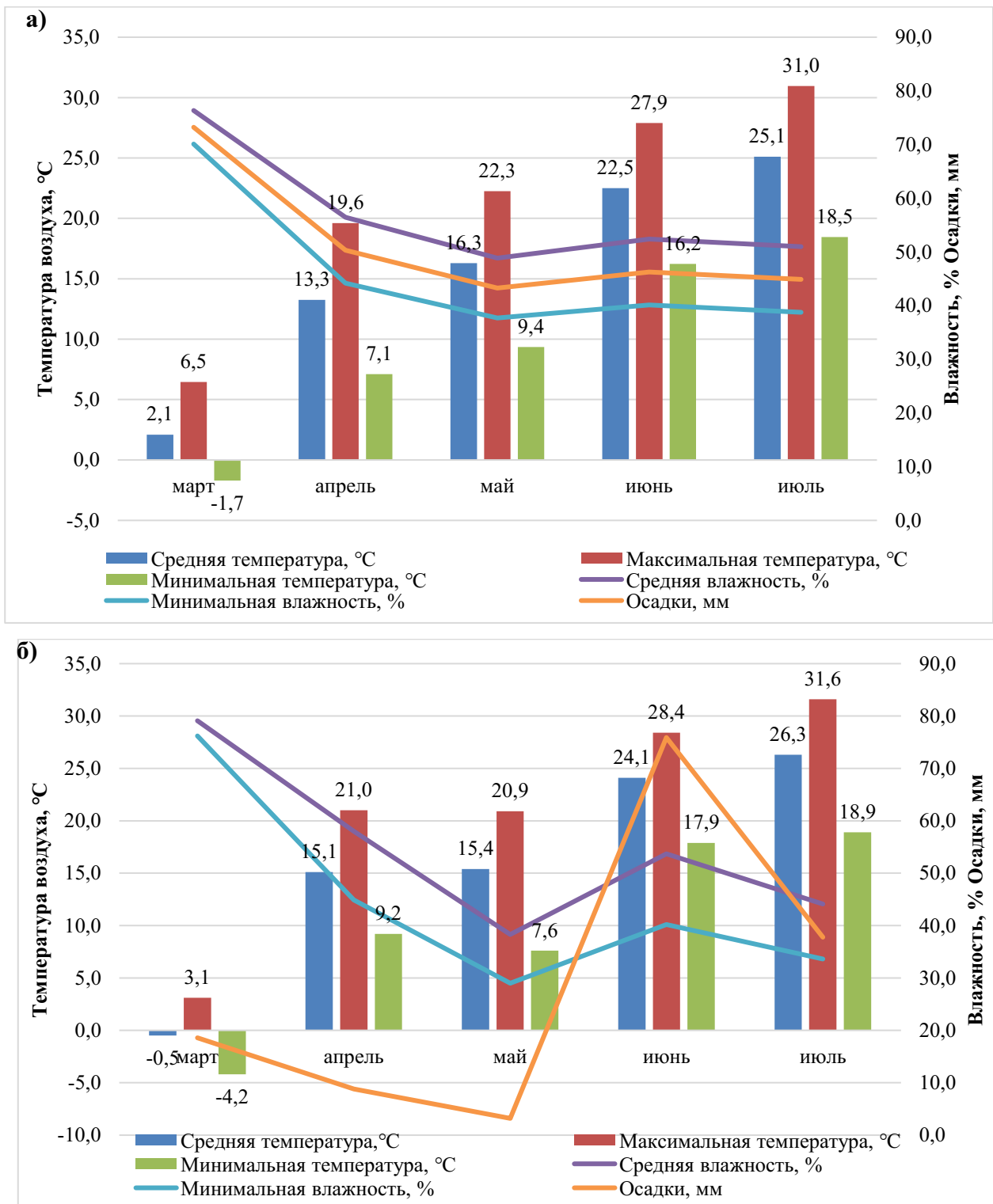


Рис. 2. Климатические условия в Камышинском р-не Волгоградской обл. (а – 2023 г., б – 2024 г.)

За два года исследований, полевая всхожесть растений ярового ячменя по всем сортам находилась в пределах 81-94 %. Коэффициент кущения составил у сортов ФНЦ агроэкологии РАН 1,7-1,9, у сортов АНЦ Донской – 1,4-2,1. Это говорит о том, что начальное развитие у всех сортов ярового ячменя за 2023-2024 гг. протекало схоже и находилось в удовлетворительном состоянии. В процессе исследования на контрольном варианте листовые подкормки не проводились. На других вариантах применялись различные биопрепараты по фактору В, что позволило значительно улучшить показатели структуры урожая в зависимости от индивидуальности каждого изучаемого сорта.

Проведенные учеты и наблюдения за растениями ярового ячменя в течении вегетации показали в среднем за 2023-2024 гг. существенное варьирование по высоте стебля – от 0,65 м до 0,76 м у сортов ФНЦ агроэкологии РАН, и от 0,55 м до 0,69 м у сортов АНЦ Донской (табл. 1). При этом основное различие по высоте растений наблюдается между сортами по фактору А, где выделяются сорта селекции ФНЦ агроэкологии РАН: Медикум 139 – 0,73 м, и Медикум 200 – 0,68 м. По фактору В при применении листовых обработок отмечена незначительная разница (при НСР₀₅ В = 0,008) на всех вариантах. Данное различие между сортами можно отнести к генетическим характеристикам каждого сорта. Другой показатель структуры ярового ячменя (как длина колоса) в данном исследовании также можно отнести к особенностям сорта, так как значения данного параметра имели одинаковую минимальную разницу между вариантами обработок – НСР₀₅ В = 0,047 (табл. 1).

Таблица 1

Высота стебля (м) и длина колоса (м) сортов ярового ячменя на разном фоне обработки, на светло-каштановых почвах в Волгоградской области, м, 2023-2024 гг.

Наименование сорта	Вариант обработки	Высота стебля			Длина колоса		
		2023 г.	2024 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	среднее
Медикум 139	В1 (к)	0,72	0,71	0,72	0,141	0,122	0,132
	В2	0,78	0,73	0,76	0,125	0,124	0,125
	В3	0,70	0,72	0,71	0,105	0,123	0,114
	В4	0,69	0,77	0,73	0,125	0,127	0,126
	Среднее	0,723	0,733	0,728	0,124	0,124	0,124
Медикум 200	В1 (к)	0,66	0,69	0,68	0,111	0,111	0,111
	В2	0,64	0,72	0,68	0,136	0,125	0,131
	В3	0,67	0,73	0,70	0,124	0,125	0,125
	В4	0,63	0,73	0,68	0,105	0,126	0,116
	Среднее	0,650	0,718	0,684	0,119	0,122	0,120
Камышинский 23	В1 (к)	0,66	0,63	0,65	0,112	0,092	0,102
	В2	0,56	0,59	0,58	0,102	0,097	0,100
	В3	0,78	0,65	0,72	0,111	0,095	0,103
	В4	0,73	0,68	0,71	0,125	0,103	0,114
	Среднее	0,683	0,638	0,660	0,113	0,097	0,105
Азимут	В1 (к)	0,66	0,71	0,69	0,103	0,118	0,111
	В2	0,63	0,68	0,66	0,103	0,118	0,111
	В3	0,56	0,69	0,63	0,118	0,116	0,117
	В4	0,61	0,72	0,67	0,119	0,128	0,124
	Среднее	0,615	0,700	0,658	0,111	0,120	0,115
Федос	В1 (к)	0,64	0,51	0,58	0,092	0,068	0,080
	В2	0,62	0,49	0,56	0,094	0,071	0,083
	В3	0,58	0,52	0,55	0,091	0,069	0,080
	В4	0,71	0,61	0,66	0,096	0,074	0,085
	Среднее	0,638	0,533	0,585	0,093	0,071	0,082
Леон	В1 (к)	0,54	0,67	0,61	0,091	0,098	0,095
	В2	0,63	0,65	0,64	0,104	0,096	0,100
	В3	0,64	0,64	0,64	0,099	0,097	0,098
	В4	0,68	0,68	0,68	0,104	0,103	0,104
	Среднее	0,623	0,660	0,641	0,100	0,099	0,099
Среднее по фактору А		0,646	0,653	0,655	0,108	0,102	0,105
Среднее по фактору В		0,645	0,653	0,649	0,108	0,104	0,106
Высота стебля: НСР ₀₅ А = 0,007; НСР ₀₅ В = 0,008; НСР ₀₅ общий = 0,008							
Длина колоса: НСР ₀₅ А = 0,048; НСР ₀₅ В = 0,047; НСР ₀₅ общий = 0,047							

Согласно исследованиям, весенние обработки по вариантам В3 и В4 (Биостим Рост и Биостим Универсал) не дают существенного увеличения данных показателей структуры урожайности, при этом обеспечивают защиту растений от стресса и поддерживают процесс их развития во время засухи и дефицита влаги.

Изучение такого важного показателя продуктивности, как количество зерен в колосе показало варьирование как между сортами, так и при различных вариантах обработок по листу

в рамках одного сорта (табл. 2). Различия по количеству зерен в колосе между сортами варьировало у сортов ФНЦ агроэкологии РАН от 17 шт. до 26 шт., у сортов АНЦ Донской от 6 шт. до 24 шт. Самый низкий показатель отмечен у сорта Федос. Наибольшее количество зерен в колосе (В среднем за 2023-2024 гг.) сформировано у сортов Медикум 139, Медикум 200 – 23 шт. и Азимут – 24 шт. На разных фонах обработки (фактор В) количество зерен в колосе увеличивается от варианта В1(к) к более технологичным вариантам в основном у всех сортов ярового ячменя: Медикум 200 – В3 + 1 шт. и В4 + 4 шт.; Камышинский 23 – В3 + 2 шт. и В4 + 5 шт.; Азимут – В3 и В4 + 2 шт.; Леон – В3 и В4 + 1 шт. (табл. 2). Однако, сорт Федос на некоторых вариантах обработок имеет снижение количества зерен в колосе. По обоим факторам опыта сорт показывает низкую адаптивность к данной почвенно-климатической зоне.

Таблица 2

Количества зерен в колосе (шт.) и продуктивный стеблестой (шт./м²) сортов ярового ячменя на светло-каштановых почвах в Волгоградской обл., 2023-2024 гг.

Наименование сорта	Вариант обработки	Количество зерен в колосе, шт.			Продуктивный стеблестой, шт./м ²		
		2023 г.	2024 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	среднее
Медикум 139	В1 (к)	26	21	23	296	421	358
	В2	23	23	23	304	431	367
	В3	24	22	23	328	428	378
	В4	24	24	24	356	448	402
	Среднее	24	22	23	321	432	376
Медикум 200	В1 (к)	24	19	21	264	418	341
	В2	27	21	24	444	421	432
	В3	25	19	22	484	416	450
	В4	28	22	25	492	432	462
	Среднее	26	20	23	421	421	421
Камышинский 23	В1 (к)	23	17	20	292	391	341
	В2	24	18	21	456	385	420
	В3	28	17	22	484	389	436
	В4	29	21	25	504	403	453
	Среднее	26	18	22	434	392	413
Азимут	В1 (к)	23	23	23	496	419	457
	В2	23	22	22	528	408	468
	В3	27	23	25	500	421	460
	В4	26	25	25	512	449	480
	Среднее	24	23	24	509	424	466
Федос	В1 (к)	24	16	20	372	383	377
	В2	21	15	18	420	374	397
	В3	23	16	19	416	372	394
	В4	21	18	19	492	391	441
	Среднее	22	16	19	425	380	402
Леон	В1 (к)	24	19	21	408	409	408
	В2	23	20	21	498	401	449
	В3	25	20	22	496	403	449
	В4	23	23	23	436	421	428
	Среднее	23	20	22	459	408	434
Среднее по фактору А		24	20	22	355	407	381
Среднее по фактору В		25	21	21	445	406	426
Количество зерен в колосе: НСР ₀₅ А = 2,27; НСР ₀₅ В = 2,38; НСР ₀₅ общий = 2,33							
Продуктивный стеблестой: НСР ₀₅ А = 0,12; НСР ₀₅ В = 0,13; НСР ₀₅ общий = 0,13							

Одним из важных критериев оценки структуры урожайности является продуктивный стеблестой. В нашем исследовании наблюдается сильное варьирование сформировавшегося стеблестоя между сортами ярового ячменя (фактор А), в среднем за 2 года: Медикум 139 – 358 шт./м², Леон – 408 шт./м², Азимут – 457 шт./м². При листовых обработках в начале весенней вегетации и в фазу кущения (фактор В) наблюдается наибольшая эффективность на вариантах В3 и В4. Наибольший процент увеличения продуктивного стеблестоя по сортам ярового

ячменя отмечен на сортах Медикум 200 – В3 на 24,2 % и В4 на 26,8 %; Камышинский 23 – В2 на 21,8 % и В4 на 24,7 %; Федос В3 на 21,3 % и В4 на 25,2 %. Другие сорта в среднем имели прибавку по вариантам В3 и В4 на 8-13 % (табл. 2). На варианте В2 (карбамид в начале вегетации) отмечена незначительная прибавка, как по количеству зерен в колосе, так и по продуктивному стеблестою, что делает данный прием не столь эффективным, в отличие от других вариантов внесения удобрений по листу. В среднем по всем сортам, общая прибавка на варианте В2 от контроля составила 4,5-6,9 %, что в среднем меньше вариантов В3 и В4 на 9,1-11,7 % (см. табл. 2).

Таким образом, применение листовых подкормок микроудобрениями (варианты В3 и В4) компенсирует недостаток элементов питания на общем фоне развития растений ярового ячменя.

Изучение урожайности показало изменение этого признака в сторону увеличения, как от генетической характеристики сортов и их адаптивной устойчивости к засушливым условиям Волгоградской обл., так и от разных вариантов обработки препаратами сортов ярового ячменя (табл. 3). Показатели по урожайности на всех сортах ячменя в 2023 г. выше по продуктивности, чем в 2024 г., в среднем на 1,0-2,0 т/га (см. табл. 3). Это связано с большими перепадами температур в начале июня (фаза «выход в трубку») в 2024 г. и существенным дефицитом осадков (рис. 3). Вместе с тем выявлено, что, обработка по листу специальными препаратами улучшила состояние растений и дала эффект поддержания баланса микроэлементов в критические периоды развития растений культуры.

Таблица 3

Урожайность сортов ярового ячменя на светло-каштановых почвах Волгоградской обл. при разном фоне обработки, ФНЦ агроэкологии РАН, 2023-2024 гг.

Наименование сорта	Вариант обработки	Урожайность, т/га		
		2023 г.	2024 г.	среднее
Медикум 139	В1 (к)	2,12	1,13	1,63
	В2	2,45	1,15	1,80
	В3	2,65	1,16	1,91
	В4	2,56	1,31	1,94
	Среднее	2,45	1,19	1,82
Медикум 200	В1 (к)	2,94	1,12	2,03
	В2	4,10	1,11	2,61
	В3	4,23	1,13	2,68
	В4	3,12	1,29	2,21
	Среднее	3,60	1,16	2,38
Камышинский 23	В1 (к)	2,65	0,83	1,74
	В2	3,80	0,91	2,36
	В3	4,12	0,94	2,53
	В4	4,08	0,95	2,52
	Среднее	3,66	0,91	2,29
Азимут	В1 (к)	3,21	1,02	2,12
	В2	3,43	1,12	2,28
	В3	3,93	1,24	2,59
	В4	3,31	1,35	2,33
	Среднее	3,47	1,18	2,33
Федос	В1 (к)	2,78	0,69	1,74
	В2	2,64	0,72	1,68
	В3	2,98	0,70	1,84
	В4	3,31	0,79	2,05
	Среднее	2,93	0,73	1,83
Леон	В1 (к)	2,79	0,87	1,83
	В2	3,21	0,82	2,02
	В3	3,65	0,84	2,25
	В4	3,11	0,91	2,01
	Среднее	3,19	0,86	2,03
Среднее по фактору А		2,75	0,94	1,85
Среднее по фактору В		3,33	0,98	2,15
Урожайность: НСР ₀₅ А = 0,003 НСР ₀₅ В = 0,002; НСР ₀₅ общий = 25				

Таким образом, средняя урожайность сортов ярового ячменя без листовых подкормок со-

ставила 1,85 т/га. Наибольшая урожайность отмечена на сортах Медикум 200 – 2,03 т/га и Азимут – 2,12 т/га (разница прибавки от остальных 3,7-4,9 %). При обработке по листу стимуляторами роста и специальными удобрениями (фактор В) средняя урожайность составила 2,15 т/га (разница от варианта без обработки – 0,3 т/га). Наиболее высокая прибавка от применения листовых подкормок в сравнении с контрольным вариантом (В1) отмечена на варианте В3 на следующих сортах: Медикум 200 +24,3 %; Камышинский 23 +39,3 %, Азимут +19,2 % и Леон +19,7 %. Также на этих сортах отмечена большая прибавка от контроля на варианте В4, в среднем на 10,3-13,6 %, разница между вариантами В3 от В4 составила 6,7-8,4 %. Вариант применения удобрений В2 показал незначительную прибавку по отношению к варианту В1(к), в среднем на 3,5-6,9 %.

На основе полученных результатов исследования можно сказать, что среди сортов ячменя наиболее адаптивными по фактору А с высоким потенциалом к засушливым условиям светлокаштановых почв Волгоградской обл., учитывая показатели контрольного варианта, являются сорта Медикум 200 и Азимут (урожайность более 2 т/га). По фактору В на вариантах с обработками препаратами «Биостим Рост», «Гумат Калия» и Ультрамаг Бор» на начальном этапе вегетации снимают стресс и увеличивают показатели структуры урожайности сортов ярового ячменя и позволяют развиваться лучше растениям до выхода в трубку такие сорта как Медикум 200: В3 – 2,68 т/га, Камышинский 23: В3 – 2,53 т/га и В4 – 2,52 т/га; Азимут: В3 – 2,59 т/га и В4 – 2,33, Леон: В3 – 2,25 т/га и 2,01 т/га.

Обсуждение. Специалисты Уральского ГАУ создали уникальное гранулированное органоминеральное удобрение, представляющее собой многокомпонентную смесь на основе природных минералов, птичьего помета и отходов коксохимического производства. Это удобрение отличается богатым составом, содержащим 12 % азота, 12 % фосфора, 2 % калия, 10 % серы, 36 % кальция и 25 % кремния. Эксперименты с яровым ячменем показали, что, хотя удобрение незначительно влияет на фенологические фазы (с небольшим опозданием при высоких дозах), оно существенно улучшает рост и развитие растений (Капранов и др. 2025).

Ранние эксперименты на участках в Нижнем Поволжье убедительно продемонстрировали, что для получения наивысшей урожайности и качественных семян озимой пшеницы ключевым фактором является своевременное внесение микроудобрений и регуляторов роста. Лучшие результаты были получены при обработке посевов осенью (в фазу кущения) и весной (в фазу колошения). В этих случаях урожайность достигала 4,35 т/га и 4,59 т/га (Сухарева и др., 2025). Также исследование влияния комплексного органоминерального удобрения ЭкоОрганика на урожайность ярового ячменя продемонстрировало положительное влияние. Наивысший урожай зерна ячменя (3,18 т/га) был получен при совместной обработке семян и вегетирующих растений ЭкоОрганикой, что составило прирост в 24,22 % по сравнению с контролем. В остальных вариантах применения органоминерального удобрения наблюдалось повышение урожайности ячменя на 0,31-0,35 т/га. Все выявленные различия между вариантами являются статистически существенным (Марьина – Чермных, 2021).

Органоминеральные удобрения и гуминовые препараты являются мощным инструментом для укрепления иммунитета полевых культур. Они помогают растениям лучше справляться с неблагоприятными условиями окружающей среды (засуха, холод, болезни, вредители), раскрывая их внутренний потенциал. Важно отметить их полную безопасность для всех живых организмов – человека, животных, растений и полезной почвенной микрофлоры. Их ключевое отличие от минеральных удобрений заключается в способности ускорять биохимические реакции в почве и насыщать ее энергией, что способствует развитию почвенных организмов и, как следствие, позволяет целенаправленно повышать продуктивность сельскохозяйственных систем (Михальков и др., 2024)

Заключение. Настоящим исследованием выявлены наиболее стрессоустойчивые сорта в условиях высоких температур и частого дефицита влаги Волгоградской обл., формирующие стабильную продуктивность: Медикум 200 – 2,03 т/га и Азимут – 2,12 т/га. Доказано, что использование современных микроудобрений с содержанием аминокислот растительного происхождения, бора и калия на варианте 3, способствует увеличению параметров структуры урожайности при температурах выше нормы (24,1 и 26,3 °С при оптимальных 20,5 и 22,8 °С соответственно), у сортов Медикум 200, Камышинский 23, Азимут и Леон средним: по количеству зерен в колосе на 2-3 шт., по продуктивному стеблестоя на 35-45 шт./м², по урожайность на 0,3 т/га.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Беляев А. И., Петров Н. Ю., Кузнецова Е. А., Петров Ю. Н., Некрасова Т. Н., Беляев И. В., Оконов М. М. Минеральное питание в вопросах роста урожайности озимой пшеницы на юге России. Известия НВ АУК. 2025. 4(82). 13-20. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-04-01>. [Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Kuznetsova E. A., Petrov Yu. N., Nekrasova T. N., Belyaev I. V., Okonov M. M. Mineral nutrition in matters of increasing winter wheat yield in the south of Russia. Izvestiya NV AUK. 2025. 4(82). 13-20. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-04-01>].

Гузенко, А. Ю. Исследование и математическое моделирование влияния биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в засушливых условиях Волгоградской области / А. Ю. Гузенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023;1(69):290-303. DOI <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-31>. [Guzenko, A. Yu. Research and mathematical modeling of the effect of biologics on the yield of spring barley in the arid conditions of the Volgograd region / A. Yu. Guzenko // Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2023;1(69):290-303. DOI <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-31>].

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп. Стереотип изд. М.: Альянс, 2014:352. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 6th ed., revised and add. Stereotype publishing house. Moscow: Alliance, 2014:352.

Зеленев А. В., Егоров Н. М., Новокрещенов И. Д. Эффективность приемов основной обработки чисто пара в повышении урожайности сортов озимой пшеницы в условиях каштановых почв Волгоградской области. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2022. С. 88-95. Zelenev A. V., Egorov N. M., Novokreshchenov I. D. Efficiency of primary tillage techniques on pure fallow in increasing the yield of winter wheat varieties on chestnut soils of the Volgograd region. Innovative technologies in the agro-industrial complex in the context of digital transformation: Proceedings of the International scientific and practical conference. Volgograd, 2022. pp. 88-95.

Капранов В. Н., Зеленев А. В., Киселёв Е. Ф., Тегесов Д. С., Плескачев Н. Ю. Роль технологий разного уровня интенсивности в формировании урожайности и качества зерна новых сортов озимой пшеницы. Известия НВ АУК. 2025;1(79):32-43. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-03>. [Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselyov E. F., Tegesov D. S., Pleskachev N. Y. The role of technologies of different intensity levels in the formation of yield and grain quality of new varieties of winter wheat. Izvestia NV AUK. 2025;1(79):32-43. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2025-01-03>].

Маркова И. Н. Яровая твердая пшеница в Волгоградской области: сорта, урожайность, перспективы возделывания // Научно-агрономический журнал. 2024;2(125):58-63. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2024.125.2.008.58-63>. [Markova I. N. Spring durum wheat in the Volgograd region: varieties, yield, prospects of cultivation // Scientific and agronomic Journal. 2024;2(125):58-63. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2024.125.2.008.58-63>].

Марьина-Чермных О.Г. Влияние органоминерального удобрения ЭкоОрганика на урожайность ячменя // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021;7;2:143-148. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-2-143-148>. [Maryina-Chermnykh O.G. Influence of organic mineral fertilizer EcoOrganica on barley yield // Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences". 2021;7;2:143-148. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-2-143-148>].

Михальков Д. Е., Мищенко Е. В., Раззаренов С. В. и др. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от регуляторов роста и систем применения удобрений. Проблемы развития АПК региона. 2024. № 2 (58). С. 74-79. [Mikhalkov D. E., Mishchenko E. V., Razzarenov S. V. et al. Winter wheat yield depending on growth regulators and fertilizer application systems. Problems of regional agro-industrial complex development. 2024. No. 2 (58). P. 74-79].

Петров Н. Ю., Филин В. И., Егорова Г. С., Беляев И. А., Чамурлиев О. Г. Минеральное питание в посевах ярового ячменя на юге России. Известия НВ АУК. 2023. 4(72). 58-65. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-04-05>. [Petrov N. Yu., Filin V. I., Egorova G. S., Belyaev I. A., Chamurliiev O. G. Mineral nutrition in spring barley crops in the south of Russia. Izvestiya NV AUK. 2023. 4(72). 58-65. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-04-05>].

Питоня В. Н., Питоня А. А. Оценка адаптивности и стрессоустойчивости сортов ярового ячменя для Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2022;1(116):15-18. DOI:

<https://doi.org/10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18>. [Pitonya V. N., Pitonya A. A. Assessment of adaptability and stress resistance of spring barley varieties for the Volgograd region // Scientific and Agronomic Journal. 2022;1(116):15-18. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18>].

Прянишников А. И., Смит И. Н., Мельник А. Ф., Зеленев А. А. Оценка отзывчивости сортов озимой пшеницы на уровень интенсивности их возделывания // Научно-агрономический журнал. 2023. 2(121). С. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.005.28-33>. [Pryanishnikov A. I., Smith I. N., Melnik A. F., Zelenov A. A. Evaluation of the responsiveness of winter wheat varieties to the level of their cultivation intensity // Scientific and Agronomic Journal. 2023. 2(121). P. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2023.121.2.005.28-33>].

Сухарева Е. П., Беликина А. В., Солонкин А. В. Применение микроудобрений и регуляторов роста при производстве семян озимой пшеницы в засушливом климате Нижнего Поволжья России // Аграрный вестник Урала. 2025;25;10:1577-1588. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-10-1577-1588>. [Sukhareva E. P., Belikina A. V., Solonkin A. V. The use of micro fertilizers and growth regulators in the production of winter wheat seeds in the arid climate of the Lower Volga region of Russia // Agrarian Bulletin of the Urals. 2025;25;10:1577-1588. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-10-1577-1588>].

Al-Ghzawi, A. L. A., Al-Ajlouni, Z.I., Al Sane, K. O., Bsoul, E. Y., Musallam, I., Khalaf, Y. B., Al-Hajaj, N., Al-Tawaha, A.R., Aldwairi, Y., Al-Saqqar, H. Yield stability and adaptation of four spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed. Conditions Research on Crops. 2019;20(1):10-18.

Aubry, S. (2019). The future of digital sequence information for plant genetic resources for food and agriculture. Front. Plant Sci., 10. p. 1046. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01046>.

Guzenko, A. Yu. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (*Hordeum vulgare*) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia / A. Yu. Guzenko, E. V. Semichenko // Research on Crops. 2023;24;2:270-275. DOI: https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC_916.

Информация об авторах

Гузенко Алексей Юрьевич, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН) Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация, guzenko-ay@vfanc.ru ORCID: 0000-0003-3852-5358.

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: solonkin-a@vfanc.ru ORCID: 0000-0002-1576-7824.

Information about the authors

Guzenko Alexey Yurievich, Junior Researcher, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", 400062, Russian Federation, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., guzenko-ay@vfanc.ru ORCID: 0000-0003-3852-5358.

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences", 400062, Russian Federation, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., e-mail: solonkin-a@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1576-7824.

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.

Применение хлористого калия совместно с органическими и минеральными удобрениями при возделывании ярового ячменя

Балыков Д. В.✉

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкого»,
г. Кемерово, Россия
ООО МИП «Кера-Тех», г. Кемерово, Россия

Аннотация. В статье приведены аспекты актуальности совместного применения органических и минеральных удобрений, благоприятное и отрицательное действие калия хлористого на рост ярового ячменя сорта Эксплоер. Освещена актуальность проблемы калийного питания почв России, Беларуси, Пакистана, Эфиопии. Приведены примеры научных исследований других авторов о важности влияния калия на плотность почвы и удержание почвенной влаги в Эфиопии, снижение засоленности почвы в Пакистане за счет совместного применения калийных удобрений с органическими, проблеме калийного истощения почв Беларуси. Цель опыта – оценка влияния совместного применения калия хлористого с органическими или минеральными удобрениями на урожайность ярового ячменя сорта Эксплоер. Исследования проводились на территории Томской обл., которая по районированию входит в Западно-Сибирский регион. При проведении полевого опыта использовалась сельскохозяйственная техника действующего предприятия: оборотный плуг, зубовая борона, сеялка, самоходный опрыскиватель, БПЛА. Представлены полученные при применении различных схем удобрений значения биологической урожайности, массы и длины колоса, массы 1000 зерен, высоты растений, кустистости при известном начальном NPK почвы. Внесение органических удобрений оказало значительное влияние на кустистость, которая в сравнении с контролем увеличилась на 44 и 77 %. Достигнуто повышение урожайности на 3,1 т/га в сравнении с контрольным вариантом. Подтверждено статистически значимое влияние удобрений на массу колоса.

Ключевые слова. Калий хлористый, органические удобрения, яровой ячмень, повышение урожайности, структура урожайности.

Цитирование. Балыков Д. В. Применение хлористого калия совместно с органическими и минеральными удобрениями при возделывании ярового ячменя // Научно-агрономический журнал. 2026;1(132):57-66. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.007.57-66.

Поступила в редакцию: 25.11.2025

Принята к печати: 26.01.2026

Application of potassium chloride in combination with organic and mineral fertilizers in spring barley production

Balykov D. V.✉

Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletsky, Russia, Kemerovo
LLC SIE "Kera-Tech"

Abstract. The article examines the relevance of the combined application of organic and mineral fertilizers and the beneficial as well as adverse effects of potassium chloride on the growth of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar 'Explorer'. The issue of potassium nutrition of soils in Russia, Belarus, Pakistan, and Ethiopia is highlighted. The paper reviews studies by other authors demonstrating the role of potassium in reducing soil bulk density and improving soil moisture retention in Ethiopia, decreasing soil sa-

✉ – Для контактов/Corresponding author

linity in Pakistan through the combined use of potassium and organic fertilizers, and addressing potassium depletion of soils in Belarus. The objective of the experiment was to assess the effect of the combined application of potassium chloride with organic or mineral fertilizers on the yield of spring barley cultivar 'Explorer'. The research was conducted in the Tomsk Region, which belongs to the West Siberian agroclimatic zone. The field experiment employed standard agricultural machinery, including a reversible plow, tine harrow, seeder, self-propelled sprayer, and an unmanned aerial vehicle (UAV). The study presents data on biological yield, spike weight and length, thousand-kernel weight, plant height, and tillering under different fertilization schemes, considering the initial soil NPK content. The application of organic fertilizers had a significant effect on tillering, increasing it by 44 and 77 % compared with the control. Grain yield increased by 3.1 t/ha relative to the control treatment. A statistically significant effect of fertilizer application on spike weight was also confirmed.

Keywords. Potassium chloride; organic fertilizers; spring barley; yield increase; yield structure.

For citation. Balykov D. V. Application of potassium chloride in combination with organic and mineral fertilizers in spring barley production // Scientific Agronomy Journal. 2026;1(132): 57-66. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.007.57-66.

Received: 25.11.2025

Accepted: 26.01.2026

Введение. Для удержания высоких значений урожайности любой сельскохозяйственной культуры основное внимание уделяется содержанию макроэлементов NPK, а именно их соотношению, которое прямо коррелирует с выносом макроэлементов NPK из почвы конкретной культурой. Обеспеченность азотом (N) на протяжении последних лет постепенно стало первой и основной задачей для сельскохозяйственных предприятий, в то время как фосфор (P) и калий (K), стоящие в одном ряду потребностей растений, заняли второстепенное место. Азотсодержащие вещества в здоровой почве пополняются за счет фиксации азота воздуха, процессов нитрификации почвенными бактериями, постепенного разложения пожнивных остатков, на что непосредственно влияет содержание в них органического вещества и гумуса (Бондарев и др., 2025). Фосфор (P) и калий (K) не имеют такого количества источников пополнения в отличие от азота (N), и с течением времени их запасы постепенно истощаются, приводя к смещению баланса макроэлементов NPK. Пополнение и сохранение имеющихся почвенных запасов калия остается актуальным и требует особого внимания в 2025 г. (Тютюнов и др., 2025; Жарикова, 2010).

В настоящее время эффективное ведение сельскохозяйственного производства возможно только с оптимизацией калийного питания растений. Применение азотных удобрений приводит к увеличению содержания доступного калия в почве, что приводит к увеличению потребления и ускорению истощения. Так в работе О. Г. Кулеша достоверно отмечено, что при дозировке азота, равной 120 кг/га действующего вещества (д. в.), происходит увеличение содержания доступного калия в почве на фазах 1 узла, колошения и молочной спелости яровой пшеницы (Кулеш и др., 2023). Содержание ионов калия в почве увеличивает фиксирующую способность по отношению к аммонии, что показано в работе В. Н. Якименко (Якименко, 2011).

В монографии В. Н. Якименко освещается еще один аспект содержания калия в почве, имеющий агрохимическое значение: «Обеспеченность конкретной почвы подвижными формами калия зависит от их содержания в отдельных гранулометрических фракциях, а также от относительного количества самих фракций. Изучение особенностей распределения запасов калия по гранулометрическим фракциям зональных почв имеет как почвенно-генетическое, так и агрохимическое значение» (Бойко и др., 2019).

Сохранение и пополнение содержания калия в почве является распространенной современной проблемой не только России (Тютюнов и др., 2025), а также в Беларуси (Кулеш и др., 2023) и Эфиопии (Kelali и др., 2023). Использование калийных удобрений оказывает влияние на структуру почвы, в т. ч. на плотность и удержание влаги. Деградация почвы при интенсивном земледелии – серьезная проблема современного земледелия. В исследованиях Н. Kelali, проводившихся на двух отдельно расположенных участках, представлены данные о влиянии удобрений на плотность и удержание влаги почвой. Единоличное и комбинированное применение компоста, удобрений NPSZn и калия хлористого (в диапазоне дозровок 120-300 кг/га KCl) значительно снизило плотность почвы по сравнению с контролем. Снижение плотности

почвы на суглинистых участках составило 1,24 г/см³ в 2018 г. и 1,22 г/см³ в 2019 г. от начальных значений в 1,37 и 1,36 г/см³, а на супесчаных почвах 1,5 г/см³ в 2018 г. и 1,47 г/см³ в 2019 г. от начальных значений 1,72 и 1,72 г/см³. Самое высокое снижение плотности наблюдалось на участках, обработанных компостом в сочетании с самыми высокими нормами NPSZn и KCl по сравнению со всеми обработками (Kelali и др., 2023). Удержание влаги почвой по усредненным показателям между 2018 и 2019 гг. повысилось с 19 до 21 % для суглинистых и с 9 до 12 % для супесчаных почв (Kelali и др., 2023).

Содержание удобрения калия хлористого может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на первых стадиях прорастания семян пшеницы. По данным, полученным О. В. Степановой, хлорид калия в концентрации 0,005 % оказывает положительное влияние на длину ростка, корня и всхожесть семян пшеницы, с увеличением концентрации хлора до 0,01 % и 0,02 % появляется обратный эффект – угнетающее действие хлора (Степанова, 2021). Представленные данные, оценочно пересчитанные для 5-сантиметрового слоя почвы, составляют около 250 кг/га хлористого калия (KCl) или 145-150 кг/га действующего вещества (калий).

Широко известно, что внесения калийных удобрений рекомендовано вносить осенью под зяблевую вспашку. При наличии значительных потерь питательных элементов вследствие вымывания (легкие почвы) хлористый калий рекомендуется вносить ранней весной с первой культивацией (Абашев и др., 2015; Суховеева и др., 2023). Использование калийных удобрений, в т. ч. хлорсодержащих, что связано с распространенностью и экономической составляющей, является одним из основных факторов обеспечивающих получение высоких урожаев. На легких почвах, песчаных и рыхлосупесчаных в связи с высокими потерями хлористый калий рекомендуется вносить весной под ранневесеннюю культивацию. С момента внесения хлористого калия до момента прорастания культуры хлор из удобрений практически полностью вымывается (Лапа и др., 2011).

Применение калия хлористого может приводить к повышению содержания солей в почве, что особенно значимо в засушливых климатических условиях. Снижение повышения солей в почве достигается внесением калия хлористого совместно с различными органическими удобрениями. Так, в работе Naila Faroq был проведен эксперимент в горшке для оценки сравнительной эффективности калия хлористого, сульфата калия и компостов, смешанных с калием хлористым, по отдельности на рост, физиологию и питание кукурузы калием. Компостиrowанный птичий помет, смешанный с калием хлористым, показал значительное улучшение параметров роста культуры по сравнению с применением только калия хлористого: высота растений 19 %, длина корней 60 %, живой (не сухой) вес корней 100 %, живой вес побегов 64 %, содержание хлорофилла 29 % (Faroq и др., 2018). По данным исследований Naila Faroq смешанное внесение органического удобрения с калием хлористым снижает содержание хлорид аниона в почве (4,5 ммоль/л) по сравнению с внесением только одного калия хлористого (8,7 ммоль/л) (Faroq и др., 2018).

Добавка минеральных удобрений к компостам позволяет увеличить степень гумификации входящих в их состав органических веществ (Воккосов, 2022), а также улучшает почвенную микрофлору (Коршунов и др., 2007), что увеличивает благоприятное влияние органических удобрений на питание растений (Дубницкая, 2025; Азаров, Лоткова, 2022). В представленной работе исследуется влияние на структуру урожайности ярового ячменя совместного применения калия хлористого с органическими удобрениями.

Органическое удобрение «Биокомпост Агро-М» производится из ферментированного птичьего ППЖ, выпускается в виде «Россыпь», «Гранула», «Жидкий». Каждая марка содержит в своем составе NPK, а также полезные органические вещества. Внесение «Агро-М» позволяет повысить урожайность, увеличить содержание в почве гумуса, создать и поддерживать благоприятную микрофлору, снизить заболеваемость культур (Балыков и др., 2025).

Материалы и методы. В исследованиях использовался ячмень яровой Эксплоер РС1 (*Hordeum vulgare* L.) 2024 г. Место проведения: Томская обл., Томский р-н, окрестности с. Рыбалово. Почвенно-климатические условия и тип почв: серые лесные, среднегумусированные земли подтаежной зоны. Площадь опыта 500 м². Трехкратная повторность, сплошное организованное размещение вариантов опыта, форма делянок удлиненная (7,20 × 11,25 м).

Разрушение почвенной корки и выравнивание поверхности (осенью) двухследным боронованием бороной «Велес 22» (трактор «Versatile 2375»). Распашка культуры предшеству-

ника (весной) оборотным плугом «Диамант 16» (трактор «К-742»). В мае 2024 г. боронование зяби (закрытие влаги) зубовой бороной «Велес 22» (трактор «Versatile 2375»).

Для предпосевной обработки почвы (глубина 4-5 см), выравнивания поверхности и борьбы с сорной растительностью использовался трактор К-744 и агрегат ПК-1080. Норма высева 6,5 млн/га. Сев проводился зерновой зернотуковой сеялкой «СЗП-3,6» (трактор «МТЗ-82»).

Общая листовая обработка средствами защиты осуществлялась самоходным опрыскивателем «Amazone Pantera 4502-27». Норма расхода рабочего раствора составляла 160 л/га. Отдельные опытные делянки обрабатывались с помощью Агро дрона «НТ-30» (БПЛА) с шириной распыления 6 м. Отбор образцов опытных вариантов проводился вручную с использованием агрономической рамки, подсчет зерен – оборудованием Automatic Seed Counter (модель SLY-C), взвешивание образцов – на весах Mercury (модель M-ER post 2).

Посев ячменя проводился по предшественнику многолетние травы на глубину 3-4 см с одновременным внесением сухих удобрений.

Для предпосевной обработки посевного материала использовались средства:

1. 0,5 л/т Табу Нео (д. в.: имидаклоприд 400 г/л, клотианидин 100 г/л);

2. 0,5 л/т Оплот Трио (д. в.: дифеноконазол 90 г/л, тебуконазол 45 г/л, азоксистробин 40 г/л);

3. 0,5 л/т Амицид Микро.

Для фунгицидной обработки использовалось средство широкого действия Колосаль (д. в.: тебуконазол, 250 г/л) в дозировке 1 л/га с добавлением подкормки КАС-32.

Для гербицидной обработки в одной баковой смеси использовались препараты:

0,26 л/га Балерина (д. в.: 2-этилгексилэфир 410 г/л, флорасулам 7,4 г/л);

0,8 л/га Ластик Экстра (д. в.: клоквинтосет-мексил 40 г/л, феноксапроп-П-этил 70 г/л).

Листовая подкормка проводилась при температуре воздуха 17 °С в безветренную погоду при отсутствии атмосферных осадков.

Значения массы колоса и количества зерен колоса ярового ячменя обрабатывались в программе Statistica 12 – факторный дисперсионный анализ ANOVA ($p = 0,00005$), выборка данных более 2000 значений.

Различия вариантов опыта, а также добавочное количество NPK, формы используемых органических и минеральных удобрений представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Различия вариантов опыта, NPK,
формы используемых органических и минеральных удобрений**

Вариант	NPK добавочный, кг/га	Внесение удобрений в почву
1 (контроль)	0:0:0	Отсутствует
2 (калий)	0:0:95	170 кг/га Калий хлористый
3 (минеральные)	85:25:182	95 кг/га Диаммофоска 235,9 кг/га КАС-32 280 т/га Калий хлористый
4 (россыпь)	85:74:182	5 т/га (россыпь) 280 т/га Калий хлористый
5 (гранула)	85:74:182	1,17 т/га (гранула) 280 т/га Калий хлористый

Количество питательных веществ NPK, внесившихся в почву, выбрано исходя из начальной обеспеченности почвы этими элементами и среднему значению выноса элементов культурой. Учитывая внесенные в почву опытных вариантов удобрения, а также ежегодную нитрификацию почвы (с учетом глубины распашки поля и процентного содержания гумуса), оценочное содержание макроэлементов составило 144:275:272 для N:P:K соответственно. При таком распределении значений NPK обеспеченность азотом выступает привычным для сельскохозяйственных предприятий лимитирующим урожайность фактором, фосфор остается в избыточном количестве (за счет начального содержания в почве), а содержание калия в почве становится не только достаточно восполнено, но и постепенно накапливается для следующего звена севооборота. Различия содержания фосфора в вариантах опыта принимается малозначимым вследствие его избыточного нахождения в почве.

Результаты. Агрохимическое обследование опытных участков почвы, выполненное в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019, ГОСТ Р 58596-2019, ГОСТ 26204-91, показало содержание гумуса более $4,0 \pm 0,3$ %, рН слабокислый, содержание азота 27 мг/1000 г, высокое содержание фосфора 250 мг/1000 г, низкое содержание обменного калия 90 мг/1000 г.

5 сентября 2024 г. были отобраны образцы для оценки структуры урожайности. Полученные результаты в пересчете на 10 %-ную влажность представлены в табл. 2.

Таблица 2

Структура урожайности ярового ячменя

Показатель	Вариант опыта				
	1	2	3	4	5
Высота растения, см	46,20	45,30	46,50	43,30	48,90
Длина колоса, см	5,70	5,50	6,30*	5,40	5,60
Продуктивность колоса, г	0,82	0,86	0,92	0,67	0,77
Кoeffициент продуктивности, ед.	0,92	0,92	0,90	0,93	0,91
Масса колоса, г	0,85	0,90	0,95*	0,70*	0,80*
Зерен в колосе, шт.	14,70	14,20	14,50	13,60	14,00
Кoeffициент кустистости, ед.	2,42	3,00	2,35	4,29	3,49
Масса 1000 зерен, г	52,60	57,30	59,90	46,80	52,00
Биол. урожайность, т/га	5,10	6,40	6,10	8,20	7,70

Примечание: * – статистически значимые различия с контрольной группой (критерии Дункана, Фишера LSD, Ньюмана-Кейлса).

Опытные варианты имеют более высокие значения показателей структуры урожайности по сравнению с контролем, за исключением минимального значения массы 1000 зерен для варианта 4 (46,8 г), что объясняется максимальным показателем кустистости (4,29), который имеет корреляцию с массой 1000 зерен, полнотой колоса и другими показателями (Щуклина и др., 2022). Урожайность варианта 4 – 8,2 т/га (+60,8 %) и варианта 5 – 7,7 т/га (+51 %) находится примерно на одном уровне. В обоих вариантах использовали органические удобрения. Урожайность 3 варианта 6,1 т/га (+19,6 % относительно контрольного варианта) достигается преимущественно за счет увеличенной массы 1000 зерен (59,9 г) при равной полноте колоса, но имеет более низкое значение урожайности, чем в опытных вариантах 4 и 5, что предположительно связано с низким показателем кустистости (2,35). Урожайность варианта 2 (6,4 т/га) выше контрольного варианта на 25,5 %.

Дисперсионный анализ ANOVA подтвердил статистическую значимость ($p = 0,00005$) влияния удобрений на массу колоса для вариантов 4, 5 относительно 3 варианта; 4 относительно 1, 2 и 3 варианта. Диаграмма урожайности ярового ячменя представлена на рис. 1, распределение значений количества зерен в колосе – на рис. 2.

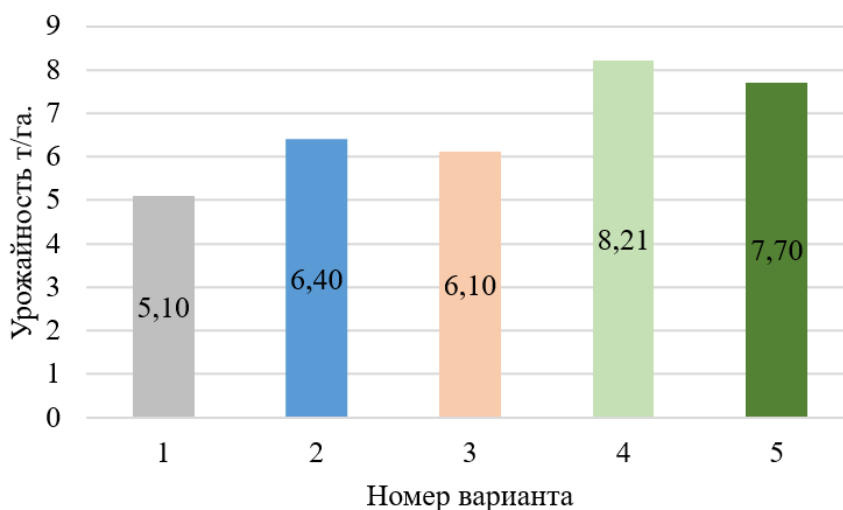


Рис. 1. Зависимость биологической урожайности ярового ячменя от варианта применения удобрений (1 – контрольный вариант; 2 – 170 кг/га KCl; 3 – 95 кг/га диамофоска, 280 кг/га KCl, 235,9 кг/га KAC-32; 4 – 5 т/га «Биокомпост Агро-М» Россыпь, 280 кг/га KCl; 5 – 1,17 т/га «Биокомпост Агро-М» Гранула, 280 кг/га KCl)

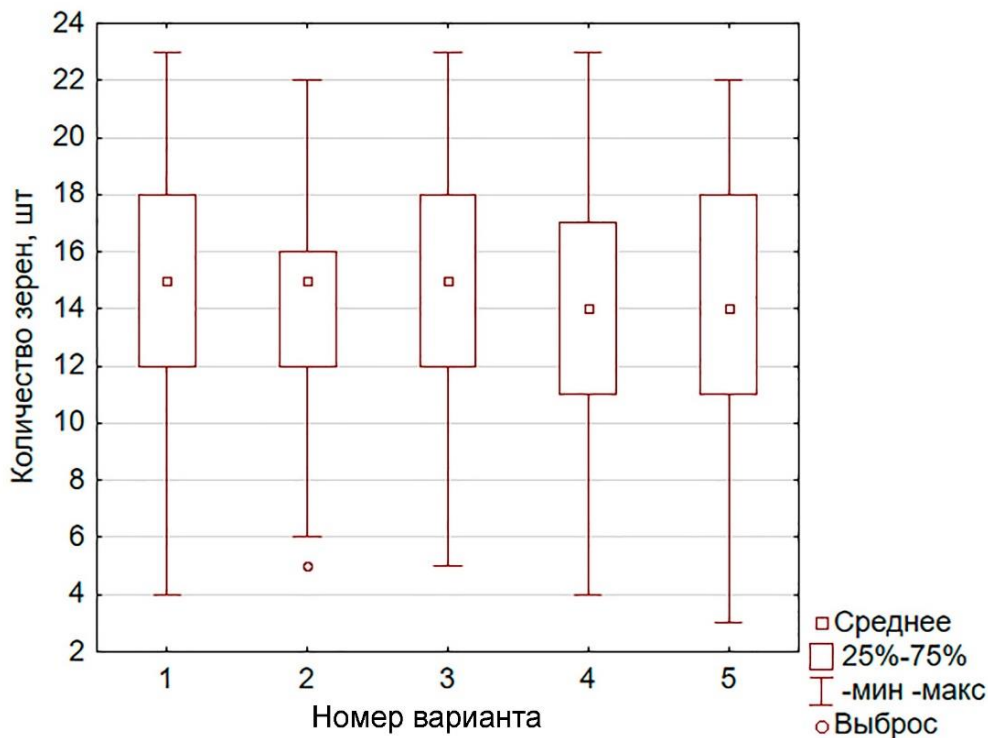


Рис. 2. Зависимость количества зерен в колосе ярового ячменя от варианта применения удобрений (1 – контрольный вариант; 2 – 170 кг/га KCl; 3 – 95 кг/га диаммофоска, 280 кг/га KCl, 235,9 кг/га KAC-32; 4 – 5 т/га «Биокомпост Агро-М» Россыпь, 280 кг/га KCl; 5 – 1,17 т/га «Биокомпост Агро-М» Гранула, 280 кг/га KCl)

Из рис. 1 видно, что в ряду вариантов 1-3-2-5-4 наблюдается увеличение биологической урожайности. При этом варианты с применением органических удобрений показывают самые большие результаты биологической урожайности, а вариант 3 с минеральными удобрениями уступает варианту 2 с моноудобрением хлористым калием.

Для показателей количества зерен на колос значимость влияния фактора применения удобрений не обнаружена, значимых различий при межгрупповых тестах Фишера, Бонферрони, Шеффе, Тьюки, Дункана нет.

Для показателей массы колоса значимость влияния фактора подтверждена тестами Фишера (0,0493 вариант 3, 0,0017 вариант 4), Ньюмана-Кейлса (0,014 вариант 4), Дункана (0,0441 вариант 3, 0,0028 вариант 4) относительно контрольного варианта 1. А также подтверждена значимость для массы колоса между вариантами 3, 4, 5 относительно друг друга.

Обсуждение. Полевые исследования подтвердили гипотезу, что совместное применение калия хлористого с органическими удобрениями окажет положительное влияние на биологическую урожайность ярового ячменя, что также было отмечено в работе Naila Farooq (Farooq и др., 2018). Использование хлористого калия в качестве единственного удобрения в варианте 2 на фоне дефицита калия в почве также подтвердило положительное влияние на показатели структуры урожайности, что согласуется с работой Д. А. Суходеевой при возделывании сои сорта Алтом (Суховеева и др., 2023).

Проведенный отбор снопов ярового ячменя показал увеличение биологической урожайности на 1,3 т/га для варианта 2, на 1,0 т/га для варианта 3, на 3,1 т/га для варианта 4 и на 2,6 т/га для варианта 5.

Закономерности влияния на высоту ярового ячменя не выявлено. Максимальная средняя высота растений 48,9 см наблюдается у 5 варианта. Минимальная высота растения 43,3 см у варианта 4. Таким образом у двух вариантов, в которых применялись органические удобрения, кардинально различные значения высоты растения. При сравнении высоты растений контрольного варианта 1 и опытного варианта 2 наблюдается снижение высоты растения, что предположительно может быть связано с неблагоприятным влиянием хлорид иона (Степанова, 2021) в расчетной концентрации в пятисантиметровом слое почвы 0,03 %. Предположи-

тельно в вариантах 3, 4, 5 это влияние хлорид-иона выражается в меньшей степени, что связано с сбалансированным питанием растения элементами NPK. Низкая высота растения в варианте 4 предположительно связана с увеличенной потребностью в питании на фоне максимального результата кустистости, в связи с этим возможно еще больше увеличить урожайность культуры дополнительным внесением удобрения для поддержания развития всех сформировавшихся стеблей.

Масса 1000 зерен для контрольного варианта составила 52,6 г, что ниже масс варианта 2 и 3. Варианты 2 и 3, с использованием только минеральных удобрений, имеют максимальные массы 1000 зерен. Варианты с использованием органических удобрений (4 и 5), показавшие значительную прибавку к урожайности, уступают в массе 1000 зерен, отмечено снижение массы 1000 зерен относительно контрольного варианта, что объясняется значительным увеличением кустистости.

Совместное использование калия хлористого как с минеральными, так и с органическими удобрениями привело к снижению количества зерен в колосе на 3,4, 1,4, 7,5, 4,8 % для вариантов 2, 3, 4, 5 соответственно.

Повышение кустистости вариантов 4, 5 объясняется внесением в почву органических веществ, питательные вещества которых легко доступны для питания растений, что также наблюдается в работе с использованием органических удобрений при возделывании озимой пшеницы (Каташов и др., 2023). Для варианта 2 повышение кустистости объясняется сбалансированностью питательных элементов. Незначительное уменьшение кустистости варианта 3 спровоцировано стрессом культуры из-за увеличенной нагрузки минеральными удобрениями при совместном внесении в почву калия хлористого, диаммофоски и КАС-32. Повышение урожайности опытных вариантов объясняется в первую очередь высокой кустистостью.

Заключение. Совместное применение калия хлористого с органическими удобрениями значительно повышает урожайность ярового ячменя (+60,8 %). Применение только минеральных удобрений совместно с калием хлористым приводит к увеличению урожайности (+19,6 %) и повышению массы 1000 зерен (+13,9 %) на фоне незначительного снижения кустистости (-2,9 %). Отмечено снижение урожайности у варианта 3 относительно варианта 2, что предположительно связано с нагрузкой дозировок минеральных удобрений на культуру. Внесение органических удобрений (варианты 4, 5) значительно увеличивает кустистость (+77,3, +44,2 % соответственно) и урожайность культуры (+60,8 %, 51,0 % соответственно). Применение калия хлористого, как единственного удобрения (вариант 2), повышает урожайность ярового ячменя (+25,5 %) относительно контрольного варианта, наблюдается увеличение кустистости (+24 %), по предшественнику многолетние травы на фоне дефицита калия. Для увеличения эффективности применения органических удобрений, обладающих высокой скоростью усвоения растениями, необходимо использовать дополнительные подкормки, которые в свою очередь позволят удерживать высокий темп развития культуры на фоне быстрого старта и увеличенной кустистости. Применение хлористого калия в допустимых дозировках положительно влияет на урожайность ярового ячменя во всех опытных вариантах.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Абашев В. Д., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна ячменя. *Пермский аграрный вестник*. 2015;4(12):4-8. [Abashev V. D., Popov F. A., Svetlakova E. V. Influence of mineral fertilizers on barley grain yield. *Perm Agrarian Bulletin*. 2015;4(12):4-8].

Азаров В. Б., Лоткова В. В. Возделывание зерновых культур на кормовые цели по технологии биологического земледелия в ЦЧР. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2022;9(1):6-13, [Azarov V. B., Lotkova V. V. Cultivation of grain crops for fodder purposes using biological farming technology in the Central Black Earth Region. *Selection and variety breeding of horticultural crops*. 2022; 9 (1): 6-13].

Балыков Д. В., Линник А. И., Пазин М. А. Применение хлористого калия совместно с органическими и минеральными удобрениями при возделывании яровой пшеницы. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2025;3:7-14. [Balykov D. V., Linnik A. I., Pazin M. A. Application of potassium chloride together with organic and mineral fertilizers in the cultivation of spring wheat. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region*. 2025;3:7-14].

Бондарев Б. И., Носов С. И., Свинцова Т. Ю., Вершинин В. В. Исследование баланса гумуса особо ценных сельскохозяйственных земель и оценка затрат на его поддержание. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2025;7:953-957. [Bondarev B. I., Nosov S. I., Svintsova T. Yu., Vershinin V. V. Study of the humus balance of especially valuable agricultural lands and assessment of the costs of its maintenance. *International Agricultural Journal*. 2025; 7: 953-957].

Бойко В. С., Якименко В. Н., Тимохин А. Ю. Изменение калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири при длительном сельскохозяйственном использовании. *Экология и промышленность России*. 2019;23(11):66-71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-66-71>. [Boiko V., Yakimenko V., Timokhin A. The Change in Potassium Status of Soils of Forest-Steppe of Western Siberia in Long-Term Agricultural Use. *Ecology and Industry of Russia*. 2019;23(11):66-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-66-71>].

Воккосов З. К. Получение органоминеральных удобрений на основе местных агроруд, минеральных удобрений, навоза крупного рогатого скота и растворов азотфиксирующих микроорганизмов. *Universum: технические науки*. 2022;6(99):44-48. [Vokkosov Z. K. Production of organomineral fertilizers based on local agricultural ores, mineral fertilizers, cattle manure, and solutions of nitrogen-fixing microorganisms. *Universum: Technical Sciences*. 2022;6(99):44-48].

Дубницкая П. А. Использование биологических удобрений для оптимизации питания растений. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10 (1):79-82. [Dubnitskaya P. A. Use of biological fertilizers to optimize plant nutrition. *Young Researcher of the Don*. 2025; 10 (1): 79-82].

Жарикова Е. А. Оценка параметров калийного состояния почв Среднеамурской низменности. *Вестник КрасГАУ*. 2010;10:36-40. [Zharikova E. A. Assessment of potassium status parameters of soils in the Middle Amur Lowland. *Bulletin of KrasSAU*. 2010; 10: 36-40].

Каташов Э. Н., Кухарев О. Н., Арефьев А. Н., Чекаев Н. П. Продуктивность озимой пшеницы на черноземе выщелоченном в зависимости от разных доз внесения индюшиного помета и микробиологических препаратов. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2023;4(15):46-54. doi:10.36508/RSATU.2023.95.31.007. [Kataшов E. N., Kukharev O. N., Arefyev A. N., Chekaev N. P. Productivity of winter wheat on leached chernozem depending on different rates of turkey manure and microbiological preparations. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2023; 4 (15): 46-54. doi: 10.36508/RSATU.2023.95.31.007].

Коршунов А. В., Федотова Л. С., Шильников И. А., Аканова Н. И., Овчаренко М. М. Экологические аспекты применения удобрений в картофелеводстве России. *Достижения науки и техники АПК*. 2007;7:24-27. [Korshunov A. V., Fedotova L. S., Shilnikov I. A., Akanova N. I., Ovcharenko M. M. Ecological aspects of fertilizer application in potato growing in Russia. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2007;7:24-27].

Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Симанков О. В. Калийное питание яровой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. *Почвоведение и агрохимия*. 2023;1(70):89-99. [Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Simankov O. V. Potassium nutrition of spring wheat on highly cultivated sod-podzolic light loamy soil. *Soil Science and Agrochemistry*. 2023;1(70):89-99].

Лапа В. В., Емельянова В. Н., Леонов Ф. Н., Рак М. В., Золотарь А. К., Шибанова И. В., Брилев М. С., Юргель С. И., Бородин П. В. Система применения удобрений. *Учеб. пособие под ред. В. В. Лапы. Гродно: ГГАУ 2011:416*. [Lapa V. V., Emelyanova V. N., Leonov F. N., Rak M. V., Zolotarev A. K., Shibanova I. V., Brilev M. S., Yurgel S. I., Borodin P. V. Fertilizer application system. Textbook edited by V. V. Lapa. *Grodno: GGAU 2011:416*].

Степанова О. В. Сравнение влияния хлорида калия и иодида калия на начальные показатели роста семян яровой мягкой пшеницы. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2021;3(26):3. [Stepanova O. V. Comparison of the effect of potassium chloride and potassium iodide on the initial growth indicators of spring soft wheat seeds. *Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University*. 2021;3(26):3].

Степанова О. В. Сравнение влияния хлорида калия и иодида калия на начальные показатели роста семян яровой мягкой пшеницы. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2021;3(26). [Stepanova O. V., Comparison of the effects of potassium chloride and potassium iodide on the initial growth rates of spring soft wheat seeds. *Electronic scientific and methodological journal of Omsk state agrarian university*. 2021;3(26)].

Суховаева Д. А., Жаркова С. В. Влияние хлористого калия на формирование продуктивности сои. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2023;9-1(84):207-210.

[Sukhoveeva D. A., Zharkova S. V. Influence of potassium chloride on the formation of soybean productivity. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2023;9-1(84):207-210].

Тютюнов С. И., Логвинов И. В., Навольнева Е. В., Каторгин Д. И., Пойменов А. С. Баланс элементов питания за ротацию зернопропашного севооборота при различном уровне интенсификации технологий. *Земледелие*. 2025;4:24-28. doi:10.24412/0044-3913-2025-4-24-28. [Tyutyunov S. I., Logvinov I. V., Navolneva E. V., Katorgin D. I., Poimenov A. S. Balance of nutrients during the rotation of grain-row crop rotation at different levels of technology intensification. *Agriculture*. 2025;4:24-28. doi:10.24412/0044-3913-2025-4-24-28].

Щуклина О. А., Завгородний С. В., Аленичева А. Д., Иванова Л. П., Квитко В. Е., Пыльнев В. В., Упельник В. П. Связь элементов структуры колоса с продуктивностью растений образцов × trititrigia cziczinii tzvel. *Генетика, биотехнология, селекция и семеноводство. Известия ТСХА*. 2022;5:57-69. [Shchukina O. A., Zavgorodny S. V., Alenicheva A. D., Ivanova L. P., Kvitko V. E., Pylnev V. V., Upelnik V. P. Relationship between the elements of the spike structure and the productivity of plants of the × trititrigia cziczinii tzvel samples. *Genetics, biotechnology, breeding and seed production. Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;5:57-69].

Якименко В. Н. Трансформация форм калия и аммония в почве агроценоза. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2011;1(13):19-27. [Yakimenko V. N. Transformation of potassium and ammonium forms in the soil of an agrocenosis. *Bulletin of Tomsk State University. Biology*. 2011;1(13):19-27].

Farooq N., Kanwal S., Ditta A., Hussain A., Naveed M., Usman M., Iqbal J. and Iqbal M. Comparative efficacy of KCl blended composts and sole application of KCl or K₂SO₄ in improving K nutrition, photosynthetic capacity and growth of maize. *Soil Environ*. 2018;37(1):68-74. doi:https://doi.org/10.25252/SE/18/51273.

Kelali H., Tesfay A., Mitiku H., Kassa T. Effect of Compost, blended (NPSZn), and potassium chloride fertilizers on soil bulk density and moisture content in two soil textural groups of tigray, northern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*. 2023;1:1-10. doi:https://doi.org/10.1155/2023/8847233.

Информация об авторе

Балыков Данил Вениаминович, аспирант кафедры агрономии и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкого», 650056, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5, ksai@ksai.ru, ORCID 0009-0008-7667-5430.

Information about the author

Balykov Danil Veniaminovich, Postgraduate Student, Department of Agronomy and Agroecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletsky", 650056, Kemerovo, Markovtseva St., 5, Russian Federation, ksai@ksai.ru, ORCID: 0009-0008-7667-5430.

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. 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.

Эффективность стерилизации первичных эксплантов плодовых растений семейства *Rosáceae* при введении в культуру *in vitro*

Исаков А. С. ✉, Гричик Е. Л., Жолобова О. О., Малюков Н. А.,
Могилевская И. В., Терещенко Т. В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. Семейство Rosaceae включает в себя значительное количество плодовых деревьев. Размножение плодовых культур сопряжено с различными проблемами, такими как сохранение сортовых характеристик и получение здорового посадочного материала. Ученые исследуют методы, которые позволяют получать большое количество полезного посадочного материала, например, клоновые подвои и сорта. Это приводит к таким преимуществам вегетативного размножения, как сохранение сортовых характеристик без использования больших производственных площадей. Настоящее исследование описывает первую стадию микроразмножения клоновых подвоев и культурных сортов семейства розоцветные, относящихся к родам *Prúnus*, *Pýrus*, *Cydōnia* и *Mālus*. Стерилизации, являющейся обязательной процедурой в технологии микроразмножения *in vitro*, были подвергнуты верхушечные и боковые вегетативные почки, взятые с веточек шестнадцати различных плодовых культур. В статье рассматриваются способы стерилизации этих эксплантов с использованием 10 %-ной перекиси водорода и 2 %-ного «Лизоформина 3000» в течение 28 дней. Критерием эффективности стерилизации считали процент стерильных и жизнеспособных культур для каждого образца. Стерилизаторы обладали различной эффективностью в отношении патогенных микроорганизмов и по-разному влияли на жизнеспособность культур тканей. Эффективные результаты при использовании 10 %-ной перекиси водорода были получены для сортов рода *Prúnus* «Памяти Жуковой» и Лозновская, для клонового подвоя «ВСЛ-1», а при использовании 2 %-ного «Лизоформина 3000» – для сортов рода *Prúnus* «Памяти Жуковой», Лозновская, «Шарада», сортов и клоновых подвоев рода *Mālus* 54-118 и «Корнеевская».

Таким образом, стерильность и жизнеспособность культур *in vitro* клоновых подвоев и культурных сортов семейства *Rosáceae* зависит как от сортовой принадлежности образцов, так и используемого стерилизующего средства, что может быть основанием для включения этих стерилизаторов в протоколы начала культивирования тканей плодовых культур.

Ключевые слова. Плодовые культуры, семейство Rosaceae, клональное микроразмножение, экспланты, стерилизация, перекись водорода, Лизоформин 3000.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания FNFE-2025-0010 «Изучение основных путей реализации морфогенеза *in vitro* и факторов абиотической и биотической природы, регулирующих процессы регенерации древесно-кустарниковых и культурных растений» рег. № 125021402244-3.

Цитирование. Исаков А. С., Гричик И. О., Жолобова О. О., Малюков Н. А., Могилевская И. В., Терещенко Т. В. Эффективность стерилизации первичных эксплантов плодовых растений семейства *Rosáceae* при введении в культуру *in vitro* // Научно-агрономический журнал. 2026; 1(132):66-75. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.008.66-75.

Поступила в редакцию: 01.12.2025

Принята к печати: 26.12.2025

✉ – Для контактов/Corresponding author

Sterilization efficiency of primary explants of fruit plants of the family *Rosáceae* during the initiation of in vitro culture

Isakov A. S. ✉, **Grichik E. L.**, **Zholobova O. O.**, **Malyukov N. A.**,
Mogilevskaya I. V., **Tereshchenko T. 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. The family Rosaceae includes a wide range of fruit tree species. The propagation of fruit crops is associated with several challenges, including the preservation of varietal characteristics and the production of healthy planting material. Modern biotechnological approaches, such as clonal micropropagation, make it possible to obtain genetically uniform and disease-free plant material without the need for large production areas. This study describes the initial stage of micropropagation of clonal rootstocks and cultivated varieties of fruit plants belonging to the genera *Prunus*, *Pyrus*, *Cydonia*, and *Malus*. Apical and lateral vegetative buds excised from shoots of sixteen fruit crop varieties were used as primary explants. Sterilization, which is a mandatory step in in vitro micropropagation, was performed using 10 % hydrogen peroxide and 2 % Lysoformin 3000. The explants were cultured for 28 days. Sterilization efficiency was evaluated based on the percentage of sterile and viable explants for each genotype. The sterilizing agents differed in their effectiveness against pathogenic microorganisms and their impact on explant viability. The highest efficiency of 10 % hydrogen peroxide was observed for *Prunus* cultivars 'Pamyati Zhukovoy' and 'Loznovskaya', as well as for the clonal rootstock 'VSL-1'. The use of 2 % Lysoformin 3000 was most effective for *Prunus* cultivars 'Pamyati Zhukovoy', 'Loznovskaya', and 'Sharada', as well as for *Malus* cultivars and clonal rootstocks '54-118' and 'Korneevskaya'.

The results demonstrate that the sterility and viability of in vitro cultures of clonal rootstocks and cultivated varieties of the family Rosaceae depend both on the genotype and the sterilizing agent used. These findings may serve as a basis for including the tested sterilants in protocols for the initiation of in vitro culture of fruit plants.

Keywords. Fruit crops; Rosaceae family; clonal micropropagation; explants; sterilization; hydrogen peroxide; Lysoformin 3000.

Funding. This work was supported by state assignment of the Scientific Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences FNFE-2025-0010 «Study of the main ways of implementing morphogenesis in vitro and factors of abiotic and biotic nature regulating the processes of regeneration of trees, shrubs and cultivated plants» reg. N 125021402244-3.

For citation. For citation: Isakov A. S., Grichik E. L., Zholobova O. O., Malyukov N. A., Mogilevskaya I. V., Tereshchenko T. V. Sterilization efficiency of primary explants of fruit plants of the family Rosáceae during the initiation of in vitro culture // Scientific Agronomy Journal. 2026; 1(132):66-75. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.008.66-75

Received: 01.12.2025

Accepted: 26.12.2025

Введение. Традиционное размножение плодовых растений сопряжено с рядом ограничений, естественное семенное размножение приводит к возникновению гибридов с мало прогнозируемыми признаками. Оно пригодно лишь для очень ограниченного количества сортов, но даже у них происходит некоторая потеря сортовых качеств, поэтому специалисты в подавляющем большинстве случаев используют вегетативные способы размножения (Зацепина, 2021).

Размножение на полутвердых питательных средах *in vitro* с использованием вегетативного материала является современным способом получения высокоурожайных плодовых

✉ – Для контактов/Corresponding author

культур. Его применение обладает рядом преимуществ, таких как полное сохранение сортовых особенностей, получение оздоровленного посадочного материала с более высокой продуктивностью, возможностью масштабирования производства и круглогодичного выращивания саженцев. При этом применение технологии клонального микроразмножения растений для плодовых культур безусловно нуждается в высокотехнологичном оборудовании и реализации ее кадрами высокой квалификации. Для достижения успеха требуется проведение многочисленных исследований по подбору питательных сред, режимов стерилизации и т. д. Актуальность данной методики подтверждается отечественными учеными и производителями, а также производителями посадочного материала из Италии и других стран (Сулейманова, 2016).

Коллегами ФНЦ агроэкологии РАН была проведена работа, в результате которой были выведены сорта груш «Банкетная» и «Зимняя кубаревидная», отличающиеся своей крупноплодностью, вкусовыми качествами, устойчивостью к неблагоприятным погодным условиям в летний и зимний периоды. Особого внимания заслуживают представители рода слив *Prúnus*. Речь идет о выведенных сортах вишни «Лозновская», «Памяти Жуковой» и сливы «Анжелина», которые рекомендованы к выращиванию на территории Волгоградской, Саратовской, Астраханской обл. и Республики Калмыкия. Все эти растения зимостойкие и засухоустойчивые, обладают более высокой урожайностью, чем иные сорта, устойчивы к болезням (Беляев и др., 2024). Помимо универсальных сортов ценны также подвои. Так учеными из г. Мичуринск был выведен «54-118», относящийся к полукарликовым подвоям, с прочной древесиной, хорошо развитой корневой системой слабым проявлением порослеобразования. Привитые сорта начинают цвести уже со второго года, плодоносить с 4-5 годов, не нуждаются в подпорках (Галашева и др., 2020). Эффективная комбинация прививаемых сортов и клоновых подвоев способна обеспечивать высокую засухоустойчивость, зимостойкость и продуктивность получаемых плодовых культур (Solonkin et. al., 2022).

Подобные сорта плодовых культур представляют интерес как для постоянно расширяющегося потребительского рынка, так и продовольственной безопасности страны, что дополнительно актуализирует изучение возможности их размножения в условиях асептической культуры. При введении эксплантов плодовых растений в культуру *in vitro* применяют различные методики в зависимости от сезона заготовки эксплантов: летом рекомендуются верхушечные почки вегетирующих побегов, весной и осенью – меристемы из вегетативных почек (Grimaldi et. al. 2016, Хромова и др. 2020).

Исследования демонстрируют, что успешность микроразмножения зависит от комплекса факторов: состава питательных сред (Иванова и др. 2016., Romadanova et. al. 2016), условий культивирования (Князева, 2015), сортовых особенностей (Хромова и др., 2020), методов стерилизации (Grimaldi et. al., 2016; Камбарова и др. 2020) и сроков введения в культуру (Беседина, Бунцевич, 2015). Это подчеркивает необходимость разработки индивидуальных протоколов для разных генотипов.

Подбор стерилизующего агента является важнейшим аспектом реализации введения растений в культуру *in vitro*. Экспланты подвержены грибным и бактериальным инфекциям, при этом некоторые стерилизующие агенты или их концентрации, время экспозиции в них могут быть летальны для растений или способны существенно снизить их регенерационные способности. Коллегами из Казахстана изучена стерилизация почек смородины Мейера при получении асептической культуры с использованием перекиси водорода, что в итоге позволило получить 78 % стерильных и жизнеспособных эксплантов (Камбарова и др., 2020).

Анатомические особенности древесных растений часто приводят к накоплению внутренних бактериальных инфекций, которые по большей части и приводят к контаминации культур *in vitro*, вызывая необходимость подбирать стерилизующие агенты, эффективные против данных микроорганизмов. Так, наша коллега из ФНЦ агроэкологии РАН изучала на эксплантах белой акации влияние стерилизующих агентов на возбудителей латентных инфекций. По результатам проведенных исследований было выявлено заметное замедление роста культуры эндофитных микроорганизмов, полученных из культуры тканей *Robinia pseudoacacia* L., под действием препарата «Лизоформин 3000» (Могилевская, 2023). Эти данные дополнительно актуализируют использование данного препарата на этапе стерилизации эксплантов древесных пород.

Целью данной работы является оценка эффективности протоколов стерилизации первичных эксплантов плодовых культур семейства розоцветные (Rosaceae) с использованием 10 %-ной перекиси водорода и 2 % «Лизоформина 3000» на этапе введения в культуру *in vitro*.

Материалы и методы. Данное исследование проводилось на базе лаборатории биотехнологий селекционно-семеноводческого центра по древесным и кустарниковым породам ФНЦ агроэкологии РАН.

Объект исследования – почки различных плодовых культур (сортов и подвоев) семейства розоцветные (Rosaceae): род сливы *Prúnus* («ВСЛ-1», «Анжелина», «Игрушка», «Памяти Жуковой», «Лозновская», «ВСЛ-2», «Богатырская», «Сувенирная», «РВЛ-2», «Шарада»), род груши *Pýrus* (сорта: «Бронзовая», «Банкетная», «Зимняя Кубаревидная»), род айвы *Cydōnia* («ВА-29») и род яблони *Mālus* («Корнеевская», «54-118»), взятые с черенков, предоставленных лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН. В качестве исходного материала для введения в культуру *in vitro* использовали раскрывающиеся почки побегов – как верхушечные, так и боковые. Использование почек в качестве эксплантов обеспечивает генетическую идентичность регенерантов материнскому растению, помимо прочего почки обладают хорошим репликативным потенциалом, что делает их предпочтительным материалом для создания сортовых коллекций *in vitro*.

Черенки со спящими почками помещали в раствор сахарозы и хранили при комнатной температуре до момента распускания почек. После распускания почек у каждого представителя плодовых культур с черенков при помощи скальпеля срезали по 40 почек, забор осуществляли как боковых, так и верхушечных почек.

Для проведения предварительной стерилизации при помощи скальпеля с почек срезали кроющие чешуи, после чего очищенные почки упаковывали в марлевые мешочки по пять штук. Затем мешочки помещали в мыльный раствор на основе измельченного хозяйственного мыла на 10 минут, далее промывали водопроводной проточной водой в течение полутора часов.

Дальнейшие манипуляции проводились в стерильных условиях ламинар-бокса БМБ-II-«Ламинар-С»-1,2. Стерилизация включала в себя следующие процедуры: экспозиция марлевых мешочков в растворе 70 %-ного этилового спирта на протяжении 1 мин, затем их однократное промывание путем погружения и встряхивания с помощью стерильного пинцета в химическом стакане со стерильной дистиллированной водой, экспозиция мешочков в растворах антисептиков по выбранным режимам стерилизации. Половину почек каждого образца (20 шт.) подвергали стерилизации 10 % раствором перекиси водорода с временем экспозиции 10 мин, другую половину (20 шт.) – 2 %-ным раствором «Лизоформина 3000» с временем экспозиции 5 мин. Всего было простерилизовано 640 почек, по 320 штук при каждом режиме стерилизации. В конце стерилизации марлевые мешочки подвергали пятикратному промыванию в дистиллированной воде.

После проведения стерилизации марлевые мешочки разрезали с помощью скальпеля, затем почки с помощью пинцета помещали на картон в асептических условиях ламинар-бокса. В случае необходимости у простерилизованных почек подрезали зачаточные листья для стимуляции тканевого роста, после чего каждую почку с помощью пинцета помещали в культуральную пробирку с плотной питательной средой с половинным составом солей по прописи Мурасиге-Скуга с добавлением 1,0 мг/л аскорбиновой кислоты для предотвращения выработки фенольных соединений эксплантами.

Дальнейшее культивирование растений осуществлялось в специальном помещении при температуре 23 °С, искусственное освещение обеспечивалось фитостеллажами «СТЕЛЛАР-ФИТО LINE» с фотопериодом 16/8 часов и интенсивностью освещения 3500 люкс.

Наблюдения за полученной культурой *in vitro* проводились на протяжении 28 суток. Визуальный контроль состояния культуры плодовых проводили на 5-е, 10-е, 14-е, 21-е и 28-е сутки. При оценке стерильности культуры ориентировались на отсутствие признаков микоза и бактериальных очагов, оценивались прозрачность среды, чистота стеблей и листьев. При оценке жизнеспособности стерильных растений обращали внимание на отсутствие проявлений хлороза, некротизации тканей, витрификации побегов и дефолиации. Естественный цвет, рост зачаточных листочков и зачаточного стебля также трактовались как признаки жизнеспособности эксплантов. В итоге все образцы были распределены на три группы: контаминированные, стерильные жизнеспособные и стерильные нежизнеспособные. Результаты представляли в процентах, как частоты формирования асептических и жизнеспособных культур.

После подведения итоговых результатов проводили пассирование асептических культур на новую питательную среду.

Полученные в результате эксперимента данные вносили в Excel и подвергали математической обработке, с целью определения процента стерильных и жизнеспособных эксплантов для каждого образца при выбранных режимах стерилизации.

Количественные показатели выражали в процентах частоты встречаемости в выборках, ошибку частоты S_p рассчитывали по модифицированной формуле Вальда (Гржибовский, 2008):

$$S_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}},$$

где p – частота признака, N – число наблюдений, S_p – ошибка частоты.

Различия между выборками считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. По преобладанию стерильных жизнеспособных культур можно положительно отметить представителей рода слив *Prúnus*: «ВСЛ-1», «Анжелина», «РВЛ-2», «Богатырская». Некоторые образцы представлены на рис. 1.

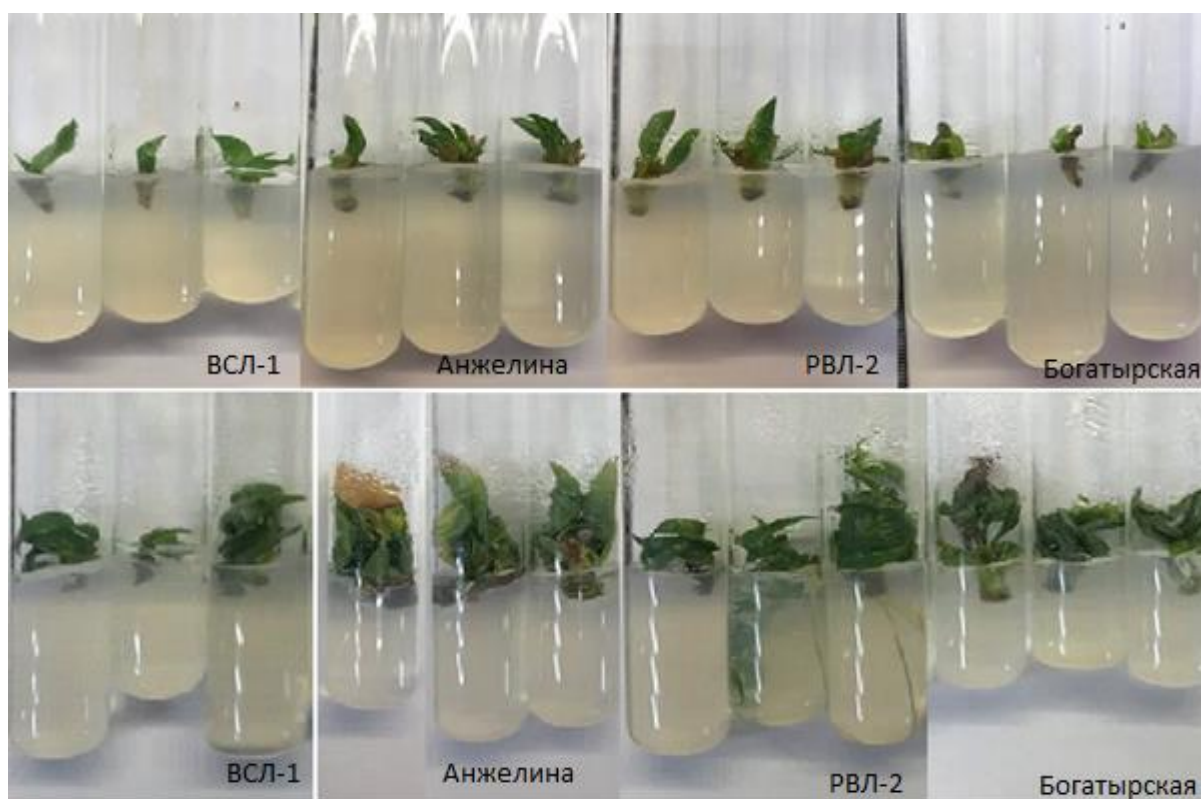


Рис. 1. Развитие побегов плодовых растений рода сливы *Prúnus* в культуре *in vitro*. Верхний ряд – 10 суток, нижний ряд – 28 суток

Показатели стерильности культуры относительно двух стерилизующих агентов (перекиси водорода и препарата «Лизоформин 3000») представлены в табл. 1 в виде полученного значения и его доверительного интервала.

Результаты использования 10 %-ной перекиси водорода и 2 %-ного «Лизоформина 3000» для некоторых растений существенно отличались. Так у сорта сливы «Анжелина» использование при стерилизации пазушных и верхушечных почек 10 %-ной перекиси водорода оказалось в 2,5 раза эффективнее по сравнению с применением «Лизоформина 3000». Похожая ситуация с сортом вишни «Игрушка». Стерилизация эксплантов 10 %-ной перекисью водорода оказалась в 2 раза эффективнее в сравнении с использованием «Лизоформина 3000». Для почек сорта вишни «Лозновская» и клонового подвоя яблони «54-118» высокий процент успешной стерилизации показали оба стерилизатора. Наилучшие результаты стерилизации были достигнуты у сорта

вишни «Лозновская» при использовании 10 %-ной перекиси водорода, в данном случае процент стерильных и жизнеспособных эксплантов составил 95 %.

Таблица 1

Частота формирования асептических культуры (%) при использовании для стерилизации растворов перекиси водорода и Лизоформина

Род	Вид, подвид	Сорт, подвой	Перекись водорода, 10 %	«Лизоформин 3000», 2 %	P
<i>Prúnus</i>	<i>Cérasus fruticosa</i> × <i>Cérasus lannesiana</i>	ВСЛ-1	75,0 ± 9,7	45,0 ± 11,0*	0,001
	<i>Prúnus cerasifera</i> × <i>Prúnus salicina</i>	Анжелина	45,0 ± 11,0	20,0 ± 8,9	0,025
	<i>Cérasus avium</i> × <i>cérasus</i>	Игрушка	70,0 ± 10,2	35,0 ± 10,7*	0,011
	<i>Prúnus ávium</i>	Памяти Жуковой	90,0 ± 6,7	90,0 ± 6,7	1,00
	<i>Cérasus</i>	Лозновская	95,0 ± 4,9	80,0 ± 8,9	0,142
	<i>Cérasus fruticose</i> × <i>Cérasus lannesiana</i>	ВСЛ-2	30,0 ± 10,2	25,0 ± 9,7	0,723
	<i>Prúnus domestica</i>	Богатырская	70,0 ± 10,2	45,0 ± 11,0	0,096
	<i>Prúnus domestica</i>	Сувенирная	55,0 ± 11,1	75,0 ± 9,7	0,175
	<i>Cérasus</i> × <i>Prúnus maackii</i>	РВЛ-2	35,0 ± 10,7	35,0 ± 10,7	1,00
	<i>Cérasus</i>	Шарада	85,0 ± 8,0	60,0 ± 11,0	0,066
<i>Pýrus</i>	<i>Pýrus</i>	Бронзовая	50,0 ± 11,2	20,0 ± 8,9*	0,036
	<i>Pýrus</i>	Банкетная	65,0 ± 10,7	75,0 ± 9,7	0,478
	<i>Pýrus</i>	Зимняя Кубаревидная	25,0 ± 9,7	70,0 ± 10,2*	0,001
<i>Cydōnia</i>	<i>Cydōnia oblonga</i>	ВА-29	35,0 ± 10,7	35,0 ± 10,7	1,00
<i>Mālus</i>	<i>Mālus</i>	54-118	90,0 ± 6,7	85,0 ± 8,0	0,633
	<i>Mālus</i>	Корнеевская	30,0 ± 10,2	90,0 ± 6,7*	0,001

Примечание: знаком * отмечены статистически значимые различия между группами с использованными стерилизующими агентами.

Образцы без очагов бактериальной или микотической контаминации, активно регенерирующие в условиях асептической культуры, свидетельствуют об оптимально подобранных условиях культивирования и эффективности использованных стерилизующих агентов.

Важнейшим критерием успешности стерилизации первичных эксплантов является дальнейшая жизнеспособность и способность трансформирующихся тканевых культур к росту. В процессе наблюдения за образцами на протяжении 28 суток их жизнеспособность была подтверждена. Основная часть регенерантов демонстрировала способность к увеличению площади листовых пластинок, образованию новых листьев, стеблей, в единичных случаях был даже ризогенез. Применение 10 %-ной перекиси водорода оказалось губительным для некоторых образцов представителей родов *Prúnus*: «ВСЛ-1», «Игрушка»; *Pýrus*: «Зимняя Кубаревидная»; *Mālus*: «Корнеевская», в то время как использование «Лизоформина 3000» дало лучшие результаты для образцов «Зимняя Кубаревидная» и «Корнеевская»: процент жизнеспособных эксплантов составил 70 и 90 % для этих образцов соответственно. Для сорта айвы «ВА-29» жизнеспособность эксплантов была крайне низкой при использовании как перекиси водорода (20 % жизнеспособных эксплантов), так и препарата «Лизоформин 3000» (25 %). Значения частоты формирования жизнеспособных культур в условиях *in vitro* отображены в табл. 2.

По полученным данным можно с уверенностью сказать о наличии зависимости процента стерильных эксплантов в культуре *in vitro* и жизнеспособности полученных эксплантов плодовых культур от выбора стерилизующего агента. Так, статистически значимые различия по стерилизации почек плодовых получены для представителей родов: *Prúnus*: «ВСЛ-1», «Шарада»; *Pýrus*: «Зимняя Кубаревидная»; *Mālus*: «54-118», «Корнеевская».

Таблица 2

Частота формирования жизнеспособных культур (%) при использовании для стерилизации растворов перекиси водорода и Лизоформина

Род	Вид, подвид	Сорт	Перекись водорода, 10 %	«Лизоформин 3000», 2 %	P
Prúnus	<i>Cérasus fruticosa</i> × <i>Cérasus lannesiana</i>	ВСЛ-1	90,0 ± 6,7	95,0 ± 4,9	0,548
	<i>Prúnus cerasifera</i> × <i>Prúnus salicina</i>	Анжелина	90,0 ± 6,7	95,0 ± 4,9	0,548
	<i>Cérasus avium</i> × <i>cérasus</i>	Игрушка	85,0 ± 8,0	90,0 ± 6,7	0,633
	<i>Prúnus ávium</i>	Памяти Жуковой	75,0 ± 9,7	80,0 ± 8,9	0,703
	<i>Cérasus</i>	Лозновская	75,0 ± 9,7	80,0 ± 8,9	0,703
	<i>Cérasus fruticose</i> × <i>Cérasus lannesiana</i>	ВСЛ-2	80,0 ± 8,9	70,0 ± 10,2	0,351
	<i>Prúnus doméstica</i>	Богатырская	85,0 ± 8,0	90,0 ± 6,7	0,633
	<i>Prúnus doméstica</i>	Сувенирная	80,0 ± 8,9	20,0 ± 8,9*	0,001
	<i>Cérasus</i> × <i>Prunus maackii</i>	РВЛ-2	90,0 ± 6,7	80,0 ± 8,9	0,371
Pýrus	<i>Cérasus</i>	Шарада	30,0 ± 10,2	80,0 ± 8,9*	0,001
	<i>Pýrus</i>	Бронзовая	10,0 ± 6,7	15,0 ± 8,0	0,633
	<i>Pýrus</i>	Банкетная	75,0 ± 9,7	70,0 ± 10,2	0,703
Cydōnia	<i>Pýrus</i>	Зимняя Кубаревидная	25,0 ± 9,7	75,0 ± 9,7*	0,001
	<i>Cydōnia</i>	ВА-29	20,0 ± 8,9	25,0 ± 9,7	0,703
Mālus	<i>Mālus</i>	54-118	40,0 ± 11,0	80,0 ± 8,9*	0,005
	<i>Mālus</i>	Корнеевская	35,0 ± 10,7	80,0 ± 8,9*	0,001

Обсуждение. Нами реализован один из эффективных способов стерилизации при введении в культуру вегетативного материала плодовых деревьев семейства *Rosaceae*, позволивший получать более чем для половины сортов высокий процент жизнеспособных побегов для последующего получения посадочного материала. Эти результаты во многом согласуются с более ранними исследованиями других ученых, посвященным отдельным этапам клонального микроразмножения таких плодовых растений как слива, яблоня и груша (Зацепина, 2021; Сулейманова, 2016). Исследования, проведенные при введении в культуру *in vitro* вегетативного материала сортов плодовых растений, имели сходные результаты с ранее выполненными работами с использованием перекиси водорода казахскими коллегами для стерилизации почек смородины (Камбарова и др., 2020). В то же время в работе выявлены, во-первых, значительные различия для отдельных сортов и подвоев между эффективностью использования перекиси водорода и Лизоформина, а во-вторых, значительный разброс показателей между отдельными сортами и подвоями для одного стерилизующего агента. Если первый факт хорошо объясним с позиций различий действующего начала каждого из стерилизующих веществ (активные формы кислорода для перекиси водорода и альдегидные группы для Лизоформина), то причины межвидовых и внутривидовых различий заслуживают дальнейшего изучения. Вероятно, они объясняются особенностями активности антиоксидантов и систем детоксикации в клетках данных сортов и подвоев, приобретенных в результате селекции. С этих позиций среди сортов и подвоев заслуживают внимания представители родов *Prúnus* «Шарада», *Pýrus* «Зимняя Кубаревидная» и *Mālus* – «54-118», «Корнеевская» (хорошо переносят стерилизацию Лизоформином) и «Сувенирная» рода *Prúnus* (лучше всех переносит стерилизацию 10 %-ной перекисью водорода). Проведенные исследования по стерилизации вегетативного материала плодовых культур расширяют имеющиеся представления о высокоэффективных способах тиражирования посадочного материала и являются подспорьем для проведения новых научных изысканий по данному направлению.

Заключение. Исследование посвящено изучению методики стерилизации пазушных и верхушечных почек у представителей плодовых культур семейства розоцветные (*Rosáceae*). Эффективность методики по стерилизации пазушных и верхушечных почек отработана с использованием 16 различных сортов, среди которых были как высокоурожайные, районирован-

ные варианты, так и клоновые низкорослые подвои, устойчивые к засухам и обладающие повышенной зимостойкостью.

Для представителей родов *Prúnus*: «ВСЛ-1» и «Игрушка» и *Pýrus*: «Бронзовая» перекись водорода оказалась более эффективной по количеству стерильных культур. Использование препарата «Лизоформин 3000» стало лучшим решением для стерилизации почек представителей родов *Pýrus* «Зимняя Кубаревидная» и *Málus* «Корнеевская». Применение в качестве стерилизующего агента препарата «Лизоформин 3000» позволяло получить высокий процент жизнеспособных эксплантов у представителей родов *Prúnus* «Шарада», *Pýrus* «Зимняя Кубаревидная» и *Málus* – «54-118», «Корнеевская». 10 %-ная перекись водорода давала лучший процент жизнеспособных эксплантов для сорта «Сувенирная» рода *Prúnus*. Для остальных образцов не было получено статистически значимых различий при использовании перекиси водорода и «Лизоформина 3000».

Данное исследование наталкивает на мысли о неких сортовых особенностях плодовых культур семейства розовые *Rosáceae*, требующих индивидуального подбора стерилизующих агентов для получения наиболее эффективных результатов по получению культуры *in vitro*. Исследование расширяет область научных знаний относительно вегетативного размножения плодовых культур современными биотехнологическими методами. В частности, оно дает представление о подборе стерилизующих агентов для получения асептической, жизнеспособной, растущей культуры у представителей плодовых растений семейства розовые *Rosáceae*.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Беседина Е. Н., Бунцевич Л. Л. Усовершенствования технологии клонового микроразмножения подвоев яблони на этапе введения в культуру *in vitro*. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;111(07):1716-1734 [Besedina E. N., Buntsevich L. L. Improvements of clonal micropropagation technology of apple rootstocks at the stage of introduction to *in vitro* culture *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;111(07):1716-1734].

Беляев А. И. Каталог селекционных достижений ФНЦ агроэкологии РАН. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. [Belyaev A. I. Katalog selekcionny`x dostizhenij FNC Agroekologii RAN. Volgograd: FNC Agroekologii RAN, 2024].

Бъядовский И. А. Введение в культуру *in vitro* слаборослых подвоев яблони. В: сб. материалов международной научно-практической конференции «Создание адаптивных интенсивных яблоневых садов на слаборослых вставочных подвоях». Орёл, 21-24 июля 2009 г. Орёл: ФГБНУ ВНИИСПК, 2009:24-29. [B`yadovskij I. A. Vvedenie v kul'turu *in vitro* slaborosly`x podvoev yabloni. In: Sb. materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sozdanie adaptivny`x intensivny`x yablonevy`x sadov na slaborosly`x vstavochny`x podvoyal». Oryol, Yul 21-24, 2009. Oryol: VNIISPK, 2009:24-29].

Галашева А. М., Королев Е. Ю., Ожерельева З. Е. Урожайность и устойчивость к условиям засухи сортов яблони на полукарликовом подвое 54-118. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2020;7(1-2):34-39. doi <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11209> [Galasheva A. M., Korolev E. Yu., Ozherelyeva Z. E. Productivity and resistance to drought conditions of apple cultivars on semi-dwarf rootstock 54-118. *Selekcija i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*. 2020;7(1-2):34-39. doi <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11209>.

Гржибовский А. М. Доверительные интервалы для частот и долей. *Экология человека*. 2008;5:57-60. [Grjibovskij A. M. Confidence intervals for proportions *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2008;5:57-60].

Зацепина И. В. Способность сортов груши укореняться с помощью зеленых черенков при использовании регулятора роста янтарной кислоты в условиях искусственного тумана. В: Сб. научных трудов международной научно-практической конференции «Вклад науки и практики в обеспечение продовольственной безопасности страны при техногенном ее развитии». Брянск, 18-19 марта 2021 г. Брянск: Брянский ГАУ, 2021;75-78. [Zatsepina I. V. The ability of pear varieties and forms to take root with the help of green cuttings. IN proceeding of the international conference. The contribution of science and practice to ensuring food security of the country in its technogenic development. Bryansk, March 18-19, 2021. Bryansk State Agrarian University, 2021;75-78].

Иванова Н. Н., Хохлов С. Ю., Митрофанова И. В. Особенности введения эксплантов хурмы восточной в условия *in vitro* *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2016;119:44-51. [Ivanova N.N., Khokhlov S.Yu., Mitrofanova I.V. Special features of Diospyros kaki Thumb. explants introduction in vitro. *Bull. of the State Nikit. Botan. Gard.* 2016;119:44-51].

Камбарова А., Карипбаева Р. К., Бахтаулова А. С. Получение асептически чистой культуры смородины Мейера для введения в культуру *in vitro*. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2020;7(1-2):80-82. doi <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11220> [Kambarova A., Karipbaeva R. K., Bakhtaulova A. S., Obtaining an aseptically pure 'meyer' currant culture for in vitro culture. *Selekciya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur.* 2020;7(1-2):80-82. doi <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11220>.

Князева И. В. Особенности развития эксплантов ягодных растений на этапе введения в культуру *in vitro*. *Научный альманах*. 2015;12(10-3):400-403. doi <https://doi.org/10.17117/na.2015.10.03.400> [Knyazeva I. V. Features of explants berry plants at the stage of introduction in culture *in vitro* *Nauchny`j al`manax* 2015; 12: (10-3): 400-403. doi <https://doi.org/10.17117/na.2015.10.03.400>.

Могилевская И. В. Эффективные стерилизующие препараты для подавления микробного роста на эксплантах *Robinia pseudoacacia* L. *in vitro*. *Таврический вестник аграрной науки*. 2023;33(1):80-92. doi <https://doi.org/10.5281/zenodo.7898471> [Mogilevskaya I. V. Effective sterilizing preparations for suppressing microbial growth on *Robinia pseudoacacia* l. Explants *in vitro* *Taurida herald of the agrarian sciences* 2023; 33: (1): 80-92. doi <https://doi.org/10.5281/zenodo.7898471>.

11. Сулейманова С. Д. Микрклональное размножение плодовых культур (обзор) *Восточно-Европейский научный журнал*. 2016;11:2:47-54. [Suleymanova S. J. q. Microclonal propagation of fruit crops (review). *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. 2016;11:2:4754].

Хромова Т. М., Ташматова Л. В., Мацнева О. В., Шахов В. В. Некоторые аспекты введения в культуру *in vitro* сортов смородины черной селекции. *Вестник аграрной науки*. 2020;85:4:31-36. doi <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.4.31> [Khromova T. M., Tashmatova L. V., Mazneva O. V., Shakhov V. V., Some aspects of introduction into *in vitro* culture of black currant varieties (*ribes nigrum* l.) Of the russian research institute of fruit crop breeding. *Bulletin of agrarian science*. 2020;85:4:31-36. doi <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.4.31>.

Grimaldi F., Meneguzzi A., Weber G., Correa D., Gonçalves M., Rufato L., Kretschmar A. Protocolo para micropropagação de marmeleiro BA29 em meio semissólido. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 2016;15. doi <https://doi.org/10.5965/23811711532016266>.

Romadanova N., Matakova, G. N., Kushnarenko S., Rakhimbayev I., Reed B. M. In vitro collection methods for *Malus* shoot cultures used for developing a cryogenic bank in Kazakhstan. *Acta Horticulturae*. 2016;1113:40. doi <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1113.40>.

olonkin A., Nikolskaya O., Seminchenko E. The effect of low-growing rootstocks on the adaptability and productivity of sour cherry varieties *Prunus cerasus* L. in arid conditions. *Horticulturae*. 2022;8(5):400. doi <https://doi.org/10.3390/horticulturae/8050400>.

Информация об авторах

Исаков Артем Сергеевич, младший научный сотрудник, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» проспект Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: isakov-a@vfanc.ru, 400062, e-mail: info@vfanc.ru, ORCID 0000-0002-8922-2042.

Гричик Елена Леонидовна, младший научный сотрудник, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» проспект Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: grichik-e@vfanc.ru, 400062, e-mail: info@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-4478-6538.

Жолобова Ольга Олеговна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, ведущий научный сотрудник ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» проспект Универси-

тетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: zholobova-o@vfanc.ru, 400062, e-mail: info@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1594-4181.

Малюков Никита Анатольевич, лаборант-исследователь, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» проспект Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: malukov-n@vfanc.ru, 400062, e-mail: info@vfanc.ru, ORCID: 0009-0006-1413-1804.

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

Терещенко Татьяна Васильевна, младший научный сотрудник, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» проспект Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, e-mail: tereschenko@vfanc.ru, 400062, e-mail: info@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-9116-6062.

Information about the authors

Isakov Artem Sergeevich, Junior 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: isakov-a@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-8922-2042.

Grichik Elena Leonidovna, Junior 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: grichik-e@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-4478-6538.

Zholobova Olga Olegovna, Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Leading 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: zholobova-o@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-1594-4181.

Malyukov Nikita Anatolyevich, 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: malukov-n@vfanc.ru, ORCID: 0009-0006-1413-1804.

Mogilevskaya Irina Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading 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: mogilevskaya-i@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-8421-4767.

Tereshchenko Tatyana Vasilevna, Junior 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: tereschenko@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-9116-6062.

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.

Особенности выращивания сеянцев крупноплодных древесных пород с закрытой корневой системой

Хужахметова А. Ш.[✉], Сапронова Д. В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград, Россия

Аннотация. Актуальность исследований обусловлена решением задачи по минимизации затрат ресурсов (семена, субстраты, вода, электричество и т. д.) при выращивании стандартного посадочного материала с закрытой корневой системой. Цель – изучить особенности развития сеянцев крупноплодных древесных пород в условиях закрытого грунта для усовершенствования их семенного размножения в кассетах. Для озеленения населенных пунктов в течение вегетационного периода востребован посадочный материал каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) и ореха черного (*Juglans nigra* L.) с закрытой корневой системой. Эксперименты по семенному размножению (в условиях закрытого грунта) проводились на Нижневолжской станции по селекции древесных пород – филиале ФНЦ агроэкологии РАН. В опыте использованы кассеты К-35F объемом ячейки 275 см³, субстрат – верховой торф, с применением минеральных удобрений (Solar универсал, Solar финал) в течение вегетации. Семенной материал *Aesculus hippocastanum* был калиброван на группы: I – плоды массой до 10,0 г, II – плоды массой от 10,1 до 20,0 г, III – плоды массой более 20,0 г. Выявлено влияние объема ячейки на ростовые процессы. Установлено, что в период всей вегетации сеянцы *Aesculus hippocastanum* из семян первой группы достоверно отличались по биометрическим показателям от сеянцев второй и третьей группы. В июне интенсивность прироста побегов у сеянцев I и II группы ниже (14 %), по сравнению с сеянцами, полученными из семян III группы (47 %). Аналогичные закономерности ростовых процессов выявлены у сеянцев *Juglans nigra*. У растений, выращенных из семян (масса орехов до посева от 20,3 до 27,0 г), корневая система менее развита (33,5-41,6 % от общей массы подземной части). Из семян массой от 14,0 до 20,0 г – на корневую систему приходится 2/3 от общей подземной массы растения. В целом растения *Aesculus hippocastanum* и *Juglans nigra* достигают стандартности к концу июня. Для выращивания видов с крупными плодами при использовании кассет объемом 275 см³ рекомендовано применять семена массой не более 10 г (*Aesculus hippocastanum*) и 15 г (*Juglans nigra*). Сеянцы достигают стандартности и отвечают требованиям ОСТ 56-98-93, предъявляемым к сеянцам для условий лесостепной и степной зон. Применение стратифицированных семян позволяет добиться массовых всходов и сократить период появления всходов.

Ключевые слова. Семенное размножение; каштан конский; орех черный; калибровка плодов; кассеты; биометрические показатели.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН: 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 (№ FNFE-2025-0011), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Цитирование. Хужахметова А. Ш., Сапронова Д. В. Особенности выращивания сеянцев крупноплодных древесных пород с закрытой корневой системой // Научно-агронимический журнал. 2026;1(132):76-83. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.009.76-83.

Поступила в редакцию: 02.02.2026

Принята к печати: 24.02.2026

✉ – Для контактов/Corresponding author

Features of Growing Seedlings of Large-Fruited Tree Species with a Closed Root System

Khuzhakmetova A. Sh.✉, Sapronova D. 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. The relevance of this study is due to the need to minimize resource inputs (seeds, substrates, water, electricity, etc.) in the production of standard container-grown planting material with a closed root system. The objective of the research was to investigate the developmental characteristics of seedlings of large-fruited tree species under protected cultivation conditions in order to improve their seed propagation in cassette containers. Container-grown planting material of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) and black walnut (*Juglans nigra* L.) is widely used for landscaping during the growing season. Seed propagation experiments under greenhouse conditions were conducted at the Nizhnevolzhskaya Station for Woody Plant Breeding, a branch of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. K-35F cassette trays with a cell volume of 275 cm³ were used. High-moor peat served as the substrate, and mineral fertilizers (Solar Universal and Solar Final) were applied during the growing season. Seeds of *Aesculus hippocastanum* were graded into three weight groups: Group I – up to 10,0 g, Group II – 10.1-20,0 g, Group III – more than 20 g. The influence of container cell volume on seedling growth was established. Throughout the growing season, seedlings of *Aesculus hippocastanum* derived from Group I seeds showed statistically significant differences in biometric parameters compared with seedlings from Groups II and III. In June, shoot growth intensity in seedlings from Groups I and II was lower (14 %) compared with seedlings derived from Group III seeds (47 %). Similar growth patterns were observed in *Juglans nigra* seedlings. In plants grown from larger seeds (20.3-27.0 g before sowing), the root system was less developed, accounting for 33.5-41.6 % of total belowground biomass. In contrast, seedlings derived from seeds weighing 14.0-20,0 g allocated approximately two-thirds of total belowground biomass to the root system. Overall, seedlings of *Aesculus hippocastanum* and *Juglans nigra* reached standard planting size by the end of June. When using cassette trays with a cell volume of 275 cm³, it is recommended to use seeds weighing no more than 10 g for *Aesculus hippocastanum* and 15 g for *Juglans nigra*. The seedlings met the requirements of OST 56-98-93 established for planting material intended for forest-steppe and steppe zones. The use of stratified seeds ensured uniform mass emergence and reduced the emergence period.

Keywords. Seed propagation; horse chestnut; black walnut; seed grading; cassette trays; biometric parameters.

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment FNFE-2025-0011 of the Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences: "Scientific foundations for comprehensive biodiversity research and assessment of resource potential, improvement and development of monitoring, conservation, restoration, and selection methods for economically valuable tree and shrub species under combined anthropogenic and natural impacts for implementation in forest reclamation systems of arid territories", funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation. Khuzhakmetova A. Sh., Sapronova D. V. Features of growing seedlings of large-fruited tree species with a closed root system // Scientific Agronomy Journal. 2026;1(132):76-83. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.009.76-83.

Received: 02.02.2026

Accepted: 24.02.2026

Введение. Для повышения рентабельности в области питомниководства древесных видов постоянно совершенствуются технологии их размножения. Исследования и разработки направлены на оптимизацию агротехнических приемов, автоматизацию процессов, примене-

✉ – Для контактов/Corresponding author

ние современных препаратов, рациональный расход семенного материала и искусственных субстратов (Жигунов и др., 2016; Носников, 2024; Манаенков и др., 2025). В качестве субстрата при выращивании семян лиственных пород применяют разные виды торфа. Несмотря на значительные запасы торфа в России, только 25-30 % запасов обладают хозяйственной ценностью. Остальные месторождения находятся в зоне вечной мерзлоты, а также относятся к мелким, охраняемым, удаленным от транспортных коммуникаций и т. п. (Панов и др., 2017). Нарушение технологии добычи приводит к экологическим проблемам – понижение грунтовых вод, обмеление рек, гибель растений, сокращение животного мира (Михайлов и др., 2010). В связи с чем актуальны исследования по минимизации затрат ресурсов (семена, субстраты, вода, электричество и т. д.) при выращивании посадочного материала без потери его качества. Для озеленения населенных пунктов в течение вегетационного периода востребован посадочный материал с закрытой корневой системой.

Каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.) и орех черный (*Juglans nigra* L.) – крупные деревья, которые широко используются в озеленении (Simon, Lena, 2016), особенно в южных субъектах России, благодаря декоративности и достаточной устойчивости видов к городским условиям. Мелиоративный потенциал насаждений орехоплодных культур рассмотрен в работах Хужахметовой, Тарана (2013), Славского (2013), Малышевой (2015). Основным способом репродукции этих видов является семенное размножение. Исследователями (Кузнецова и др., 2008; Габеев, Калагова, 2011; Фазилова, Чернодубов, 2013; Ткаченко и др., 2017; Заигралова, Кабанов, 2019) было установлено, что для *A. hippocastanum* характерна разная степень изменчивости морфометрических показателей вегетативных и генеративных органов. В диссертационном исследовании С. С. Тарана (2002) было установлено, что у *J. nigra* L. помимо околоплодника, препятствием для прорастания семян является эндокарп, прочность которого зависит от размера. Мелкие семена (средний размер – 3,7 см, масса эндокарпа – 8,9 г) имели прочность раскалывания 169 кг/см², средние (средний размер – 4,4 см, масса эндокарпа – 29,5 г) – 192,0 кг/см², крупные (средний размер – 5,1 см, масса эндокарпа – 25,9 г) – 219 кг/см². Это указывает на необходимость исследований по изучению влияния параметров семян на прорастание и развитие растений в кассетах (Sapronova et al., 2023).

Цель – изучить особенности развития семян крупноплодных древесных пород в условиях закрытого грунта для усовершенствования их семенного размножения в кассетах.

Материалы и методы. Эксперименты по семенному размножению (в условиях закрытого грунта) проводились на Нижневолжской станции по селекции древесных пород. Семена *A. hippocastanum* и *J. nigra* прошли стратификацию в траншее с ноября по апрель (2,80 м × 2,40 м × 2,80 м). Каждый слой с плодами пересыпали песком (толщина слоя 0,3 м; у последнего слоя – 0,50 м; рис. 1а). Для проведения эксперимента семенной материал *A. hippocastanum* был калиброван на фракции (варианты): I – плоды массой до 10,0 г, II – плоды массой от 10,1 до 20,0 г, III – плоды массой более 20,0 г (рис. 1б).



Рис. 1. Закладка в траншею (а) и калибровка (б) семян *A. hippocastanum*

В каждой партии семян были измерены их линейные размеры. Перед посевом плоды прогрели, просушили. В опыте использованы кассеты К-35F объемом ячейки 275 см³ (40,0 × 30,0 × 13,0 см). Автоматизированы операции: набивка кассет, их мульчирование и смачивание поверхности, полив, подкормки, вентиляция. После набивки кассет на линии крупные семена заделаны в ячейки вручную. Потребляемый объем воды зависел от погодных условий и периода (фазы) роста сеянцев. Дневная поливная норма – 14 л/м² день. Частота полива с мая по сентябрь один раз в 1,5 дня после 18:00, во избежание ожога. Поливное оборудование обеспечивало проведение полива, внекорневых и корневых подкормок удобрениями. Проведено двухкратное внесение удобрений: первое – на 30 день после посева (Solar универсал 18:18:18 + 3MgO + МЭ, 20 г/10 л воды); второе – в третьей декаде сентября (Solar финал – 15:7:30 + 3MgO + МЭ, 20 г/л воды).

Биометрические параметры контейнерных растений фиксировали в течение вегетационного периода, кратность измерения – каждые 10 дней, количество замеров 35 по каждому варианту. Проведен однофакторный дисперсионный анализ ANOVA с использованием критерия НСР₀₅ для оценки различий показателей у сеянцев в трех вариантах.

Результаты. В эксперименте по выращиванию сеянцев с закрытой корневой системой крупноплодных древесных пород испытывали каштан конский, семена которого распределили по биометрическим параметрам (длина, ширина) на фракции: I – 2,51 см, 2,22 см; II – 3,36 см, 3,01 см, III – 4,03 см, 3,11 см. Средняя масса семени составила в I группе – 5,42 г, во II – 15,10 г, III – 24,96 г.

Для автоматической набивки кассет в качестве субстрата применен торф верховой. Выбор данного торфа обусловлен тем, что он рекомендован как лучший растительный торф. «Торф верховой отличается ярко выраженной волокнистой структурой, высокой водоудерживающей, ионообменной и газопоглотительной способностью... не содержит болезнетворные микроорганизмы, патогенную флору и семена сорных трав» (Кузнецова и др., 2009).

При подборе оптимального типа кассет для выращивания сеянцев руководствуются их основными биометрическими параметрами в конкретных лесорастительных условиях. Для сеянцев с ЗКС допускается уменьшение на 20 % диаметра стволика у корневой шейки. Промеры основных параметров сеянцев выявили особенности их роста и развития (рис. 2).

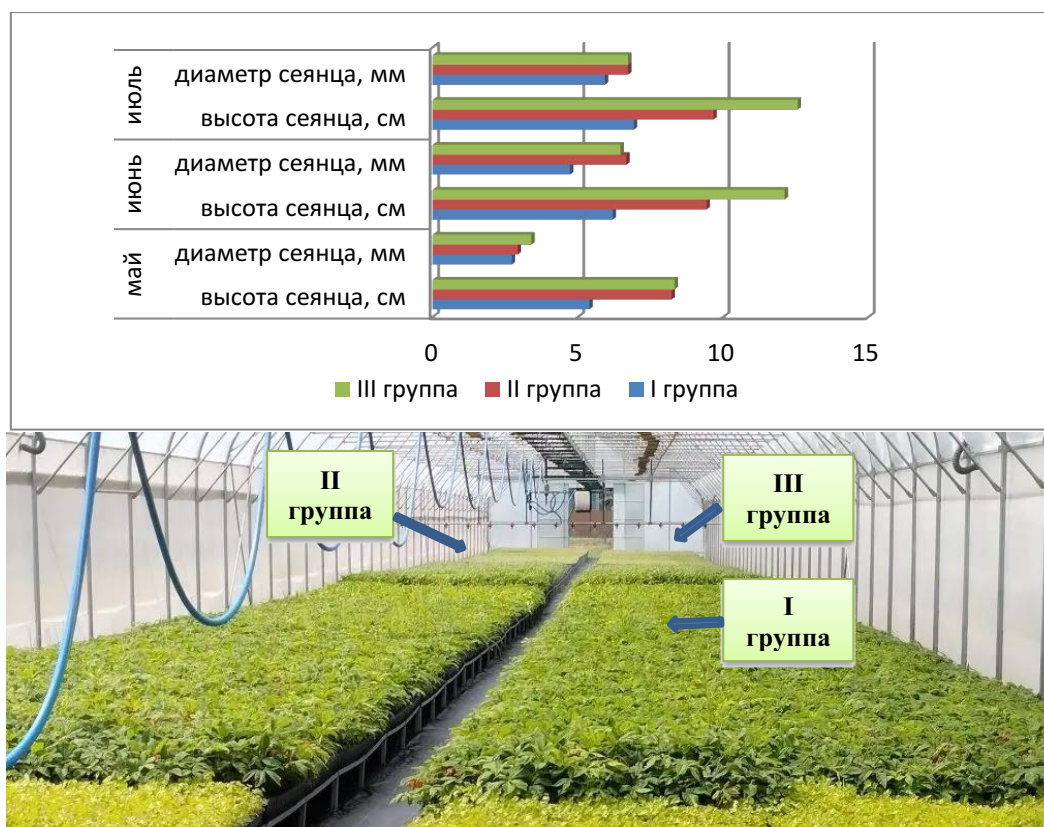


Рис. 2. Влияние параметров семян *A. hippocastanum* на биометрические показатели сеянцев

Установлено, что в период всей вегетации сеянцы, выращенные из семян первой группы, достоверно отличались от сеянцев второй и третьей групп по показателям высоты, диаметра стволика. Разница по показателям высоты сеянцев, выращенных из семян второй и третьей группы не существенна (табл. 1).

Таблица 1

Оценка значимости различий биометрических показателей между группами

Переменная 1	Переменная 2	Разница средних значений (НСР ₀₅)		
		V	VI	VII
<i>По высоте сеянцев (см)</i>				
I группа	II группа	2,8(1,6)	3,2(2,5)	2,7(2,6)
I группа	III группа	2,9(2,1)	6,0(3,1)	5,6(2,5)
II группа	III группа	0,1(2,2)	2,7(3,7)	2,9(3,3)
<i>По диаметру сеянцев (мм)</i>				
I группа	II группа	0,2(0,3)	1,9(0,6)	0,8(0,3)
I группа	III группа	0,7(0,4)	1,7(0,7)	0,8(0,3)
II группа	III группа	0,5(0,3)	0,2(0,7)	0(0,3)

Вместе с тем выявлено, что в июне при равных условиях ухода интенсивность прироста побегов у сеянцев I и II группы ниже (14 %), по сравнению с сеянцами, полученными из семян III группы (47 %). Сеянцы третьей группы в июне достигли стандартности и отвечают требованиям ОСТ 56-98-93, предъявляемым к сеянцам для условий лесостепной и степной зон.

Об ограничивающем влиянии объема ячейки на ростовые процессы свидетельствует развитие корневой системы (табл. 2).

Таблица 2

Оценка значимости различий в развитии корневой системы

Номер группы	Средние значения сырого веса корней сеянцев и их стандартные ошибки, г	Переменная 1	Переменная 2	Разница средних значений, г (НСР ₀₅)
I	19,8 ± 0,9	I группа	II группа	6,6(3,7)
II	13,1 ± 1,6	I группа	III группа	1,6(2,3)
III	18,2 ± 0,6	II группа	III группа	5,0(3,5)
НСР ₀₅	3,95			

Наибольшая масса корней сформировалась у сеянцев, выращенных из семян первой группы, у сеянцев которых расход питательных веществ из плода каштана практически не было (1,3 %), т. е. развитие надземной части было за счет сформировавшейся корневой системы, что согласуется с меньшими параметрами надземной части. Оценка массы корневой системы с сохранившимися плодами, показала, что формирование растений третьей группы происходило более интенсивно за счет расхода запасов питательных веществ семян (масса более 20 г). Потеря массы плода в этой группе составила 69,9 %. У второй группы значения составили 32,3 %.

Аналогичные закономерности ростовых процессов выявлены у сеянцев ореха черного при его кассетном выращивании (рис. 3).

У сеянцев, выращенных из плодов (масса орехов до посева от 20,3 до 27,0 г), корневая система менее развита (33,5-41,6 % от общей массы подземной части). У сеянцев, выращенных из семян массой от 14,1 до 19,8 г, на долю корневой системы приходится 2/3 от общей подземной массы растения. В целом растения достигают стандартности к концу июня – средняя высота составляет 0,44 м, диаметр стволика у корневой шейки 3,9 мм. В июле прирост незначительный – средняя высота сеянца 0,53 м, диаметр стволика 5,3 мм соответственно. Увеличение прироста в июле связано с приростом побегов в связи с растянутым сроком появления всходов. Через три недели после посева в 25 % ячеек зафиксированы всходы.

Сеянцы были размещены в ноябре на открытые площадки закаливания для дальнейшего хранения и последующего роста в следующем году. Установлена сохранность и стандартность посадочного материала (табл. 3).

Обсуждение. Многолетние исследования в различных регионах умеренного климата показали, что основой всех видов солнечных ожогов являются зимние морозные повреждения древесных растений. Существующие физиологические гипотезы образования зимних солнеч-

ных ожогов экспериментально не подтверждены, так как не получена односторонняя гибель тканей на нагреваемой солнцем стороне частей плодовых деревьев при одновременном сохранении тканей здоровыми на их теневой стороне (Котович, 2009). На открытых площадках закаливания для предупреждения потенциальных рисков повреждения молодых растений у лиственных пород укрытие не проводили, весной укрытие затеняющей сеткой плотностью 70 г/м² рекомендовано для хвойных пород.

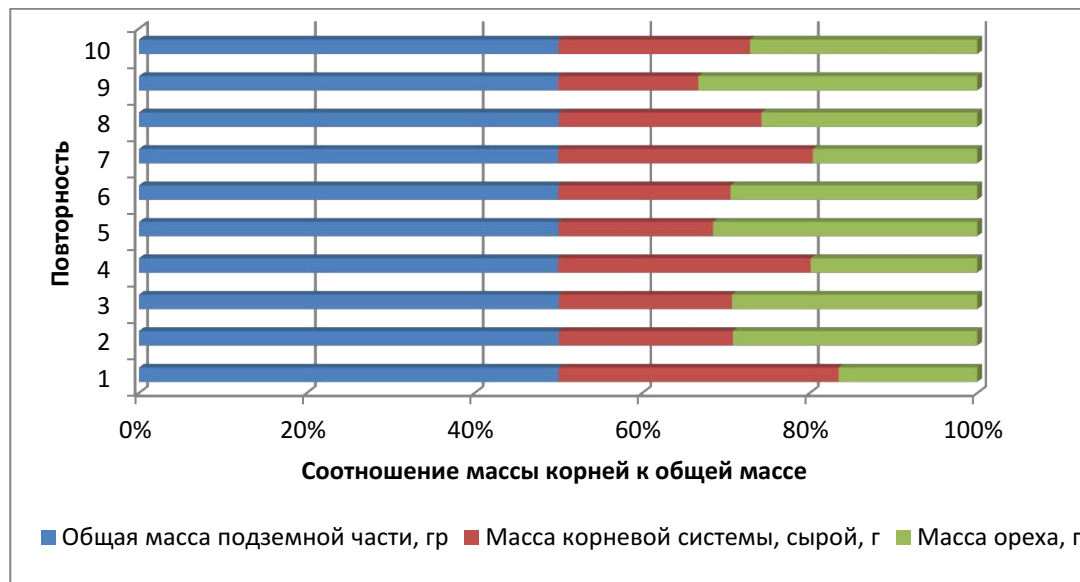


Рис. 3. Развитие корневой системы ореха черного из плодов разных фракций

Таблица 3

Показатели семян *A. hippocastanum* с ЗКС

Кассета	Происхождение семян	Средняя высота, см	Средний диаметр, мм	Сохранность семян в кассете, шт. (%)*	Стандарт, %
К-35F	Камышин	10,0	6,0	28 (80,0)	100

Примечание: * приведена сохранность семян крайних кассет.

Заключение. Кассеты для выращивания семян должны соответствовать требованиям комплекта оборудования по заполнению их субстратом, размеру и высеву семян. Для выращивания крупноплодных древесных пород при использовании кассет объемом 275 см³ рекомендовано применять семена массой не более 10 г (каштан конский) и 15 г (орех черный), длина семени не более 3,5 см. Сеянцы достигают стандартности и отвечают требованиям ОСТ 56-98-93, предъявляемым к сеянцам для условий лесостепной и степной зон. Применение стратифицированных семян позволяет добиться массовых всходов и сократить период появления всходов.

Материалы могут быть использованы для усовершенствования технологии питомниководства древесных видов с закрытой корневой системой с учетом опыта выращивания посадочного материала в России (Жигунов и др., 2016; Носников, 2018; 2024) и зарубежных странах. Выявленные закономерности развития семян позволят оптимально использовать семенной материал за счет его калибровки по фракциям, а также регулировать начало и продолжительность производства посадочного материала (цикл ротации).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Габеев В. Н., Калагова А. С. Изменчивость семян каштана конского обыкновенного в зеленых насаждениях Владикавказа. *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений*. 2011;XIV:18-21. [Gabeev V. N., Kalagova A. S. Variability of common horse chestnut seeds in green spaces of Vladikavkaz. *Fruit growing, seed production, introduction of woody plants*. 2011;XIV:18-21].

Жигунов А. В., Соколов А. И., Харитонов В. А. Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой в Устьянском тепличном комплексе. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. [Zhigunov A. V., Sokolov A. I., Kharitonov V. A. Growing planting material with a closed root system in the Ustyansky greenhouse complex. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2016].

Заигралова Г. Н., Кабанов С. В. Изменчивость морфологических признаков *Aesculus hippocastanum* L. (конского каштана обыкновенного) в зеленых насаждениях г. Саратова. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019;5(79):128-132. [Zaigralova G. N., Kabanov S. V. Variability of morphological traits of *Aesculus hippocastanum* L. (common horse chestnut) in green spaces of Saratov. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2019;5(79):128-132].

Котович И. Н. Солнечные ожоги плодовых деревьев. Санкт-Петербург, 2009. [Kotovitch I. N. Sunburn of fruit trees. St. Petersburg, 2009].

Кузнецова Е. М., Михайлов А. В., Селеннов В. Г. Искусственные почвенные грунты. *Вестник ТГМУ*. 2009;3(81):145-150. [Kuznetsova E. M., Mukhalov A. V., Selennov V. G. Artificial soils. *Bulletin of TSMU*. 2009;3(81):145-150].

Кузнецова Т. М., Захаринко Г. С., Захаринко А. Н. Морфологические особенности соцветий каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в культуре на Южном берегу Крыма. *Бюллетень государственного Никитского ботанического сада*. 2008;96:44-47. [Kuznetsova T. M., Zakharenko G. S., Zakharenko A. N. Morphological features of inflorescences of common horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in culture on the southern coast of Crimea. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2008;96:44-47].

Малышева З. Г. Мелиоративная способность насаждений ореха грецкого и ореха черного аккумулировать тяжелые металлы в наземной фитомассе. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;106:151-161. [Malysheva Z. G. Ameliorative capacity of walnut and black walnut plantations to accumulate heavy metals in above-ground phytomass. *Multithematic online electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2015;106:151-161].

Манаенков А. С., Турко С. Ю., Рыбашлыкova Л. П., Ульянов М. А. Влияние суспензии гидрогеля на приживаемость и развитие черенков джузгуна. *Научно-агрономический журнал*. 2025;3(130):55-63. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2025.130.3.006.55-63> [Manaenkov A. S., Turko S. Yu., Rybashlykova L. P., Ulyanov M. A. Effect of hydrogel suspension on rooting and development of *Calligonum aphyllum* cuttings. *Scientific Agronomy Journal*. 2025;3(130):55-63. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2025.130.3.006.55-63>].

Михайлов А. В., Кремчеев Э. А., Большунов А. В., Нагорнов Д. О. Перспективы развития новых технологий добычи торфа. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2010;9:189-194. [Mikhailov A. V., Kremcheev E. A., Bolshunov A. V., Nagornov D. O. Prospects for the development of new peat extraction technologies. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2010;9:189-194].

Носников В. ЗКС: за и против. *Лесное и охотничье хозяйство*. 2018;4:13-17. [Nosnikov V. ZKS: pros and cons. *Forestry and hunting*. 2018;4:13-17].

Носников В. Усовершенствованная технология. *Лесное и охотничье хозяйство*. 2024;6:2-15. [Nosnikov V. Improved technology. *Forestry and hunting*. 2024;6:2-15].

Панов В. В., Мисников О. С., Купорова А. В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;5:105-117. [Panov V. V., Misnikov O. S., Kuporova A. V. Problems and prospects for the development of peat production in the Russian Federation. *Mining information and analytical bulletin*. 2017;5:105-117].

Ткаченко А. Н., Хоменок М. А., Шлапакова С. Н. Морфологические особенности *Aesculus hippocastanum* L. в городских условиях Брянской области. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2017;54(3):169-174. [Tkachenko A. N., Khomenok M. A., Shlapakova S. N. Morphological features of *Aesculus hippocastanum* L. in urban conditions of Bryansk region. *News of the Gorsk State Agrarian University*. 2017;54(3):169-174].

Фазилова Н. Ф., Чернодубов А. И. Изменчивость семян каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) в Узбекистане. *Современные проблемы науки и образования*. 2013;2:485. [Fazilova N. F., Chernodubov A. I. Variability of seeds of common horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in Uzbekistan. *Modern problems of science and education*. 2013;2:485].

va N. F., Chernodubov A. I. Variation of seed chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in Uzbekistan. *Modern Problems of Science and Education*. 2013;2:485].

Хужахметова А. Ш., Таран С. С. Оптимизация лесомелиоративных насаждений засушливого региона видами родовых комплексов *Corylus* и *Juglans*. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2013;33(31):106-111. [Khuzhakhmetova A. Sh., Taran S. S. Optimization of forest reclamation plantations in arid regions with species of the generic complexes *Corylus* and *Juglans*. *Proc. Lower Volga Agro-University Comp.* 2013;33(31):106-111].

Sapronova D., Belyaev A., Khuzhakhmetova A., Sapronov V. Technological aspects of growing *Juglans nigra* (L.) with closed root system for agroforestry in arid regions. *Research on Crops*. 2023;24(4):784-788. DOI: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-1023>.

Simon P., Lena M. Radial growth response of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) trees to climate in Ljubljana, Slovenia. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2016;18:110-116.

Slavsky V. A. Assessment of economically valuable forms of fruit of the genus *Juglans* for the creation of forest crops in the Voronezh region. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International scientific and practical conference "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions" (Forestry-2019). Voronezh, October 23-24, 2019. Voronezh: IOP Publishing Ltd, 2019;012007.

Информация об авторах

Хужахметова Алия Шамильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), e-mail: avfanc@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5127-8844.

Сапронова Дарья Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), e-mail: sapronova.darya@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3559-3745.

Information about the authors

Khuzhakhmetova Aliya Shamilievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation), e-mail: avfanc@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5127-8844.

Sapronova Darya Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation), e-mail: sapronova.darya@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3559-3745.

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.

Особенности роста сеянцев *Ulmus pumila* L. при применении фосфогипса

Игольникова И. С., Хужахметова А. Ш.✉, Иванченко Т.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», Волгоград, Россия

Аннотация. Увеличение сохранности и долговечности искусственных насаждений за счет проведения научно обоснованных приемов по улучшению условий питания растений на деградированных землях актуально. Эколого-экономическая эффективность применения мелиоранта требует комплексного подхода в изучении влияния внесения разных доз фосфогипса на качество и приживаемость посадочного материала и агрохимические свойства почвы. В искусственных насаждениях сухостепных и полупустынных регионов России на солонцеватых почвах наиболее распространены представители рода *Ulmus*. Цель – изучить особенности роста сеянцев вяза приземистого при применении фосфогипса для подбора оптимальных доз его внесения. Рост и развитие сеянцев вяза приземистого с закрытой корневой системой изучали в контейнерах (объем 2,1 л) при совместном внесении минерального удобрения и разных доз фосфогипса: В1 – контроль без внесения удобрений, В2 – Фон + фосфогипс (2,0 т/га), В3 – Фон + фосфогипс (4,0 т/га), В4 – Фон + фосфогипс (6,0 т/га), В5 – Фон (азофоска 100,0 кг/га). Место проведения эксперимента – Нижневолжская станция по селекции древесных пород (филиал ФНЦ агроэкологии РАН, г. Камышин, Волгоградская обл.) В результате эксперимента установлено, что высота сеянцев в вариантах с фосфогипсом варьировала от 40,6 см (вариант № 3) до 59,3-62,0 (варианты № 4 и № 2), и была меньше по сравнению с вариантом № 5 (65,2 см). В варианте №3 сеянцы имели самые низкие показатели по сравнению со всеми другими вариантами. Достоверные различия по высоте и диаметру стволиков сеянцев установлены между вариантами № 3 и № 2 (21,4 см; 2,3 мм); вариантами № 3 и № 5 (24,6 см; 2,1 мм). Достоверное влияние на диаметр стволика оказало совместное внесение азофоски и фосфогипса 6 т/га. Лучшее развитие корневой системы отмечено на варианте №4 по сравнению с контролем и вариантами № 2 и № 3. Результаты исследований подтверждают стимулирующее влияние фосфора на рост и развитие корневой системы.

Ключевые слова. Сеянцы; вяз приземистый; рост, закрытая корневая система, фосфогипс.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН: «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» (№ FNFE-2025-0009), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Цитирование. Игольникова И. С., Хужахметова А. Ш., Иванченко Т. В. Особенности роста сеянцев *Ulmus pumila* L. при применении фосфогипса // Научно-агрономический журнал. 2026;1(132):84-91. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.010.84-91.

Growth characteristics of *Ulmus pumila* L. seedlings under phosphogypsum application

Igolnikova I. S., Khuzhakmetova A. Sh.✉, Ivanchenko T. 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. Increasing the survival rate and longevity of artificial plantations through scientifically substantiated methods aimed at improving plant nutrition on degraded lands remains a relevant objective. The ecological and economic efficiency of phosphogypsum application requires a comprehensive assessment of its effects at different application rates on planting material quality, survival rate, and soil agrochemical properties. In artificial plantations of dry steppe and semi-desert regions of Russia on solonchic soils, representatives of the genus *Ulmus* are among the most widespread species. The aim of this study was to investigate the growth characteristics of *Ulmus pumila* L. seedlings under phosphogypsum application in order to determine optimal application rates. Seedlings with a closed root system were grown in 2.1 L containers under combined application of mineral fertilizer and different rates of phosphogypsum: a control without fertilizer application, basal fertilizer combined with phosphogypsum at rates of 2.0, 4.0, and 6.0 t/ha, and basal fertilizer only (Azofoska at 100.0 kg/ha). The experiment was conducted at the Nizhnevolskaya Station for Woody Plant Breeding, a branch of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Kamyshin, Volgograd Region). The results showed that seedling height in treatments with phosphogypsum ranged from 40.6 cm to 59.3-62.0 cm and was lower than in the treatment with mineral fertilizer alone (65.2 cm). The lowest growth parameters were recorded at the 4.0 t/ha phosphogypsum rate. Statistically significant differences in seedling height and stem diameter were found between the 4.0 t/ha and 2.0 t/ha treatments (21.4 cm and 2.3 mm, respectively), as well as between the 4.0 t/ha and mineral fertilizer-only treatment (24.6 cm and 2.1 mm). A significant positive effect on stem diameter was observed with the combined application of Azofoska and phosphogypsum at 6.0 t/ha. The most intensive root system development was recorded at the 6.0 t/ha rate compared with the control and lower phosphogypsum rates. Overall, the findings confirm the stimulating effect of phosphorus on root growth and development.

Keywords. Seedlings; *Ulmus pumila* L.; growth, closed root system, phosphogypsum.

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences: 'Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrub and cultivated plants with highly valuable traits of productivity, quality, and resistance to bio- and abiotic stresses using both classical and modern breeding methods, new innovative technologies in nursery management and seed production, to address issues of preventing degradation and desertification of agro-landscapes under changing climate conditions' (No. FNFE-2025-0009), Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation. Igolnikova I. S., Khuzhakmetova A. Sh., Ivanchenko T. V. Growth characteristics of *Ulmus pumila* L. seedlings under phosphogypsum application // Scientific Agronomy Journal. 2026;1(132):84-91. DOI: 10.34736/FNC.2026.132.1.010.84-91

Received: 02.02.2026

Accepted: 03.03.2026

Введение. В малолесных регионах России агролесомелиоративные насаждения, как правило, создаются на сельскохозяйственных землях, подверженных деградации из-за длительной антропогенной деятельности (Кожухов, Тихомиров, 2020; Кретинин, 2021; Левыкин

✉ – Для контактов/Corresponding author

и др., 2025). Многочисленные биоэкологические исследования (Семенютина и др., 2019; Belyaev et al., 2020; Khuzhakhmetova et al., 2024) направлены на подбор и применение адаптированных древесных растений в защитном лесоразведении, где таксоны смогут произрастать в сложных лесорастительных условиях. Однако исследований по использованию удобрений при создании защитных лесных насаждений значительно меньше. Для увеличения приживаемости посадочного материала деревьев и кустарников изучается влияние различных стимуляторов роста (Кожухов и др., 2020; Селянин, 2020; Зацепина, 2025). Разработка и апробирование дополнительных приемов по улучшению условий питания растений на деградированных территориях актуально.

Применение фосфогипса, как мелиоранта, в различных сочетаниях с органоминеральными удобрениями показало положительный результат в технологиях возделывания широкого спектра сельскохозяйственных культур в разных почвенно-климатических условиях (Докучаева и др., 2012; Аканова, Шильников, 2018; Некрасов и др., 2019; Хужахметова и др., 2025; Najer et al., 2023). В Казахстане проведено исследование по применению высоких доз фосфогипса в зеленой зоне г. Астаны. Оно показало, что приживаемость и рост вяза на почвах с разной лесопригодностью не имели достоверных различий (Кабанова и др., 2017). Вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.) в России широко распространен на европейской территории страны и Дальнем Востоке, но имеются и островные места его произрастания в Зауралье, Индии, Корее. В искусственных насаждениях сухостепных и полупустынных регионов России на солонцеватых почвах это наиболее распространенный вид.

Эколого-экономическая эффективность применения мелиоранта (Mukhopadhyay et al., 2021; Bouray et al., 2022; Outbakat et al., 2023) требует комплексного подхода в изучении влияния внесения разных доз фосфогипса на качество и приживаемость посадочного материала, и агрохимические свойства почвы.

Цель – изучить особенности роста сеянцев вяза при применении фосфогипса для подбора оптимальных доз его внесения.

Материалы и методы. Для подбора оптимальных доз внесения фосфогипса заложен опыт, в котором в качестве субстрата была использована почва пахотного слоя (0-20 см) питомника. Отбор почвенных образцов для проведения агрохиманализа (рН, P₂O₅, K₂O, гумус, Ca²⁺, Mg²⁺, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺) проводился согласно общепринятым методам. Основные агрохимические показатели почвенных образцов определены до внесения фосфогипса на базе лаборатории анализа почв ФНЦ агроэкологии РАН. Способ внесения фосфогипса – путем перемешивания с почвой. Рост и развитие сеянцев в контейнерах (объем 2,1 л, размеры 0,12 × 0,12 × 0,20 м) изучали по вариантам: В1 – контроль без внесения удобрений, В2 – Фон + фосфогипс (2,0 т/га), В3 – Фон + фосфогипс (4,0 т/га), В4 – Фон + фосфогипс (6,0 т/га), В5 – Фон (азофоска 100,0 кг/га). Объект исследований: сеянцы вяза приземистого с закрытой корневой системой (объем ячейки 115 см³), выращенные в теплицах Нижневолжской станции по селекции древесных пород (филиала ФНЦ агроэкологии РАН, г. Камышин, Волгоградская обл.), которые были пересажены в мае. Экспериментальные данные основных биометрических показателей сеянцев получены по методикам по каждому варианту (Семенютина и др., 2019). Статистическую обработку результатов проводили с использованием Excel. Достоверность различий значений биометрических показателей в вариантах оценивалась по t-критерию Стьюдента на 5 % уровне значимости.

Результаты. Установлено, что субстрат характеризуется типичным для каштановых почв составом обменных катионов и содержанием подвижных элементов (табл. 1, 2). Содержание гумуса 1,75 %, реакция почвенного раствора – слабощелочная рН = 7,3 (до внесения фосфогипса).

Таблица 1

Состав обменных катионов почвы до внесения ФГ

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
мг. экв. на 100 г почвы					в % от суммы			
8,2	3,3	2,3	1,5	15,3	55,88	20,26	14,37	10,45

Таблица 2

Содержание питательных веществ в почве до внесения ФГ, мг/кг

NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
82,0-83,0	160,0-216,0	671,0-700,0

Адсаламов, Котова (2020) указывают, что при внесении удобрений и мелиорантов в почву протекают два противоположных процесса, доминирование которых определяется спецификой условий ведения сельского хозяйства, почвенно-климатическими условиями, специализацией севооборота и видом культуры, регламентом применяемых удобрений и мелиорантов. Подколзин (1997) отмечает, что «...с одной стороны азот, фосфор и калий, увеличивая урожай культур, способствуют значительному выносу растениями микроэлементов, с другой стороны, чем в большей степени окультурена почва (больше органического вещества, pH ближе к 7), тем прочнее будут удерживаться тяжелые металлы почвенно-поглощающим комплексом, тем меньше будет их подвижность, а, следовательно, и доступность растениям».

До начала эксперимента средний прирост верхушечных побегов семян за апрель составил 3,4 см. Последующие замеры верхушечных побегов, показали, что ростовые процессы возобновились через 15-20 дней после начала опыта (рис. 1).

В первые две декады июня 2025 г. температура воздуха превышала 30 °С, что оказало отрицательное влияние на рост семян по всем вариантам. Установлено, что по состоянию на октябрь высота семян в вариантах с фосфогипсом варьировала от 40,6 см (вариант № 3) до 59,3-62,0 (варианты № 4 и № 2), и была меньше по сравнению с вариантом №5 (65,2 см).

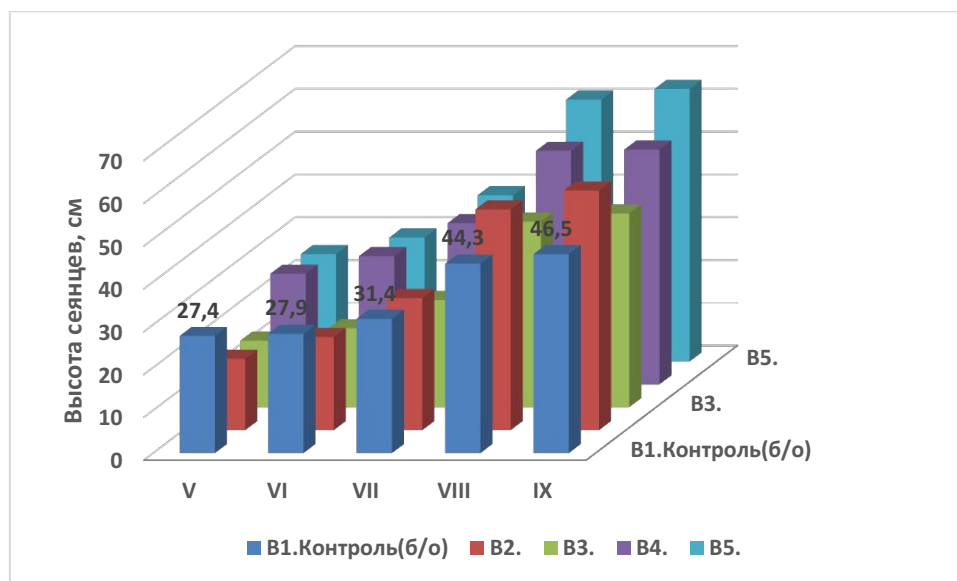


Рис. 1. Динамика высоты семян по вариантам

Достоверные различия по высоте и диаметру створок семян установлены между вариантами № 3 и № 2 (21,4 см; 2,3 мм); вариантами № 3 и № 5 (24,6 см; 2,1 мм) по критерию НСР₀₅ (табл. 3).

Таблица 3

Влияние фосфогипса на биометрические показатели семян

Вариант № 1		Вариант № 2		Вариант № 3		Вариант № 4		Вариант № 5	
контроль (без внесения удобрений)		фон + ФГ, 2,0 т/га		фон + ФГ, 4,0 т/га		фон + ФГ, 6,0 т/га		фон (азофоска 100,0 кг/га)	
Нср., см*	Дср., см*	Нср., см*	Дср., см*	Нср., см*	Дср., см*	Нср., см*	Дср., см*	Нср., см*	Дср., см*
54,6±6,5	0,6±0,05	62,2±6,1	0,7±0,07	40,6±6,5	0,5±0,02	59,3±5,9	0,8±0,05	65,2±6,1	0,7±0,07

Примечание: *Нср. – высота саженцев, см; Дср. – диаметр створки у корневой шейки, см.

Влияние на диаметр стволика оказало совместное внесение азофоски и фосфогипса 6 т/га. На этом варианте установлено значимое превышение диаметра стволика по сравнению с контролем и вариантом № 3. На остальных вариантах не выявлены достоверные различия основного биометрического показателя по сравнению с контролем.

Сравнительная оценка развития подземной части сеянцев показала, что на варианте № 3 такие показатели как воздушно-сухая масса корней были достоверно ниже по сравнению с вариантом № 2 на 2,8 г (НСР₀₅ 1,8), с вариантом № 4 на 4,1 г (НСР₀₅ 3,8); 2,7 см³ (НСР₀₅ 1,0) и с вариантом № 5 на 3,8 г (НСР₀₅ 2,9) (рис. 2).

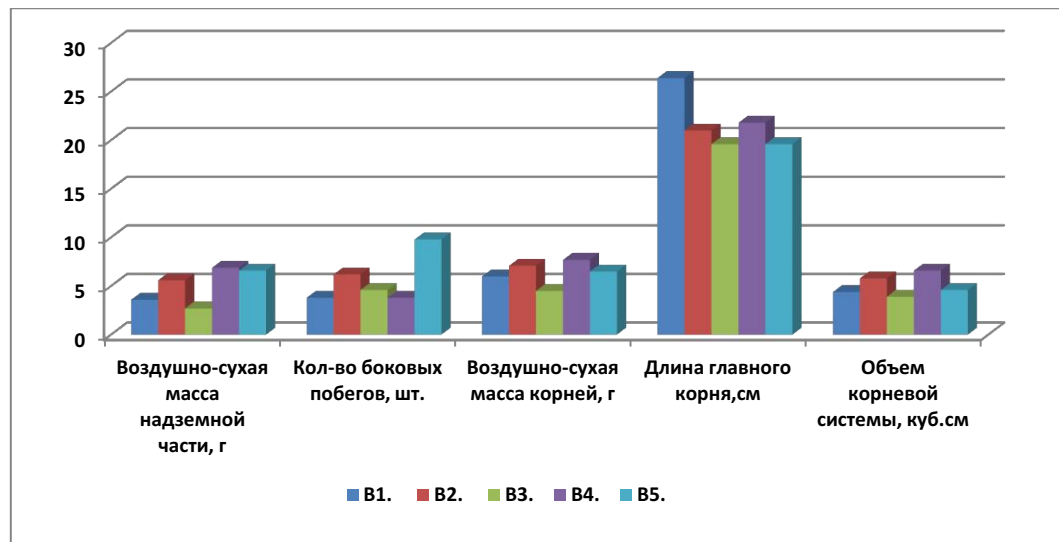


Рис. 2. Показатели развития сеянцев по пяти вариантам

Показатели воздушно-сухой массы надземной части сеянцев в варианте № 3 достоверно отличались от этих показателей в вариантах № 2, № 4 и № 5.

Обсуждение. Воеводина и Воеводин (2015) отмечают, что растения способны потреблять магний в довольно широком диапазоне при условии достаточного содержания обменного магния. По результатам агрохимического анализа почвенного субстрата в варианте № 3 определены меньшие значения pH (7,2) и содержание подвижных форм калия (162 мг/кг) по сравнению с другими вариантами (169-196 мг/кг). Установлено нарушение оптимального соотношения кальция и магния (7:1), что привело к конкуренции между этими ионами за поглощение корнями растений питательных элементов. В остальных вариантах соотношение кальция и магния варьировало: 1,6 (вариант № 4), 2,7 (вариант 5), 5,5 (вариант № 2) и 5,9 (вариант № 1) при значениях pH 7,7 (вариант № 4), 7,5 (вариант № 5), 7,4 (варианты № 2 и 1).

Лучшее развитие корневой системы отмечено на варианте № 4, по сравнению с контролем (по объему корневой системы превышение составило 2,2 см³, НСР₀₅ 1,8 см³); а также вариантом № 3 (2,7 см³, НСР₀₅ 1,0 см³) и фоном (вариант № 5) – превышение объема корневой системы на 34,48 % (НСР₀₅ 1,7 см³). Результаты исследований подтверждают стимулирующее влияние фосфора (от 160 до 240 мг/кг) на рост и развитие корневой системы. Как отмечает Гурин (2020) «... при очень высоком содержании доступного фосфора в почве (более 200 мг/кг) нарушается питание растений такими элементами как азот, калий, медь, цинк, бор. В этом случае азотное удобрение следует применять поверхностно. Конкуренция между нитратами и фосфатами снизит излишнее поглощение фосфора, что будет способствовать улучшению роста растений».

Заключение. Процесс адаптации растений вяза в новых контейнерах занял от 14 до 20 дней. Рекомендовано совместное внесение минеральных удобрений и мелиоранта (6,0 т/га), при котором установлено лучшее развитие сеянцев вяза приземистого за счет стимулирующего влияния фосфора на рост и развитие корневой системы. В варианте № 3 сеянцы имели самые низкие показатели по сравнению со всеми другими вариантами. Получены результаты по научно обоснованному применению мелиоранта при питомниководстве, которые могут быть востребованы при совершенствовании технологий создания искусственных насаждений.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

Адсаламов Х.Р., Котова Е. О. Тяжелые металлы и их экологическое воздействие на агроэкосистемы. В: Сб. материалов научно-практической конференции «Инновации в сельском хозяйстве и проблемы экологии». Орел, 14-15 мая 2020 г. Орел: Орловский ГАУ, 2020;7-15. [Ad-salamov H. R., Kotova E. O. Heavy metals and their environmental impact on agroecosystems. In: Collection of materials from the scientific and practical conference "Innovations in agriculture and environmental issues". Orel, May 14-15, 2020. Orel: Oryol State Agrarian University, 2020; 7-15.]

Аканова Н. И., Шильников А. И. Проблема химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации. *Плодородие*. 2018;2:9-11. [Akanova N. I., Shilnikov A. I. The problem of chemical soil reclamation in agriculture of the Russian Federation. *Plodorodie = Eurasian Soil Science*. 2018;2:9-11].

Воеводина Л. А., Воеводин О. В. Магний для почвы и растений. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2015;2(18):70-81. [Voevodina L. A., Voevodin O. V. Magnesium for soil and plants. *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2015;2(18):70-81.]

Гурин А.Г. Особенности минерального питания саженцев в плодовом питомнике. В: Сб. материалов научно-практической конференции «Инновации в сельском хозяйстве и проблемы экологии». Орел, 14-15 мая 2020 г. Орел: Орловский ГАУ, 2020;60-65. [Gurin A.G. Features of mineral nutrition of seedlings in a fruit nursery. In: Collection of materials from the scientific and practical conference "Innovations in agriculture and environmental issues". Orel, May 14-15, 2020. Orel: Oryol State Agrarian University, 2020;7-15].

Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Шалашова О. Ю. Использование фосфогипса и фосфогипсо-содержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2012;3(7):52-64. [5. Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E., Shalashova O. Yu. Use of phosphogypsum and phosphogypsum-containing ameliorants for the reclamation of solonetzic soils under irrigation conditions. *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2012;3(7):52-64.]

Зацепина И. В. Влияние стимулятора роста растений на рост и развитие форм айвы в первом поле питомника. *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2025;1(17):6-12. [Zatsepina I.V. Effect of plant growth stimulator on the growth and development of quince varieties in the first field of the nursery. *Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region*. 2025;1(17):6-12.]

Кабанова С. А., Борцов В. А., Данченко А. М., Данченко М. А., Пунжа Г. А. Эколого-лесоводственные результаты опытных работ по мелиорации почв в зеленой зоне г. Астана. *Успехи современного естествознания*. 2017;7:36-41. [Kabanova S. A., Bortsov V. A., Danchenko A. M., Danchenko M.A., Punzha G.A. Ecological and forestry results of experimental work on soil melioration in the green zone of Astana. *Advances in current natural science*. 2017;7:36-41.]

Кожухов Н. И., Тихомиров Е. А. Усиление роли лесного потенциала малолесных регионов РФ для повышения темпов социально-экономического развития и сбалансированности интересов населения, бизнеса и административных структур. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право*. 2020;6:44-47. [Kozhukhov N. I., Tikhomirov E. A. Strengthening the role of the forest potential of sparsely forested regions of the Russian Federation to increase the rate of socio-economic development and balance the interests of the population, business and administrative structures. *Modern Science: Current Theory and Practice. Series: Economics and Law*. 2020;6:44-47].

Кожухов А. Д., Таракин А. В., Федосеева В. В. Нитратный режим почвы под влиянием внесения минеральных удобрений в питомнике В: Сб. материалов научно-практической конференции «Инновации в сельском хозяйстве и проблемы экологии». Орел, 14-15 мая 2020 г. Орел: Орловский ГАУ, 2020;106-109. [Kozhukhov A. D., Tarakin A. V., Fedoseeva V. V. Nitrate regime of soil under the influence of mineral fertilizer application in a nursery In: Collection of materials from the scientific and practical conference "Innovations in agriculture and environmental issues". Orel, May 14-15, 2020. Orel: Oryol State Agrarian University, 2020; 106-109].

Кретинин В. М. Агролесоводство. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. [Kretinin V. M. Agroforestry. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2021].

Левыкин С. В., Гулянов Ю. А., Казачков Г. В., Садертдинов З. З. Лесокультурное наследие семиаридных и аридных регионов: достижения, проблемы, сценарии развития. *Научно-агрономический журнал*. 2025;4(131):102-111. [Levykin S. V., Gulyanov Y. A., Kazachkov G. V., Sadertdinov R. R. Forest-cultivation heritage of semiarid and arid regions: achievements, challenges, development scenarios. *Scientific Agronomy Journal*. 2025;4(131):102-111].

Некрасов Р. В., Аканова Н. И., Шеуджен А. Х., Визирская М. М. Перспективы применения фосфогипса, как химического мелиоранта, в земледелии российской Федерации. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2019;6(372):93-98. [Nekrasov R. V., Akanova N. I., Sheudzhen A. Kh., Vizirskaya M. M. Prospects for the use of phosphogypsum as a chemical ameliorant in agriculture in the Russian Federation. *International Agricultural Journal*. 2019;6(372):93-98].

Подколзин А.И. Плодородие почвы и эффективность удобрений в земледелии юга России. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. [Podkolzin A.I. Soil fertility and efficiency of fertilizers in agriculture in the south of Russia. Moscow: Moscow University Press, 1997].

Селянин Г. А. Влияние стимуляторов роста на рост и развитие серой спиреи. В: Сб. материалов 80-й студенческой (региональной) научной конференции «Студенческая наука – аграрному производству». Казань, 08-09 февраля 2022 г. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2022;257-264. [Selyanin G. A. Effect of growth stimulants on the growth and development of gray spirea. In: Collection of materials of the 80th student (regional) scientific conference "Student science for agricultural production." Kazan, February 8-9, 2022. Kazan: Kazan State Agrarian University, 2022; 257-264].

Семенютина А. В., Свинцов И. П., Хужахметова А. Ш., Семенютина В. А., Зеленьяк А. К. Методология подбора адаптированного генофонда древесных растений для агролесоводства. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2019. [Semenyutina A. V., Svintsov I. P., Khuzhakhmetova A. Sh., Semenyutina V. A., Zelenyak A. K. Methodology for selecting an adapted gene pool of woody plants for agroforestry. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2019].

Хужахметова А. Ш., Игольникова И. С., Иванченко Т. В. Современный опыт применения фосфогипса в сельском хозяйстве и перспективы применения в защитном лесоразведении. *Известия НВ АУК*. 2025;6(84):238-247. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-26 [Khuzhakhmetova A. Sh., Igolnikova I. S., Ivanchenko T. V. Modern experience of the phosphogypsum application in agriculture and the prospects of its application in the protective afforestation. *Proc. Lower Volga Agro-University Comp*. 2025;6(84):238-247. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-26].

Belyaev A. I., Repnikov B. V., Semenyutina A. V., Solonkin A. V., Khuzhakhmetova A. Sh. Scientific substantiation of formation of a selection of a selection-seed-breeding center for wood and agricultural plants. *World Ecology Journal*. 2020;10,2:3-17.

Bouray M., Moir J. L., Condron L. M., Lehto N. J., Bayad M., El Gharous M., El Mejahed K. Effect of phosphogypsum application on aluminum speciation in acid pasture soils. *Journal Soils Sediments*. 2022;20:1-17.

Outbakat M., Choukr-Allah R., Bouray M., El Gharous M., El Mejahed K. Phosphogypsum: properties and potential use in agriculture. In: Biosaline agriculture as a climate change adaptation for food security. Springer, Cham. 2023, DOI: 10.1007/978-3-031-24279-3_12.

Mukhopadhyay R., Sarkar B., Jat H. S., Sharma P. C., Bolan N. S. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*. 2021;280:111736.

G., Tallou A., Aziz F., Boukchina R., Karbout N., Caceres L. A., García-Tenorio R., Boudabbous K., Moussa M. Application of Phosphogypsum and Organic Amendment for Bioremediation of Degraded Soil in Tunisia Oasis: Targeting Circular Economy. *Sustainability*. 2023;257463434.

Khuzhakhmetova A., Belyaev A., Sapronova D. Efficiency of management of bioresource collections of trees and shrubs for solving agroforestry. *International Journal of agriculture and biosciences*. 2024;13(3):449-455, DOI: 10.47278/journal.ijab/2024.141.

Информация об авторах

Игольникова Ирина Сергеевна, аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), e-mail: igolnikova-is@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-2602-724X.

Хужахметова Алия Шамильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), e-mail: avfanc@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5127-8844.

Иванченко Татьяна Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), e-mail: ivanchenko-t@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-6649-200X.

Information about the authors

Igolnikova Irina Sergeevna, Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation), e-mail: igolnikova-is@vfanc.ru, ORCID: 0000-0002-2602-724X.

Khuzhakhmetova Aliya Shamiliyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation), e-mail: avfanc@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5127-8844.

Ivanchenko Tatyana Viktorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (400062, Volgograd, 97 Universitetsky Ave., Russian Federation), e-mail: ivanchenko-t@vfanc.ru, ORCID: 0000-0001-6649-200X.

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.

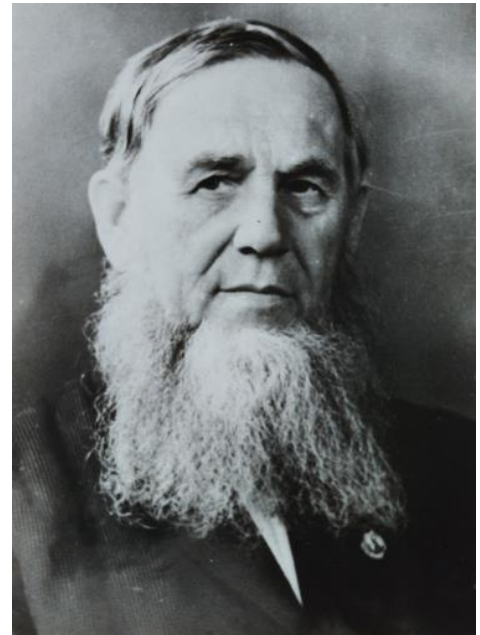
Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас принять участие в конкурсе на присуждение медали советского ученого, специалиста по лесоведению и лесоводству, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, члена корреспондента ВАСХНИЛ

Анатолия Васильевича Альбенского
за научные достижения в области агролесомелиорации и защитного лесоразведения.

Положение о порядке присуждения медали имени А. В. Альбенского за научные достижения в области агролесомелиорации и защитного лесоразведения

**I. Общие положения**

1. В целях поощрения ученых за достижения в агролесомелиоративной науке Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН) награждает медалью имени А. В. Альбенского.

2. Медаль присуждается ученым советом ФНЦ агроэкологии РАН на основании результатов конкурса, объявляемого в порядке предусмотренного настоящим положением.

3. Медаль присуждается ученым Российской Федерации и Содружества независимых Государств за выдающиеся научные работы, имеющие крупное теоретическое или практическое значение.

4. Конкурс на соискание медали имени А. В. Альбенского проводится 1 раз в 2 года. Присуждение медали приурочивается ко дню рождения А. В. Альбенского – 19 октября.

5. О предстоящем конкурсе на соискание медали имени А. В. Альбенского ФНЦ агроэкологии РАН делает сообщение в журнале «Вестник российской сельскохозяйственной науки» или других отраслевых изданиях.

6. Конкурс на соискание медали, не проведенный в объявленные сроки, считается несостоявшимся и перенесению на следующий срок не подлежит.

7. Работы, удостоенные Государственных премий, Премий Правительства России и стран СНГ, а также именных премий Российской академии наук на соискание медалей не принимаются.

II. Выдвижение кандидатов на соискание медали

8. Право на выдвижение кандидатов на соискание медали предоставляется научно-исследовательским учреждениям, высшим учебным заведениям, членам РАН.

9. Материалы на соискание медали представляются в ФНЦ агроэкологии РАН не позднее чем за месяц до даты присуждения медали.

10. Учреждения и лица, выдвинувшие кандидатов на соискание медали, представляют в установленные сроки с надписью «На соискание медали имени А. В. Альбенского» следующие материалы:

а) мотивированное представление, включающее научную характеристику работы, определение ее значимости для развития агролесомелиоративной науки и практики;

б) опубликованную научную работу (серию работ), материалы научного открытия или изобретения в трех экземплярах;

в) сведения об авторе: перечень основных научных работ, изобретений, место работы, занимаемая должность, домашний адрес;

г) сведения о том, что представляемая на конкурс работа ранее не была удостоена премий, указанных в п. 7 настоящего положения.

III. Рассмотрение работ экспертной комиссией

11. Научная оценка всех поступивших на конкурс работ проводится экспертной комиссией, организуемой в ФНЦ агроэкологии РАН из числа ведущих ученых и специалистов в количестве 7-9 человек. Состав экспертной комиссии утверждается директором ФНЦ агроэкологии РАН.

12. Экспертная комиссия правомочна принимать решение, если на заседании присутствует не менее 2/3 списочного состава членов комиссии.

13. Экспертная комиссия оценивает работы, поступившие на конкурс, и принимает решение о рассмотрении соответствующих требованиям конкурса работ на ученом совете.

14. Работы, признанные экспертной комиссией неактуальными в научном отношении, отклоняются. Решение по этим вопросам принимается открытым голосованием простым большинством голосов членов экспертной комиссии.

15. Члены экспертной комиссии – соискатели медали, не имеют права участия в рецензировании, обсуждении представленных работ и голосовании за них, а вместо этих членов комиссии на время проведения данного конкурса ученый совет утверждает новых членов.

IV. Утверждение результатов конкурса ученым советом

16. Экспертная комиссия не позднее чем за две недели до даты присуждения медали представляет в ученый совет материалы по результатам рассмотрения на соискание медали, Председатель совета знакомит членов Совета с поступившими материалами.

Представляются следующие материалы: протокол заседания экспертной комиссии, список всех работ, представленных на конкурс, рецензии на работы, сведения об авторах, справка-аннотация о рекомендованной работе.

17. Докладчиком на заседании ученого совета по вопросам представленных работ является председатель экспертной комиссии.

18. Решение по кандидатам для присуждения медали, принимается тайным голосованием.

19. Голосование проводится одновременно по всем работам, включенным в бюллетень для тайного голосования:

Подсчет голосов проводится счетной комиссией, избираемой из состава членов ученого совета в количестве 3-х человек.

20. Член ученого совета может положительно голосовать только за одну из работ, помещенных в бюллетень.

Бюллетень без всяких отметок, а также с отметкой более чем за одну работу считается недействительным.

Решение считается принятым, если оно получило простое большинство голосов членов ученого совета, принимавших участие в голосовании.

Если при голосовании ни одна из работ не получила необходимого числа голосов, ученый совет вправе провести повторное голосование. В бюллетень для вторичного голосования не включаются работы, получившие при первом голосовании менее 1/3 голосов членов ученого совета, участвовавших в голосовании.

Если в результате вторичного голосования ни одна из работ не получила необходимого числа голосов, конкурс считается несостоявшимся.

V. Заключительные положения

21. Лицу, удостоенному медали, вручается медаль, диплом установленного образца и денежная премия.

Она является медалью настольного типа. Описание медали утверждено ученым советом Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации (ВНИАЛМИ).

23. Расходы по изготовлению медали и дипломов производятся за счет внебюджетного фонда ФНЦ агроэкологии РАН.

Редакция научно-практического журнала «Научно-агрономический журнал»

благодарит уважаемых авторов за сотрудничество и выражает надежду на дальнейшую популяризацию результатов фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых по научному обеспечению сельского, лесного и мелиоративного хозяйства с освещением проблем рационального природопользования и адаптации агроэкосистем к меняющимся климатическим условиям.

В журнале публикуются научные статьи, обзоры, требующие обязательного рецензирования и регистрации DOI. Для публикации статей в журнале приглашаются научные и научно-педагогические работники, докторанты, аспиранты, а также практические работники и руководители организаций сферы АПК.

К публикации принимаются статьи, отражающие наиболее значимые научные труды, нигде ранее не опубликованные, соответствующие тематике журнала, обладающие научной новизной и содержащие материалы собственных научных исследований автора. Предоставляемые материалы должны быть актуальными, иметь новизну, научную и практическую значимость. Оригинальность текста – не менее 75 % (проверка с помощью сервиса www.antiplagiat.ru), подтвержденные отчетом с указанного сервиса.

Статьи, представленные к публикации, направляются редколлегией журнала на обязательное рецензирование. Рецензирование осуществляется в строгом соответствии с порядком рецензирования и этическими принципами, опубликованными на официальном веб-сайте [https:// zhurnal. vfanc.ru/](https://zhurnal.vfanc.ru/)

Главный и ответственный редакторы принимают решение о возможности принятия рукописи к печати на основании рецензий и собственной оценки качества материала, авторских ответов на замечания и исправлений рукописи, при необходимости консультируясь с другими членами Редакционной коллегии.

Требования к оформлению статей

Авторы статьи об оригинальном исследовании должны предоставлять достоверные результаты проделанной работы и объективное обсуждение значимости исследования. Статья должна содержать достаточно деталей и библиографических ссылок для возможного воспроизведения, должны быть точными и объективными. Ложные или заведомо ошибочные утверждения воспринимаются как неэтичное поведение и неприемлемы.

Плагиат во всех формах представляет собой неэтичные действия и неприемлем. Оригинальность текста статьи вместе со списком литературы (оригинальность + цитирование), должна быть не менее 75 %. Отчет проверки на уникальность текста статьи должен быть представлен с использованием одной из онлайн-систем: www.text.ru или www.antiplagiat.ru.

Представление одной и той же рукописи одновременно более чем в один журнал воспринимается как неэтичное поведение и неприемлемо.

Признание первоисточников. Необходимо всегда признавать вклад других лиц. Авторы должны ссылаться на публикации, которые имеют значение для выполнения представленной работы. Данные, полученные приватно, например, в ходе беседы, переписки или в процессе обсуждения с третьими сторонами, не должны быть использованы или представлены без ясного письменного разрешения первоисточника.

Авторами публикации могут выступать лица, которые внесли значительный вклад в формирование замысла работы, разработку, исполнение или интерпретацию представленного исследования. Все те, кто внес значительный вклад, должны быть обозначены как Соавторы.

Если работа предполагает использование химических продуктов, процедур или оборудование, при эксплуатации которых возможен какой-либо необычный риск, Автор должен четко обозначить это в рукописи.

Все Авторы обязаны раскрывать в своих рукописях финансовые или другие существующие конфликты интересов, которые могут быть восприняты как оказавшие влияние на результаты или выводы, представленные в работе. Потенциальные конфликты интересов должны быть раскрыты как можно раньше (работа по найму, консультирование, наличие акционерной собственности, получение гонораров, предоставление экспертных заключений, патентная заявка или регистрация патента, гранты и другое финансовое обеспечение). В случае обнаружения Автором существенных ошибок или неточностей в публикации, Автор должен сообщить об этом Редактору «Научно-агрономического журнала» и взаимодействовать с Редактором с целью скорейшего изъятия публикации или исправления ошибок.

Статья должна быть оформлена согласно шаблону. Текст статьи должен быть набран с использованием шрифта Times New Roman 12 пт, 1,5 интервал, отступ 1,25 см. В таблицах допускается размер шрифта 10 пт, интервал 1,0. Выравнивание текста по ширине. Общее количество таблиц и рисунков не более 10 штук. Объем статьи, включая список литературы, рисунки, таблицы должен составлять от 10 до 15 страниц.

Статья представляется в редакцию «Научно-агрономического журнала» оформленная по шаблону и отправляется в электронном виде на e-mail: nazh_journal@vfanc.ru.