

ISSN 1816-9775 (Print)
ISSN 2541-8971 (Online)

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия

Серия: Химия. Биология. Экология

2026

Том 26

Выпуск 2



IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY
CHEMISTRY. BIOLOGY. ECOLOGY

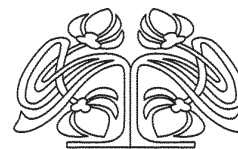


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия
Серия Химия. Биология. Экология, выпуск 2

Продолжение «Известий Императорского Николаевского Университета» 1910–1918, «Ученых записок СГУ» 1923–1962,
«Известий Саратовского университета. Новая серия» 2001–2004



Научный журнал
2026 Том 26

ISSN 1816-9775 (Print)

ISSN 2541-8971 (Online)

Издается с 2005 года

СОДЕРЖАНИЕ

Научный отдел

Химия

Никулин А. В., Фомина Ю. А., Кривенько А. П.
Рециклизация замещенных аминокислотных карбонилтриолов под действием иода. Синтез оксоинолинкарбонилтриолов 120

Минцаев М. Ш., Лужецкий А. В., Шаипов А. А., Зимина М. Г., Русанова Т. Ю., Басханова М. Н., Черкасов Д. Г.

Ценные компоненты минерализованных вод Чеченской Республики: перспективы извлечения 126

Усова Е. Л., Кусков К. В., Макарова Л. Н., Фугаева А. М., Таргашов А. В. Применение отходов водоподготовки и деревоперерабатывающей промышленности для получения магнитоуправляемых нефтесорбентов 139

Смирнов А. К., Сиськова Е. Р., Шиповская А. Б. Влияние архитектуры трёхмерной сетки графт-сополимера ксантана с акриламидом на его сорбционные свойства в модельных средах различной химической природы 148

Биология

Карпулянская А. В., Петерсон А. М. Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты растений баклажана (*Solanum melongena* L., 1753), выращенных в условиях Саратовской области 159

Зубехина А. А., Коробко В. В., Даштоян Ю. В., Калинина А. В. Влияние осмотического стресса на рост и развитие проростков интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы 169

Фомина Т. И. Внутривидовая изменчивость *Heterocallis minor* Mill. в условиях лесостепи Западной Сибири 178

Слесарева Е. А., Мельников Е. Ю., Смолякова Д. С., Поликарпова Н. В. Особенности протекания постювенальной и послепрачальной линьки у камышового овсянки *Schoeniclus schoeniclus* и пеночки-веснички *Phylloscopus trochilus* на стационаре «Остров Варлама» (Мурманская область) 186

Шилова И. В., Серова Л. А., Петрова Н. А. О находке *Orobancha kelleri* Novopokr. (Orobanchaceae) в Саратовской области 196

Экология

Плешакова Е. В., Глинская Е. В., Коробейникова А. С., Голубев Д. М., Казакулов Э. Д., Решетников М. В. Эколого-функциональные свойства углеводородокисляющих бактерий, изолированных из почв города Когалыма 208

Донских О. Ю., Аникин В. В. Сравнительная характеристика фаунистических комплексов Прямокрылых (Insecta: Orthoptera) степной и лесостепной зон Правобережья Саратовской области 217

Ардабьева А. Г., Зимина Т. Н. Флористическое разнообразие и количественные показатели фитопланктона коренного русла реки Волги в летний период 228

Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Химия. Биология. Экология» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Запись о регистрации СМИ ПИ № ФС77-76649 от 26 августа 2019 г. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (категория К2, специальности: 1.4.2; 1.4.3; 1.4.4; 1.5.2; 1.5.9; 1.5.12; 1.5.14; 1.5.15). Журнал входит в ЕГПНИ (Белый список), DOAJ

Подписной индекс издания 36013. Подписку на печатные издания можно оформить в интернет-каталоге ГК «Урал-Пресс» (ural-press.ru). Журнал выходит 4 раза в год. Цена свободная. Электронная версия находится в открытом доступе (ichbe.sgu.ru)

Директор издательства

Бучко Ирина Юрьевна

Редактор

Митенева Елена Анатольевна

Редактор-стилист

Агафонов Андрей Петрович

Верстка

Ковалева Наталья Владимировна

Технический редактор

Каргин Игорь Анатольевич

Корректор

Шевякова Виктория Валентиновна

В оформлении издания использованы работы художника Соколова Дмитрия Валерьевича (13.11.1940–20.11.2023)

Адрес учредителя, издателя

и издательства (редакции):
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83
Тел.: +7(845-2) 51-29-94, 51-45-49, 52-26-89
E-mail: publ@sgu.ru, izdat@sgu.ru

Подписано в печать 22.06.2026.

Подписано в свет 30.06.2026.

Выход в свет 30.06.2026.

Формат 60 × 84 1/8.

Усл. печ. л. 13,72 (14,75).

Тираж 100 экз. Заказ 39-Т.

Отпечатано в типографии Саратовского университета.

Адрес типографии:
410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2026



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал публикует научные статьи по аналитической химии, органической химии, физической химии, биофизике (биологические науки), ботанике, зоологии, экологии, (по отраслям) (биологические науки), энтомологии.

Объем публикуемой статьи не должен превышать 16 страниц в формате MS Word для Windows.

Статья должна быть оформлена строго в соответствии с требованиями журнала и тщательно отредактирована.

Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы:

– текст статьи в электронном виде;

– два экземпляра подписанного Лицензионного договора на право использования научного произведения.

Структура подачи материала:

– на русском языке: индекс УДК, название статьи, имена, отчества и фамилии авторов, сведения об авторах (ученая степень, должность, место работы/учебы (структурное подразделение, организация, почтовый адрес), город, страна, e-mail), аннотация, ключевые слова, текст статьи, благодарности и источники финансирования работы (если есть), список литературы;

– на английском языке: название статьи, имена (полностью), отчества и фамилии авторов, сведения об авторах (ORCID, место работы/учебы (организация, почтовый адрес организации), e-mail); аннотация, ключевые слова, благодарности и источники финансирования работы (если есть).

Требования к аннотации и библиографическому списку:

– аннотация не должна содержать сложных формул, ссылок на список литературы, по содержанию повторять название статьи, быть насыщена общими словами, не излагающими сути исследования; оптимальный объем 150–200 слов;

– в списке литературы должны быть указаны только процитированные в статье работы; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Образцы оформления различных источников приведены в правилах для авторов по адресу: <https://www.ichbe.sgu.ru/ru/ru/dlya-avtorov>.

Датой поступления статьи считается дата поступления ее окончательного варианта. Возвращенная на доработку статья должна быть прислана в редакцию не позднее чем через 3 месяца. Возвращение статьи на доработку не означает, что статья будет опубликована, после переработки она вновь будет рецензироваться. Материалы, отклоненные редколлегией, не возвращаются.

Адреса для переписки с редколлегией серии: ichbe-sgu@yandex.ru; 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83, биологический факультет, ответственному секретарю журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология». Website: <https://ichbe.sgu.ru>

CONTENTS

Scientific Part

Chemistry

- Nikulin A. V., Fomina Yu. A., Krivenko A. P.**
Recycling of substituted aminochromenecarbonitriles under the action of iodine. Synthesis of oxoquinolinecarbonitriles 120
- Mintsaev M. Sh., Luzhetsky A. V., Shaipov A. A., Zimina M. G., Rusanova T. Yu., Baskhanova M. N., Cherkasov D. G.**
Valuable components of mineralized waters of the Chechen Republic: Extraction prospects 126
- Usova E. L., Kuskov K. V., Makarova L. N., Fugaeva A. M., Targashov A. V.** Use of water treatment and wood processing industry waste to produce magnetically controlled oil sorbents 139
- Smirnov A. K., Siskova E. R., Shipovskaya A. B.**
Influence of the three-dimensional network architecture of xanthan gum-graft-polyacrylamide copolymer on its sorption properties in model media of different chemical nature 148

Biology

- Karpulyanskaya A. V., Peterson A. M.**
Taxonomic and functional characteristics of the microbiota of eggplant plants (*Solanum melongena* L., 1753) grown in the Saratov region 159
- Zubekhina A. A., Korobko V. V., Dashtoyan Yu. V., Kalinina A. V.** The effect of osmotic stress on the growth and development of seedlings of introgressive lines of spring soft wheat 169
- Fomina T. I.** Intraspecific variability of *Hemerocallis minor* Mill. in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia 178
- Slesareva E. A., Melnikov E. Yu., Smolyakova D. S., Polikarpova N. V.** Patterns of post-juvenile and post-breeding molt of Reed Bunting (*Schoeniclus schoeniclus*) and Willow Warbler (*Phylloscopus trochilus*) at the Varlam Island Station (Murmansk region) 186
- Shilova I. V., Serova L. A., Petrova N. A.**
About the discovery of *Orobancha kelleri* Novopokr. (Orobanchaceae) in the Saratov region 196

Ecology

- Pleshakova E. V., Glinskaya E. V., Korobeynikova A. S., Golubev D. M., Kazakulov E. D., Reshetnikov M. V.**
Ecological and functional properties of hydrocarbon-oxidizing bacteria isolated from the soils of Kogalym city 208
- Donskikh O. Yu., Anikin V. V.** Comparative characteristics of the faunal complexes of Orthoptera (Insecta: Orthoptera) in the steppe and forest-steppe zones of the Right Bank of the Saratov region 217
- Ardabieva A. G., Zimina T. N.** Floristic diversity and quantitative indicators of phytoplankton of the indigenous channel of the Volga River in summer 228



**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ. СЕРИЯ:
ХИМИЯ. БИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ»**

Главный редактор

Горячева Ирина Юрьевна, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)

Заместитель главного редактора

Коннова Светлана Анатольевна, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Ответственный секретарь

Глинская Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент (Саратов, Россия)

Члены редакционной коллегии:

Аникин Василий Викторович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Берберова Надежда Титовна, доктор химических наук, профессор (Астрахань, Россия)

Богатырев Владимир Александрович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Гаркушин Иван Кириллович, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, действительный член РАЕН (Самара, Россия)

Горбунов Олег Григорьевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (Москва, Россия)

Гулий Ольга Ивановна, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник (Саратов, Россия)

Дубатолов Владимир Викторович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (Новосибирск, Россия)

Дыкман Лев Абрамович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (Саратов, Россия)

Егорова Алевтина Юрьевна, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия),

Ерошенко Галина Александровна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник (Саратов, Россия)

Захаров Владимир Михайлович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Москва, Россия)

Кашин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Кулагин Алексей Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Башкортостан, академик РАЕН (Уфа, Россия)

Кулиш Елена Ивановна, доктор химических наук, доцент (Уфа, Россия)

Ларионова Дарья Анатольевна, кандидат химических наук (Гент, Бельгия)

Максимов Георгий Владимирович, доктор биологических наук, профессор (Москва, Россия)

Мисра Прадумна Кумар, PhD (Бхопал, Индия)

Монахова Юлия Борисовна, доктор химических наук (Аахен, Германия)

Мостовский Михаил Борисович, доктор биологических наук (Тель-Авив, Израиль; Питермаритцбург, ЮАР)

Опарин Михаил Львович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Позднякова Наталия Николаевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (Саратов, Россия)

Ревин Виктор Васильевич, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)

Шанцер Иван Алексеевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник (Москва, Россия)

Шиповская Анна Борисовна, доктор химических наук, доцент (Саратов, Россия)

Шихалиев Хидмет Сафарович, доктор химических наук, профессор (Воронеж, Россия)

Штыков Сергей Николаевич, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, действительный член РАЕН (Саратов, Россия)

Щеголев Сергей Юрьевич, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия),

Юдакова Ольга Ивановна, доктор биологических наук, доцент (Саратов, Россия)

**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL
"IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY.
CHEMISTRY. BIOLOGY. ECOLOGY"**

Editor-in-Chief – Irina Yu. Goryacheva (Saratov, Russia)

Deputy Editor-in-Chief – Svetlana A. Konnova (Saratov, Russia)

Executive Secretary – Elena V. Glinskay (Saratov, Russia)

Members of the Editorial Board:

Vasilii V. Anikin (Saratov, Russia)

Nadezhda T. Berberova (Astrakhan, Russia)

Vladimir A. Bogatyrev (Saratov, Russia)

Ivan K. Garkushin (Samara, Russia)

Oleg G. Gorbunov (Moscow, Russia)

Olga I. Guliy (Saratov, Russia)

Vladimir V. Dubatolov (Novosibirsk, Russia)

Lev A. Dykman (Saratov, Russia)

Alevtina Yu. Egorova (Saratov, Russia)

Galina A. Eroshenko (Saratov, Russia)

Alexandr S. Kashin (Saratov, Russia)

Alexey Yu. Kulagin (Ufa, Russia)

Elena I. Kulish (Ufa, Russia)

Dariya A. Larionova (Ghent, Belgium)

Georgy V. Maksimov (Moscow, Russia)

Pradyumna Kumar Mishra (Bhopal, India)

Yuliya B. Monakhova (Aachen, Germany)

Mikhail B. Mostovski (Tel Aviv, Israel;

Pietermaritzburg, South African Republic)

Michail L. Oparin (Saratov, Russia)

Natalia N. Pozdnyakova (Saratov, Russia)

Viktor V. Revin (Saransk, Russia)

Ivan A. Shanzer (Moscow, Russia)

Anna B. Shipovskaya (Saratov, Russia)

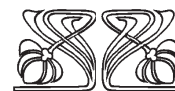
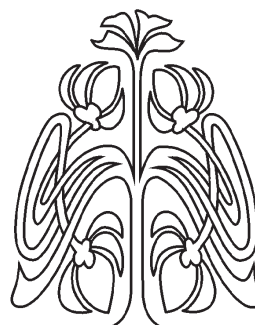
Khidmet S. Shikhaliev (Voronezh, Russia)

Sergey N. Shtykov (Saratov, Russia)

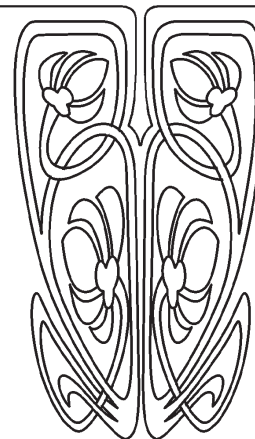
Sergey Ju. Shchyogolev (Saratov, Russia)

Olga I. Yudakova (Saratov, Russia)

Vladimir M. Zakharov (Moscow, Russia)

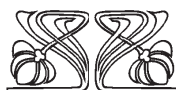
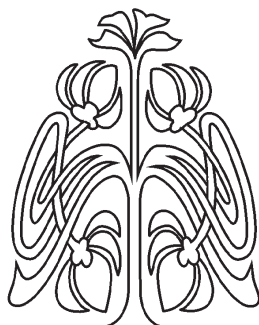


**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

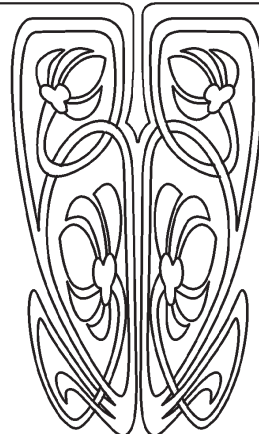




ХИМИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 120–125

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 120–125

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-120-125>

EDN: APUSLE

Научная статья

УДК 547.816:547.831.8

Рециклизация замещенных аминохроменкарбонитрилов под действием иода. Синтез оксохинолинкарбонитрилов

А. В. Никулин¹✉, Ю. А. Фомина², А. П. Кривенько¹

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Большая Казачья, д. 112

Никулин Александр Владиславович, аспирант кафедры органической и биоорганической химии Института химии, aleksander.ni2013@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2123-4960>

Фомина Юлия Андреевна, кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой общей, биоорганической и фармацевтической химии, fominaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7852-0333>

Кривенько Адель Павловна, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры органической и биоорганической химии Института химии, krivenko@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3277-4556>

Аннотация. Осуществлен эффективный синтез гибридных систем, включающих в свой состав биогенный пиридоновый фрагмент и линейносвязанные (гет)арильные заместители, посредством O,N-рециклизации замещенных аминохроменкарбонитрилов под действием иода. Состав и строение вновь полученных 2-оксо-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрилов установлены с помощью элементного анализа и спектральных методов. Представлены и обсуждены вероятные схемы реакций.

Ключевые слова: O,N-рециклизация, 2-аминохромен-3-карбонитрилы, 2-оксохинолин-3-карбонитрилы, спектры

Для цитирования: Никулин А. В., Фомина Ю. А., Кривенько А. П. Рециклизация замещенных аминохроменкарбонитрилов под действием иода. Синтез оксохинолинкарбонитрилов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 120–125. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-120-125>, EDN: APUSLE

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**Recycling of substituted aminochromenecarbonitriles under the action of iodine.
Synthesis of oxoquinolinecarbonitriles**

A. V. Nikulin¹✉, Yu. A. Fomina², A. P. Krivenko¹

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia



²Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, 112 Bolshaya Kazachiya St., Saratov 410012, Russia

Alexandr V. Nikulin, aleksander.ni2013@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2123-4960>

Yulia A. Fomina, fominaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7852-0333>

Adel P. Krivenko, krivenko@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3277-4556>

Abstract. An effective synthesis of hybrid systems has been carried out, including a biogenic pyridone fragment and linearly bound (het)aryl substituents, by O,N-recycling of substituted aminochromencarbonitriles under the action of iodine. The composition and structure of the newly obtained 2-oxo-1,2,5,6,7,8-hexahydroquinoline-3-carbonitriles have been determined using elemental analysis and spectral methods. Possible reaction patterns are presented and discussed.

Keywords: O,N-recycling, 2-aminochromene-3-carbonitriles, 2-oxoquinoline-3-carbonitriles, spectra

For citation: Nikulin A. V., Fomina Yu. A., Krivenko A. P. Recycling of substituted aminochromencarbonitriles under the action of iodine. Synthesis of oxoquinolinecarbonitriles. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 120–125 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-120-125>, EDN: APUSLE

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Химия хинолин(пиридин)-3-карбонитрилов интенсивно и динамично развивается в последние годы, что обусловлено выявлением среди них соединений с разнообразными практически полезными свойствами и многочисленными возможностями их трансформации. К указанному ряду соединений относятся 2-оксохинолин(пиридин)-3-карбонитрилы, которые нашли свое применение в качестве биоактивных препаратов [1–4], фотоактивных материалов [5, 6], субстратов для синтеза сложных полициклических гетеросистем [1]. К настоящему времени химия оксохинолин(пиридин)карбонитрилов не исчерпала своих возможностей, и по-прежнему актуальным остается синтез новых представителей рассматриваемого ряда и поиск их практического применения.

Одним из эффективных способов синтеза родственнопостроенных 2-оксопиридин-3-карбонитрилов является O,N-рециклизация 2-аминопиран-3-карбонитрилов под действием молекулярного иода [4]. Отсутствие данных об аналогичной трансформации 2-аминокромен-3-карбонитрилов предопределило постановку наших исследований. Выбор частично насыщенных 4,8-С-замещенных 2-аминотетрагидро-4Н-хромен-3-карбонитрилов в качестве субстратов обусловлен предположением, согласно которому наличие конформационно гибкого алициклического фрагмента в молекуле способно увеличить проницаемость через клеточную мембрану и тем самым улучшить биодоступность [7]. Используемые 2-амино-5,6,7,8-тетрагидро-4Н-хромен-3-карбонитрилы были

получены нами ранее на основе доступных диарил(гетарил)метиленциклогексанонов и малонитрила [8].

Материалы и методы

Экспериментальная часть

Элементный анализ выполнен на СНNS-анализаторе Elementar Vario Micro cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия). ИК-спектры сняты на ИК-фурье-спектрометре ФСМ-1201 в таблетках КВг. Спектры ЯМР ¹H (400 МГц) и ¹³C (100 МГц) регистрировались на спектрометре Varian 400 (Varian, США) внутренний стандарт – ТМС. Контроль за ходом реакций осуществлялся методом ТСХ на пластинках Alugram® Sul G UV254 (Marcherey-Nagel GmbH & Co. KG, Германия), элюент гексан-этилацетат-хлороформ (2:2:1).

4-Арил(гетарил)-8-арил(гетарил)метилен-2-оксо-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрилы (2а-е). 0.59 Ммоль соответствующего 2-аминокромен-3-карбонитрила 1а-е и 20 мол.% молекулярного иода растворяли при нагревании в 15 мл этанола и кипятили 5–10 ч. По завершению реакции (мониторинг по ТСХ) реакционную массу заливали водой, выпавшие кристаллы отфильтровывали, промывали водно-спиртовым раствором и сушили на воздухе.

(Е)-8-Бензилиден-2-оксо-4-фенил-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрил (2а).

Выход 0,15 г (75 %). Желтые кристаллы, т. пл. 225–227 °С (этанол). ИК-спектр ν , см⁻¹: 3441, 1590 (NH-CO), 3024 (CH_{sp2}), 2933, 2858 (CH_{2sp3}), 2223 (CN), 1711 (C=O), 1641, 1601, 1492 (колеба-



ния пиридин. кольца), 967 ($\delta = \text{CH}_{\text{транс}}$). ЯМР ^1H , δ , м.д. (CDCl_3): 1.65–1.72 (м., H^5), 2.28–2.47 (м. H^7), 2.73–2.79 (м., H^6), 6.50 (с., =C-H), 7.11–7.56 (м., Ph), 12.56 (с., NH). Спектр HSQC ^1H - ^{13}C , (CDCl_3), δ , м.д.: 1.70/22.47 (H^5/C^5), 2.32/26.32 (H^7/C^7), 2.78/27.12 (H^6/C^6), 6.50/121.59 (=C-H/=C-H). Найдено, %: С 81,35; Н 5,32; N 7,99. $\text{C}_{23}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}$. Вычислено, %: С 81,63; Н 5,36; N 8,28.

(Е)-2-Оксо-4-(пиридин-3-ил)-8-(пиридин-3-илметилден)-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрил (2b).

Выход 0,16 г (80 %). Желтые кристаллы, т. пл. 171–174 °С (этанол). ИК-спектр ν , cm^{-1} : 3402, 1563 (NH-CO), 3028 (CH_{sp^2}), 2930, 2859 ($\text{CH}_2_{\text{sp}^3}$), 2218 (CN), 1734 (C=O), 1637, 1588, 1476 (колебания пиридин. кольца), 975 ($\delta = \text{CH}_{\text{транс}}$). ЯМР ^1H , δ , м.д. (d_6 -DMSO): 1.58–1.74 (м., H^5), 2.18–2.25 (м. H^7), 2.62–2.73 (м., H^6), 7.04 (с., =C-H), 6.99–8.70 (м., 3- Py), 12.26 (с., NH). Спектр HSQC ^1H - ^{13}C , (d_6 -DMSO), δ , м.д.: 1.65/22.98 (H^5/C^5), 2.21/26.41 (H^7/C^7), 2.68/27.09 (H^6/C^6), 7.04/118.87 (=C-H/=C-H). Найдено, %: С 74,67; Н 5,30; N 16,36. $\text{C}_{21}\text{H}_{16}\text{N}_4\text{O}$. Вычислено, %: С 74,10; Н 4,74; N 16,46.

(Е)-8-(3-Нитробензилден)-4-(3-нитрофенил)-2-оксо-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрил (2c).

Выход 0,22 г (88 %). Желтые кристаллы, т. пл. 178–180 °С (этанол). ИК-спектр ν , cm^{-1} : 3460, 1574 (NH-CO), 3038 (CH_{sp^2}), 2934, 2862 ($\text{CH}_2_{\text{sp}^3}$), 2221 (CN), 1722 (C=O), 1650, 1558, 1463 (колебания пиридин. кольца), 1528 ($\delta_{\text{ас}} \text{NO}_2$), 1349 ($\delta_{\text{с}} \text{NO}_2$), 997 ($\delta = \text{CH}_{\text{транс}}$). ЯМР ^1H , δ , м.д. (CDCl_3): 1.58–1.81 (м., H^5), 2.09–2.45 (м. H^7), 2.72–2.89 (м., H^6), 6.61 (с., =C-H), 7.47–8.67 (м., Ar), 12.15 (с., NH). Спектр HSQC ^1H - ^{13}C , (CDCl_3), δ , м.д.: 1.67/23.24 (H^5/C^5), 2.31/26.52 (H^7/C^7), 2.78/26.96 (H^6/C^6), 6.61/120.74 (=C-H/=C-H). Найдено, %: С 63,95; Н 3,32; N 13,49. $\text{C}_{23}\text{H}_{16}\text{N}_4\text{O}_5$. Вычислено, %: С 64,48; Н 3,76; N 13,08.

(Е)-8-(4-Нитробензилден)-4-(4-нитрофенил)-2-оксо-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрил (2d).

Выход 0,20 г (79 %). Коричневые кристаллы, т. пл. 198–200 °С (этанол). ИК-спектр ν , cm^{-1} : 3444, 1565 (NH-CO), 3027 (CH_{sp^2}), 2926, 2854 ($\text{CH}_2_{\text{sp}^3}$), 2219 (CN), 1732 (C=O), 1641, 1597, 1455 (колебания пиридин. кольца), 1518 ($\delta_{\text{ас}} \text{NO}_2$), 1344 ($\delta_{\text{с}} \text{NO}_2$), 993 ($\delta = \text{CH}_{\text{транс}}$). ЯМР ^1H , δ , м.д. (CDCl_3): 1.44–1.69 (м., H^5), 2.16–2.43 (м. H^7),

2.68–2.88 (м., H^6), 6.68 (с., =C-H), 7.10–9.39 (м., Ar), 12.53 (с., NH). Найдено, %: С 64,15; Н 4,24; N 12,63. $\text{C}_{23}\text{H}_{16}\text{N}_4\text{O}_5$. Вычислено, %: С 64,48; Н 3,76; N 13,08.

(Е)-8-(4-Метоксибензилден)-4-(4-метоксифенил)-2-оксо-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрил (2e).

Выход 0,18 г (76 %). Желтые кристаллы, т. пл. 195–198 °С. ИК-спектр ν , cm^{-1} : 3445, 1573 (NH-CO), 3031 (CH_{sp^2}), 2937, 2835 ($\text{CH}_2_{\text{sp}^3}$), 2221 (CN), 1726 (C=O), 1638, 1565, 1495 (колебания пиридин. кольца), 967 ($\delta = \text{CH}_{\text{транс}}$). ЯМР ^1H , δ , м.д. (CDCl_3): 1.63–1.87 (м., H^5), 2.20–2.37 (м. H^7), 2.68–2.94 (м., H^6), 3.82, 3.85 (с., CH_3O), 6.44 (с., =C-H), 6.85–8.11 (м., Ar), 12.73 (с., NH). Спектр HSQC ^1H - ^{13}C , (CDCl_3), δ , м.д.: 1.74/22.92 (H^5/C^5), 2.27/26.38 (H^7/C^7), 2.84/27.92 (H^6/C^6), 3.82/55.42 ($\text{CH}_3\text{O}/\text{CH}_3\text{O}$), 6.44/120.29 (=C-H/=C-H). Найдено, %: С 74,78; Н 5,21; N 7,49. $\text{C}_{25}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_3$. Вычислено, %: С 75,36; Н 5,57; N 7,03.

Результаты и их обсуждение

Известно, что под действием молекулярного иода 2-амино-4Н-пиран-3-карбонитрилы претерпевают O,N-рециклизацию в соответствующие 2-оксодигидропиридин-3-карбонитрилы, содержащие фармакофорный 2-пиридоновый фрагмент [4]. Однако в литературе отсутствуют сведения об аналогичных превращениях 2-аминотетрагидрохромен-3-карбонитрилов, содержащих конденсированное алициклическое кольцо [7]. В настоящей работе представлены данные по синтезу новых представителей ряда 2-оксохинолин-3-карбонитрилов посредством рециклизации 2-амино-4Н-хромен-3-карбонитрилов под действием иода. В качестве субстратов использованы 2-аминохромен-3-карбонитрилы **1a-1e**, содержащие фармакофорные (гетеро)ароматические заместители (фенил, 3-пиридил, 3(4)-нитрофенил, 4-метоксифенил), полученные ранее электрохимическим способом на основе 2,6-диарил(гетарил)метилденциклогексанонов и малонитрила [8].

Синтез оксохинолинкарбонитрилов проводился в течение 5–10 ч при кипячении хроменкарбонитрилов **1a-1e** в присутствии 20 мол.% иода в этаноле (рис. 1), что привело к образованию продуктов **2a-2e** с высокими выходами (75–88 %).

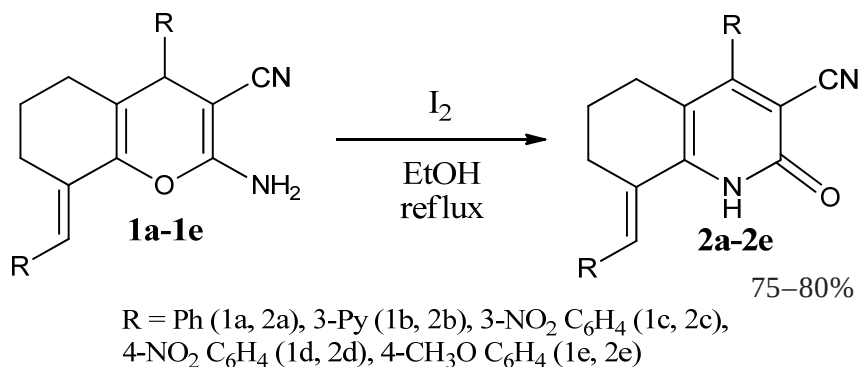


Рис. 1. Схема образования 2-оксохинолин-3-карбонитрилов 2a-e
 Fig. 1. Scheme of formation of 2-amino chromene-3-carbonitriles 2a-e

Следует отметить, что с несколько меньшей продолжительностью (5–6 ч) и более высокими выходами продуктов (80–88 %) протекали реакции для хроменов **1b-1d**, содержащих электроноакцепторные заместители (3-Пу, 3-NO₂ C₆H₄, 4-NO₂ C₆H₄).

Строение полученных соединений установлено данными ИК- и ЯМР-спектров. В ИК-спектрах соединений **2a-2e** присутствуют валентные (~ 3420 см⁻¹) и деформационные (~ 1560 см⁻¹) колебания амидного фрагмента, связи C≡N (~ 2200 см⁻¹), C=O (~ 1710 см⁻¹) при отсутствии полос валентных колебаний первичной аминогруппы. Внеплоскостные колебания илиденового фрагмента (~ 970 см⁻¹) свидетельствуют о транс-конфигурации. В

спектрах ЯМР ¹H появляется малоинтенсивный синглет протона NH в слабопольной области (~12.5 м.д.) и исчезают сигналы протонов H⁴ и NH₂, характерные для исходных аминокроменкарбонитрилов.

На основе полученных экспериментальных данных и литературных аналогий [4], вероятная схема реакций включает избирательную атаку реагента по наиболее активному реакционному центру – атому углерода бензильного типа C⁴ (не затрагивая иные возможные реакционные центры C⁵-C⁷), последующую реорганизацию интермедиата **A** в соль хромилия **B**, внутримолекулярную перегруппировку с образованием соли хинолиния **C** и далее 2-оксохинолин-3-карбонитрила (рис. 2).

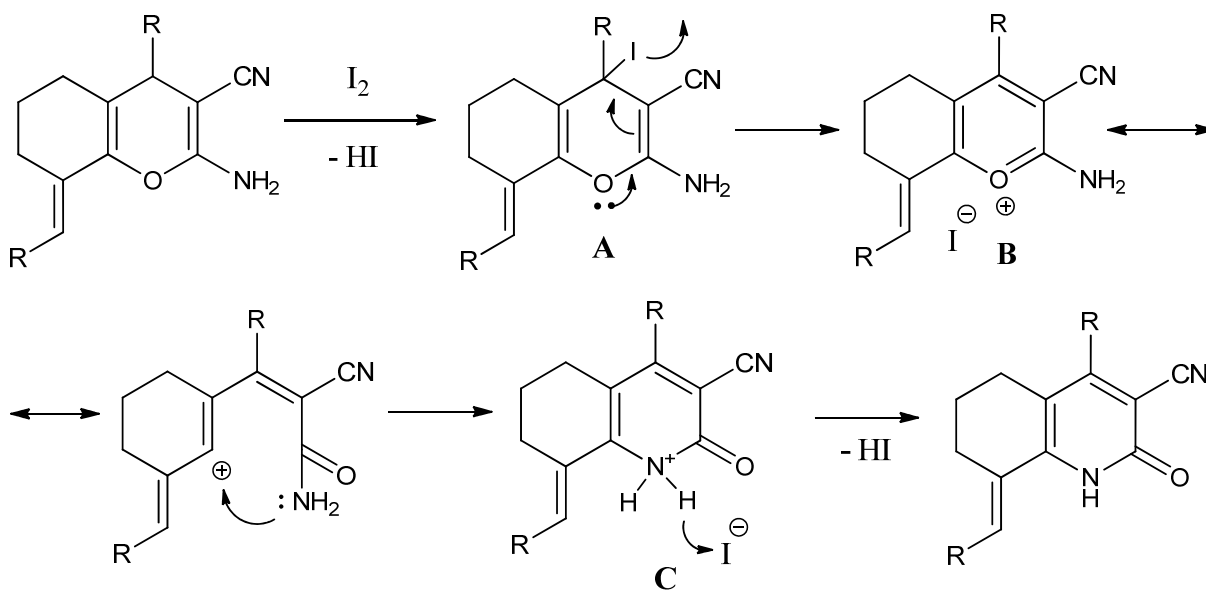


Рис. 2. Схема образования оксохинолинкарбонитрилов 2a-e
 Fig. 2. Scheme of formation of oxoquinolinecarbonitriles 2a-e



Наличие фармакофорных фрагментов и групп в составе вновь синтезированных веществ **2a-e** предопределяет постановку дальнейших исследований по изучению их биологической активности.

Заключение

Таким образом, O,N-рециклизация 4,8-С-замещенных 2-аминотетрагидро-4Н-хромен-3-карбонитрилов под действием иода является эффективным способом получения 2-оксо-1,2,5,6,7,8-гексагидрохинолин-3-карбонитрилов – перспективных объектов для изучения их биологической активности.

Список литературы

1. Faidallah H. M., Khan K. A., Asiri A. M. Synthesis of some new 2-oxo-1,4-disubstituted-1,2,5,6-tetrahydrobenzo[h]quinolone-3-carbonitriles and their biological evaluation as cytotoxic and antiviral agents // *J. Chem. Sci.* 2012. Vol. 124, № 3. P. 625–631. <https://doi.org/10.1007/s12039-011-0184-2>
2. Khan S. A., Asiri A. M., Basiri H. M., Asad M. E., Zayed M. E. M., Sharma K., Wani M. Y. Synthesis and evaluation of Quinoline-3-carbonitrile derivatives as potential antibacterial agents // *Bioorg. Chem.* 2019. Vol. 88. Art. 102968. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.102968>
3. Hernandez F., Sanchez A., Rendon-Vallejo P., Millan-Pacheco C., Aclaraz Y., Delgado F., Vazquez M. A., Estrada-Sato S. Synthesis ex vivo and in silico studies of 3-cyano-2-pyridone derivatives with vasorelaxant activity // *Eur. J. Med. Chem.* 2013. Vol. 70. P. 669–676. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.10.018>
4. Buduma K., Chinde S., Arigari N. K., Grover P., Srinivas K. V. N. S., Kumar J. K. Iodine catalyzed simple and efficient synthesis of antiproliferative 2-pyridones // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2016. Vol. 26, № 9. P. 2159–2163. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.03.071>
5. Enoua G. C., Uray G., Stadlbauer W. 3-Aryl-6-methoxy-2-oxo-1,2-dihydroquinoline-4-carbonitriles as solvent and pH Independent Green Fluorescent Dyes // *J. Heterocycl. Chem.* 2012. Vol. 49, № 6. P. 1415–1421. <https://doi.org/10.1002/jhet.1084>
6. Zayed M. E. M., Kumar P. Spectroscopic physico-chemical and photophysical investigation of biologically active 2-oxo-quinoline-3-carbonitrile derivative // *J. Fluoresc.* 2017. Vol. 27. P. 853–860. <https://doi.org/10.1007/s10895-016-2021-y>
7. Romines K. R., Watenpaugh K. D., Tomich P. K., Howe W. J., Morris J. K., Lovasz K. D., Mulichak A. M., Finze1 B. C., Lynn J. C., Horng M.-M., Schwende F. J.,

Ruwart M. J., Zipp G. L., Chong K.-T., Dolak L. A., Toth L. N., Howard G. M., Rush B. D., Wilkinson K. F., Possert P. L., Dalga R. J., Hinshaw R. R. Use of medium-sized cycloalkyl rings to enhance secondary binding: Discovery of a new class of human immunodeficiency virus (HIV) protease inhibitors // *J. Med. Chem.* 1995. Vol. 38, № 11. P. 1884–1891. <https://doi.org/10.1021/jm00011a008>

8. Никулин А. В., Бурашикова М. М., Василькова Н. О., Кривенько А. П. Электрохимический синтез замещенных 2-амино-4Н-хромен-3-карбонитрилов на основе кросс-сопряженных диеноновых производных циклогексана и малонитрила // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология.* 2024. Т. 24, вып. 3. С. 240–248. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-3-240-248>, EDN: BBSFUK

References

1. Faidallah H. M., Khan K. A., Asiri A. M. Synthesis of some new 2-oxo-1,4-disubstituted-1,2,5,6-tetrahydrobenzo[h]quinolone-3-carbonitriles and their biological evaluation as cytotoxic and antiviral agents. *J. Chem. Sci.*, 2012, vol. 124, no. 3, pp. 625–631. <https://doi.org/10.1007/s12039-011-0184-2>
2. Khan S. A., Asiri A. M., Basiri H. M., Asad M. E., Zayed M. E. M., Sharma K., Wani M. Y. Synthesis and evaluation of Quinoline-3-carbonitrile derivatives as potential antibacterial agents. *Bioorg. Chem.*, 2019, vol. 88, art. 102968. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.102968>
3. Hernandez F., Sanchez A., Rendon-Vallejo P., Millan-Pacheco C., Aclaraz Y., Delgado F., Vazquez M. A., Estrada-Sato S. Synthesis ex vivo and in silico studies of 3-cyano-2-pyridone derivatives with vasorelaxant activity. *Eur. J. Med. Chem.*, 2013, vol. 70, pp. 669–676. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.10.018>
4. Buduma K., Chinde S., Arigari N. K., Grover P., Srinivas K. V. N. S., Kumar J. K. Iodine catalyzed simple and efficient synthesis of antiproliferative 2-pyridones. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 2016, vol. 26, no. 9, pp. 2159–2163. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.03.071>
5. Enoua G. C., Uray G., Stadlbauer W. 3-Aryl-6-methoxy-2-oxo-1,2-dihydroquinoline-4-carbonitriles as solvent and pH Independent Green Fluorescent Dyes. *J. Heterocycl. Chem.*, 2012, vol. 49, no. 6, pp. 1415–1421. <https://doi.org/10.1002/jhet.1084>
6. Zayed M. E. M., Kumar P. Spectroscopic physico-chemical and photophysical investigation of biologically active 2-oxo-quinoline-3-carbonitrile derivative. *J. Fluoresc.*, 2017, vol. 27, pp. 853–860. <https://doi.org/10.1007/s10895-016-2021-y>
7. Romines K. R., Watenpaugh K. D., Tomich P. K., Howe W. J., Morris J. K., Lovasz K. D., Mulichak A. M., Finze1 B. C., Lynn J. C., Horng M.-M., Schwende F. J.,



- Ruwart M. J., Zipp G. L., Chong K.-T., Dolak L. A., Toth L. N., Howard G. M., Rush B. D., Wilkinson K. F., Possert P. L., Dalga R. J., Hinshaw R. R. Use of medium-sized cycloalkyl rings to enhance secondary binding: Discovery of a new class of human immunodeficiency virus (HIV) protease inhibitors. *J. Med. Chem.*, 1995, vol. 38, no. 11, pp. 1884–1891. <https://doi.org/10.1021/jm00011a008>
8. Nikulin A. V., Burashnikova M. M., Vasilkova N. O., Krivenko A. P. Electrochemical synthesis of substituted 2-amino-4H-chromen-3-carbonitriles based on cross-conjugated dienone derivatives of cyclohexane and malononitrile. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2024, vol. 24, iss. 3, pp. 240–248 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-3-240-248>, EDN: BBSFUK

Поступила в редакцию 12.02.2026; одобрена после рецензирования 20.02.2026; принята к публикации 27.02.2026
The article was submitted 12.02.2026; approved after reviewing 20.02.2026; accepted for publication 27.02.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 126–138

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 126–138

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-126-138>, EDN: BUDHDZ

Научная статья

УДК 661.471.64



Ценные компоненты минерализованных вод Чеченской Республики: перспективы извлечения

М. Ш. Минцаев¹, А. В. Лужецкий¹, А. А. Шаипов¹, М. Г. Зимина², Т. Ю. Русанова²,
М. Н. Басханова¹, Д. Г. Черкасов² ✉

¹Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова, Россия, Чеченская Республика, 364051, г. Грозный, пр-т им. Х. А. Исаева, д. 100

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Минцаев Магомед Шавалович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ректор, ranas@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8388-4862>

Лужецкий Андрей Вячеславович, кандидат технических наук, руководитель ПИШ «РосГеоТех», luzhetskiy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0145-3509>

Шаипов Арби Ахамдиевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной геологии, a.shaipov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8376-7105>

Зимина Марина Геннадьевна, руководитель центра «Газпромнефть-СГУ», emzimsar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1268-7921>

Русанова Татьяна Юрьевна, доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой аналитической химии и химической экологии Института химии, tatyanaarys@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5902-3707>

Басханова Марьям Назарбековна, кандидат химических наук, заведующая исследовательской лабораторией грунтов и экологического мониторинга НТЦКП «Недра», marema@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7873-1207>

Черкасов Дмитрий Геннадиевич, доктор химических наук, профессор кафедры общей и неорганической химии Института химии, dgcherkasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6862-1917>

Аннотация. Цель исследования состояла в оценке возможности использования подземных вод Чеченской Республики для извлечения ценных элементов и их соединений на основе анализа полученных составов минерализованных вод. Предварительно проведен литературный обзор важнейших физико-химических свойств лития, стронция, брома, иода, бора и их важнейших соединений, способов их получения, нахождения в природе (в том числе в гидроминеральном сырье), методов извлечения из различных источников, включая минерализованные воды. Установлены физико-химические свойства и определен химический состав 22 образцов, большая часть которых была предоставлена из обводненных нефтяных скважин с территории Чеченской Республики. Найдены значения кислотности, плотности, сухого остатка, определены концентрации катионов лития, натрия, калия, кальция, магния, железа, гидрокарбонат-, хлорид-, сульфат-, иод- и бромид-ионов, содержание бора, установлен тип воды по В. А. Сулину. На основе анализа полученных экспериментальных данных выявлены шесть наиболее перспективных образцов, в которых найдены концентрации иода, брома и лития выше установленных минимальных концентраций для промышленного извлечения. Наибольший интерес для дальнейшего изучения и использования представляли три образца с содержанием иодид-ионов в интервале 36–42 мг/л, что существенно выше средних значений по содержанию этого элемента в минерализованных водах. Проведен обзор химико-технологических решений для извлечения соединений ценных элементов на основе литературных данных и анализа изученных составов минерализованных вод.

Ключевые слова: химический состав, обводненные нефтяные скважины (залези), гидроминеральное сырье, ценные компоненты, литий, бром, иод, бор

Для цитирования: Минцаев М. Ш., Лужецкий А. В., Шаипов А. А., Зимина М. Г., Русанова Т. Ю., Басханова М. Н., Черкасов Д. Г. Ценные компоненты минерализованных вод Чеченской Республики: перспективы извлечения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 126–138. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-126-138>, EDN: BUDHDZ
Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Valuable components of mineralized waters of the Chechen Republic: Extraction prospects

M. Sh. Mintsaeв¹, A. V. Luzhetsky¹, A. A. Shaipov¹, M. G. Zimina², T. Yu. Rusanova², M. N. Baskhanova¹, D. G. Cherkasov² ✉

¹Grozny State Petroleum Technological University, 100 Ave. named after Kh. A. Isaev, Grozny 364051, Chechen Republic, Russia

²Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

© Минцаев М. Ш., Лужецкий А. В., Шаипов А. А., Зимина М. Г.,
Русанова Т. Ю., Басханова М. Н., Черкасов Д. Г., 2026



Magomed Sh. Mintsaeв, ranas@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8388-4862>

Andrey V. Luzhetsky, luzhetskiy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0145-3509>

Arbi A. Shaipov, a.shaipov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8376-7105>

Marina G. Zimina, emzimsar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1268-7921>

Tatyana Yu. Rusanova, tatyanyars@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5902-3707>

Mariam N. Baskhanova, marema_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7873-1207>

Dmitry G. Cherkasov, dgcherkasov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6862-1917>

Abstract. The objective of the study was to assess the feasibility of using groundwater in the Chechen Republic for the extraction of valuable elements and their compounds based on an analysis of the obtained mineralized water compositions. A preliminary literature review has been conducted on the most important physicochemical properties of lithium, strontium, bromine, iodine, boron, and their most important compounds, methods for their production, occurrence in nature (including in hydromineral raw materials), and methods of extraction from various sources, including mineralized waters. The physicochemical properties and chemical composition of 22 samples, most of which have been obtained from flooded oil wells in the Chechen Republic, have been determined. The acidity, density, and dry residue values have been determined, as well as the concentrations of lithium, sodium, potassium, calcium, magnesium, and iron cations, as well as bicarbonate, chloride, sulfate, iodine, and bromide ions and boron content have been defined, and the water type was determined according to V. A. Sulin. Based on an analysis of the obtained experimental data, six of the most promising samples have been identified, containing iodine, bromine, and lithium concentrations above the established minimum concentrations for industrial extraction. Three samples, with iodide ion contents in the range of 36–42 mg/L, were of greatest interest for further study and use, significantly exceeding the average concentration of this element in mineralized waters. A review of chemical and technological solutions for extracting valuable element compounds has been conducted based on literature data and analysis of the studied mineralized water compositions.

Keywords: chemical composition, flooded oil wells (deposits), hydromineral raw materials, valuable components, lithium, bromine, iodine, boron

For citation: Mintsaeв M. Sh., Luzhetsky A. V., Shaipov A. A., Zimina M. G., Rusanova T. Yu., Baskhanova M. N., Cherkasov D. G. Valuable components of mineralized waters of the Chechen Republic: Extraction prospects. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 126–138 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-126-138>, EDN: BUDHDZ

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Интерес к использованию высокоминерализованных подземных вод в качестве гидроминерального сырья (ГМС) для извлечения ценных компонентов растет с каждым годом. Этому способствует не только дефицит некоторых редких и рассеянных промышленно важных элементов (например, брома, иода, лития, рубидия, цезия), но и ряд неоспоримых экологических, экономических и технологических преимуществ этого подхода. Извлечение ценных компонентов ГМС позволяет снизить нагрузку на окружающую среду, минимизировать образование отходов и сохранить природные запасы традиционных месторождений. Ресурсосберегающие технологии обеспечивают значительную экономическую выгоду за счет снижения затрат на добычу первичного сырья и возможность комплексной переработки и получения нескольких товарных продуктов одновременно. Технологические преимущества на основе современных методов переработки ГМС заключаются в возможности достичь высокой степени извлечения ценных элементов, использовать малоотходные автоматизированные технологии и контролировать качество продукции.

Масштаб рассматриваемой проблемы охватывает национальный уровень, поскольку потенциал ГМС сосредоточен не только в регионах с развитой геотермальной энергетикой (Камчатка, Сахалин, Дагестан [1–6], Крым, Чеченская Республика), но и в многочисленных нефтедобывающих регионах, находящихся на завершающей стадии разработки нефтяных месторождений (Чеченская Республика, Татарстан, Башкортостан, Коми и др.). Наиболее перспективными на данном этапе для освоения являются воды высокоминерализованных геотермальных месторождений и обводненных нефтяных скважин (залелей) Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (ВПАБ), поскольку регион имеет развитую инфраструктуру в отличие от районов Сибири и Дальнего Востока. При комплексном использовании эти воды могут служить сырьевой базой для извлечения брома и иода, а также других ценных компонентов. На территории ВПАБ на глубинах 3000–5500 м выявлено 92 площади с перспективными промышленными водами, из которых 55 находятся на территории Дагестана, 29 – в Ставропольском крае и 8 – в Чеченской Республике [7–10].



Известно, что Чеченская Республика обладает уникальными минерально-сырьевыми ресурсами, в частности большими разведанными запасами геотермальных подземных вод, богатых ценными компонентами [11, 12]. Первые систематические исследования состава попутных минерализованных вод, проведенные на территории Старо- и Новогрозненского районов в 20–30-х гг. XX в., показали наличие в них таких ценных элементов, как бром и йод [13, 14]. Йод обнаружен в промышленных концентрациях до 53 мг/л. В СССР в 1969 г. были установлены условные минимальные концентрации йода для промышленного извлечения, различающиеся в зависимости от количества компонентов в воде. Однокомпонентные воды: йод – 18 мг/л, двухкомпонентные иодо-бромные воды: йод – 10 мг/л, бром – 200 мг/л [15]. В дальнейшем выработаны критерии установления месторождений подземных вод, представляющих практический интерес для добычи полезных компонентов, и методы оценки их эксплуатационных запасов. Они включают совокупность геологических, гидрогеологических, технических и экономических факторов, на основе которых для каждого месторождения устанавливаются и подтверждаются конкретные кондиции содержания полезных компонентов, которые подлежат извлечению.

Исследования последних лет по определению состава попутных нефтяных и геотермальных вод подтвердили ранее сделанные выводы о перспективах региона для извлечения не только йода и брома [16]. Известно также, что они содержат ряд других ценных компонентов, например, литий, бор, кремний [17–19]. Кроме того, по микроэлементному и элементному составу некоторые термальные воды вполне пригодны для бальнеологического использования [20, 21].

На территории Чеченской Республики располагаются более 1000 обводнённых нефтяных скважин, потенциал которых для комплексного извлечения ценных элементов еще предстоит раскрыть. Цель работы состояла в проведении физико-химических исследований минерализованных вод ряда обводнённых нефтяных скважин, расположенных на территории Чеченской Республики, для оценки перспектив их использования для извлечения

ценных компонентов с предварительным выбором химико-технологических подходов.

Предварительно выполнен аналитический литературный обзор важнейших физико-химических свойств лития, стронция, брома, йода, бора и их промышленно важных соединений, способов их получения, нахождения и форм этих элементов в природе (в том числе в гидро-минеральном сырье). Подробно проработаны методы извлечения соединений указанных элементов, включая выполненный патентный поиск по их извлечению из различных природных источников с акцентом на гидро-минеральное сырье.

Материалы и методы

Образцы минерализованной воды проходили предварительную водоподготовку. Нерастворимые нефтепродукты вначале отделяли на делительной воронке. Окончательное удаление эмульсии нефтепродуктов и взвешенных частиц проводили фильтрованием через обеззоленный фильтр для анализов «Желтая лента» (ТУ 2642-001-68085491-2011, производитель ООО «Мелиор XXI»).

Химический состав подготовленных образцов и некоторые их физико-химические свойства определяли по методикам, описанным в нормативных документах с использованием поверенного оборудования (табл. 1). Измерения выполняли в лабораториях Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М. Д. Миллионщикова и Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского (Институт химии).

Результаты и их обсуждение

В табл. 2 представлены сведения о глубине пласта и температуре воды при отборе из них проб минерализованной воды из источников на территории Чеченской Республики. Образцы под номерами 1–18, 21 и 22 получены из обводнённых нефтяных скважин. Образец 19 отбирали из артезианской скважины. Образец 20 представлял собой родниковую воду. В табл. 3 и 4 приведены ряд физико-химических свойств и химический состав образцов минерализованной воды.



Таблица 1 / Table 1

Нормативные документы на определяемые параметры проб минерализованной воды и используемое оборудование

Regulatory documents on the determined parameters of mineralized water samples and the equipment used

№	Определяемый параметр / The parameter being defined	Ед. изм. / Units of measurement	Нормативный документ на метод выполнения измерений / Regulatory document on the measurement method	Оборудование / Equipment
1	рН	ед. рН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 [22]	рН-метр рХ-150МИ («Измерительная техника», Россия)
2	Плотность	г/см ³	ГОСТ 18995.1-73 [23] (СТ СЭВ 1504-79)	–
3	Сухой остаток	г/л	ПНД Ф 14.1:2:4.114-97 [24]	Сушильный шкаф ES-4610 («ЭКРОСХИМ», Россия)
4	Кальций	мг/л	РД 52.24.403-2018 [25]	–
5	Магний	мг/л	–	–
6	Жесткость	ммоль-экв /л	РД 52.24.395-2017 [26]	–
7	Литий	мг/л	ГОСТ 23268.6-78 [27] ГОСТ 23268.7-78 [28] ПНД Ф 14.1:2:4.138-98 [29]	Фотометр пламенный ВВВ-ХР (ВВВ Technologies, Великобритания)
8	Натрий	мг/л	ГОСТ 23268.6-78 [27] ГОСТ 23268.7-78 [27] ПНД Ф 14.1:2:4.138-98 [29]	Фотометр пламенный ВВВ-ХР (ВВВ Technologies, Великобритания)
9	Калий	мг/л	ГОСТ 23268.6-78 [27] ГОСТ 23268.7-78 [27] ПНД Ф 14.1:2:4.138-98 [29]	Фотометр пламенный ВВВ-ХР (ВВВ Technologies, Великобритания)
10	Железо	мг/л	ГОСТ 4011-72 [30]	Спектрофотометр В-1100 (Эковью, Китай)
11	Сульфат-ионы	мг/л	ПНД Ф 14.1:2.159-2000 [31]	Фотометр фотоэлектрический КФК-3-01(АО «ЗОМЗ», Россия)
12	Гидрокарбонаты-ионы	мг/л	ГОСТ 31957 (п. 5.4.1, п. 5.4.2, п.5.5.5) [32]	–
13	Хлорид-ионы	мг/л	ПНД Ф 14.1:2:3.96-97[33]	–
14	Бромид-ионы	мг/л	ГОСТ 23268.15-78 [34]	–
15	Иодид-ион	мг/л	ГОСТ 23268.16-78 [35]	–
16	Бор (борат-ионы)	мг/л	ГОСТ 31949-2012 [36]	Спектрофлуориметр СМ 2203 («SOLAR», Республика Беларусь)

На основе анализа полученных данных по составам изученных образцов можно сделать вывод, что некоторые из них при определенных условиях можно рассматривать как гидроминеральное сырье для извлечения лития, брома и иода. Согласно установленным условным минимальным концентрациям [15] иода и брома (однокомпонентные воды, мг/л: йод – 18, бром – 250, двухкомпонентные иодо-бромные

воды: йод – 10, бром – 200), к однокомпонентной иодной воде можно отнести образец 4, к двухкомпонентным иодо-бромные водам можно отнести образцы с номерами 5, 6, 14, 15 и 16 (см. табл. 4). Практический интерес особенно представляют образцы 4, 5 и 6, в которых обнаружено содержание иода, в концентрациях намного превышающих его средние значения в гидроминеральном сырье (18–22 мг/л).



Таблица 2 / Table 2

Сведения об отборе проб минерализованной воды
Information on sampling of mineralized water

№ образца / Sample number	Пласт / Formation	Глубина, м / Depth, m	t° воды при отборе, °C / Water temperature during sampling, °C	Дата отбора / Date of sampling
1	K ₂	4484	98	22.08.2025
2	K ₂	4753,5	83	22.08.2025
3	K ₂	5033	96	22.08.2025
4	K ₂	5295	95.5	25.08.2025
5	K ₂	5150	96	25.08.2025
6	K ₂	4753,5	95	25.08.2025
7	N ₁ kg-č	425	22	27.08.2025
8	N ₁ kg-č	980	19	27.08.2025
9	N ₁ kg-č	823	29	27.08.2025
10	N ₁ kg-č	2036	20	27.08.2025
11	N ₁ kg-č	370	27	28.08.2025
12	N ₁ kg-č	120	19.5	28.08.2025
13	K ₁	4660	55.2	29.08.2025
14	K ₁	4640	71°C	29.08.2025
15	K ₁	4528	75.8	29.08.2025
16	K ₁	3778,5	70.5	29.08.2025
17	J ₃	–	20.5	30.08.2025
18	J ₃	3350	20.5	30.08.2025
19	Артезианская скважина	98	11.1	30.08.2025
20	Родник	–	11.2	30.08.2025
21	K ₂	4353	90.3	01.09.2025
22	K ₂	4211	93.1	01.09.2025

Полученные результаты можно считать закономерными для таких глубин и температур скважин [37, 38]. При благоприятных геологических, гидрогеологических, технических и экономических факторах гидроминеральное сырье этих скважин можно рассматривать как весьма перспективное для промышленного извлечения молекулярного иода и его соединений. В качестве удобного и самого дешевого метода извлечения иода можно рассматривать воздушно-десорбционный с последующим поглощением

иодо-воздушной смеси ионитами или химическими реагентами с щелочными или восстановительными свойствами. Использованию именно этого метода извлечения благоприятствуют следующие свойства гидроминерального сырья из скважин Чеченской Республики (образцы 4–6):
– высокая температура воды из скважины (95–96°C, см. табл. 2), благодаря которой достигается значительное давление пара иода над раствором и пониженный расход воздуха для десорбции;



Таблица 3 / Table 3

Химический состав и некоторые физико-химические свойства образцов минерализованной воды
Chemical composition and some physicochemical properties of mineralized water samples

№ образца Sample number	Гидрокарбонаты, мг/л Hydrocarbonates, mg/l	pH	Сухой остаток, г/л Dry residue, g/l	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Жесткость, ммоль-экв/л Hardness, mmol-eq/l	Тип воды по В. А. Сулину Water type according to V. A. Sulin
1	1233	7.99	8.8	1.006	8.25	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
2	1815	7.96	12.4	1.007	4.55	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
3	1220	7.79	10.4	1.007	5.5	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
4	506	7.02	67.2	1.0224	81.5	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
5	502	6.97	59.6	0.960	82.5	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
6	473	6.95	30.4	0.960	64.5	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
7	3545	7.05	4.8	1.004	5.70	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
8	–	7.29	12	0.948	10.5	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
9	2367	7.01	6.4	1.005	14.5	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
10	1141	6.93	20	0.936	55.0	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
11	–	7.47	14	1.010	22.2	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
12	1785	7.02	2.4	1.002	6.75	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
13	1455	7.64	1.4	1.009	6.40	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate



Окончание таблицы 3 / Continuation of the Table 3

№ образца Sample number	Гидрокарбонаты, мг/л Hydrocarbonates, mg/l	pH	Сухой остаток, г/л Dry residue, g/l	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Жесткость, ммоль-экв/л Hardness, mmol-eq/l	Тип воды по В. А. Сулину Water type according to V. A. Sulin
14	1220	7.59	19.2	1.013	10.6	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
15	647	7.31	57.2	1.223	30.4	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
16	445	6.85	51.6	1.032	123	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
17	610	6.86	48	1.011	227	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
18	284	7.32	8.8	1.006	43.0	Хлормагниевый Chloromagnesium
19	366	7.15	0.4	1.003	19.8	Сульфатно-натриевый Sodium sulfate
20	372	7.26	0.8	1.002	18.1	Сульфатно-натриевый Sodium sulfate
21	918	7.62	9.2	1.006	5.25	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate
22	845	7.94	6	1.004	2.50	Гидрокарбонатно-натриевый Sodium bicarbonate



Таблица 4 / Table 4

Химический состав образцов минерализованной воды
Chemical composition of mineralized water samples

№	Иодид-ионы, мг/л Iodide ions, mg/l	Бромид-ионы, мг/л Bromide ions, mg/l	Железо, мг/л Iron, mg/l	Li ⁺ , мг/л Li ⁺ , mg/l	K ⁺ , мг/л K ⁺ , mg/l	Na ⁺ , г/л Na ⁺ , g/l	K+Na, ммоль-экв/л K+Na, mmol-eq/l	Бор, мг/л Boron, mg/l	Кальций, мг/л Calcium, mg/l	Магний, мг/л Magnesium, mg/l	Хлорид-ионы, г/л Chloride ions, g/l	Сульфат-ионы, мг/л Sulfate ions, mg/l
1	6.8±0,2	165 ± 11	1.20±0.03	4.1	47	2.11	555	48	-	100	2.46	460
2	3.5±0,6	159 ± 4	1.26±0.06	5.5	146	3.18	588	70	-	55	5.01	59
3	6.7±0,3	179 ± 4	2.21±0.09	4.8	108	2.97	568	95	200	0.36	3.64	569
4	36.4±1.1	186 ± 6	0.29±0.03	20	288	10.68	1192	123	1172	279	16.0	391
5	39±3	219 ± 10	0.45±0.06	21	308	14.76	867	101	1202	273	14.9	340
6	42±2	228 ± 11	0.21±0.03	21	264	10.54	489	67	982	188	16.0	514
7	1.3±0,1	155 ± 4	0.92±0.03	1.2	29	1.39	527	15	-	69	3.58	3152
8	5.1±0,2	151 ± 4	0.44±0.03	2.1	30	3.38	618	16	251	6.2	3.46	3431
9	3.2±0,6	170 ± 12	0.59±0.03	1.2	16	1.97	496	6.7	389	2.3	2.43	1722
10	15.7±1,1	170 ± 10	0.25±0.03	3.5	40	5.94	549	21	501	364	8.87	52
11	6.1±0,6	155 ± 7	3.03±0.06	2.2	18	4.42	644	15	168	168	3.60	3901
12	не обнаруж.	128 ± 3	1.46±0.06	1.0	30	0.53	483	0.5	63	44	1.86	1449
13	6.6±0,6	164 ± 12	0.29±0.06	7.4	93	3.61	484	59	107	13	5.65	129
14	11.8±0.5	205 ± 7	0.82±0.03	9.0	192	5.57	697	63	73	84	8.10	207
15	13.5±0.4	224 ± 7	0.28±0.09	15	257	9.24	822	68	433	107	9.95	53
16	12.7±0.6	223 ± 4	0.33±0.03	23	560	14.95	969	72	2591	0.24	22.1	372
17	2.0±0,3	145 ± 11	0.22±0.03	5.5	35	23.4	1019	2.4	2946	972	20.0	3260
18	3.1±0,6	141 ± 9	0.09±0.03	1.3	20	2.45	0.60	0.3	573	175	4.29	409
19	1.6±0,2	127 ± 5	0.07±0.03	0.2	2.8	0.0	0.52	0.05	240	95	0.002	51
20	8.3±0,6	133 ± 8	0.08±0.03	0.2	2.2	10.6	565	0.1	222	85	0.008	53
21	8.5±0,3	176 ± 10	2.1±0.3	4.1	83	12.9	525	42	86	124	4.02	476
22	5.1±1,1	153 ± 3	0.08±0.00	3.2	97	12.0	107	4.9	40	6.1	2.23	493



– относительно высокая кислотность (см. табл. 3) с пониженным содержанием гидрокарбонатов благоприятны для минимального подкисления минерализованной воды или же позволит его вовсе избежать;

– невысокие концентрации нефтепродуктов облегчат проведение стадии предварительной очистки.

Выбор конкретных условий проведения окисления иодид-ионов в молекулярный иод, а именно степень подкисления раствора, выбор типа и концентрации окислителя, расход воздуха, температуру проведения десорбции, будет сделан при дальнейших исследованиях образцов.

Образцы ГМС из скважин (образцы 5, 6, 14–16) можно рассматривать как перспективные для комплексной переработки с целью извлечения не только иода, но и брома, содержание которого в указанных образцах незначительно превышает условную минимальную концентрацию (200 мг/л). Разработка методики их совместного или последовательного извлечения может быть целью дальнейших исследований.

Условная минимальная концентрации для иона лития принята равной 10 мг/л [15]. Образцы под номерами 4–6, 15, 16 (см. табл. 4) содержат ион лития в концентрации, незначительно превышающей указанную. По другой классификации такая минерализованная вода может рассматриваться как целевое сырье с пониженным содержанием лития [39]. Для извлечения невысоких концентраций ионов лития можно использовать сорбционные методы с предварительным концентрированием (например, обратным осмосом) и удалением мешающих ионов (кальция, магния) [39]. Отметим, что перспективность извлечения соединений лития при таких концентрациях его иона можно рассматривать как низкую при современном уровне цен на карбонат лития на мировых рынках.

В образцах 4 и 5 также обнаружены наиболее высокие концентрации бора (более 100 мг/л), которые все же ниже условной минимальной концентрации (250 мг/л) для извлечения этого элемента [15]. Следует отметить, что образцы 4 и 5 среди всех исследованных имеют повышенные концентрации наибольшего спектра ценных компонентов и потенциально интересны для комплексной переработки в качестве гидроминерального сырья.

Заключение

Анализ результатов исследования показывает, что обводнённые нефтяные скважины являются источником ценных компонентов, в том числе в промышленных концентрациях. Для организации их извлечения, в частности иода и брома из попутных вод Чеченской Республики, прежде всего надо решить задачу оценки эксплуатационных запасов попутных вод месторождений углеводородов. Необходимо продолжить исследование химического состава вод в пределах месторождений, где были установлены высокие концентрации ценных компонентов, а также провести более масштабные физико-химические исследования образцов из геотермальных и обводнённых нефтяных скважин Юга России, в том числе на территории Чеченской Республики, для оценки ресурсного потенциала региона.

Продолжение исследований позволит приблизить решение глобальной задачи перевода более 1000 обводнённых нефтяных скважин Чеченской Республики в новый ресурсный статус, создав на их основе технологические платформы для промышленного извлечения ценных химических компонентов, в первую очередь иода, повышенное содержание которого уже подтверждено как ранее проведенными, так и нашими исследованиями. Результаты исследования создают основу для технологических решений по комплексному извлечению соединений ценных элементов с помощью новых или усовершенствованных технологий переработки гидроминерального сырья, оптимизированных для конкретных геологических условий региона. Реализация поставленных задач создаст научно-технологический задел для формирования новых высокотехнологичных производств, обеспечивающих импортозамещение стратегически важных химических продуктов и способствующих технологическому суверенитету Российской Федерации.

Список литературы

1. Алхасов А. Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М. : Физматлит, 2008. 375 с.
2. Алхасов А. Б., Алишаев М. Г., Алхасова Д. А. Освоение низкопотенциального геотермального тепла. М. : Физматлит, 2012. 280 с.



3. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А. Современное состояние и перспективы освоения геотермальных ресурсов Северокавказского региона // Теплоэнергетика. 2014. № 6. С. 28–34.
4. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А. Перспективные технологии освоения геотермальных ресурсов // Изв. РАН. Энергетика. 2014. № 5. С. 144–157.
5. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А., Рамазанов А. Ш., Каспарова М. А. Перспективы комплексного освоения высокопараметрических геотермальных рассолов // Теплоэнергетика. 2015. № 6. С. 11–17.
6. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А. Комплексное освоение рассолов берикейского геотермального месторождения // Теплоэнергетика. 2024. № 5. С. 101–106. <https://doi.org/10.56304/S0040363624050023>
7. Бондаренко С. С., Куликов Г. В. Подземные промышленные воды. М. : Недра, 1984. 358 с.
8. Курбанов М. К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М. : Наука ; Наука/Интерпериодика, 2001. 260 с.
9. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А., Рамазанов А. Ш., Каспарова М. А. Перспективы освоения высокотемпературных высокоминерализованных ресурсов Тарумовского геотермального месторождения // Теплоэнергетика. 2016. № 6. С. 25–30.
10. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А., Рамазанов А. Ш., Каспарова М. А. Технологии освоения высокоминерализованных геотермальных ресурсов // Теплоэнергетика. 2017. № 9. С. 17–24.
11. Минерально-сырьевые ресурсы Чеченской Республики: монография / под ред. И. А. Керимова, Е. М. Аксенова. 2-е изд. Грозный : АН Чеченской Республики, 2016. 523 с.
12. Полезные ископаемые Чеченской Республики (справочник) / под ред. И. А. Керимова. Грозный : АН Чеченской Республики, 2009. 245 с.
13. Максимович Г. А. Иод и бром в буровых водах Грозненского района // Грозненский нефтяник. 1932. № 1/2. С. 79–82.
14. Максимович Г. А. Перспективы добычи иода и брома из буровых вод Грозненских нефтяных районов // Минеральное сырье. 1933. № 5. С. 26–32.
15. Плотникова Р. И. Состояние ресурсной базы промышленных подземных вод (гидроминерального сырья) России и проблемы ее освоения // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2011. № 2. С. 1–11.
16. Даукаев А. А., Бачаева Т. Х., Даукаев А. А., Саркисян И. В. Йод-бромные подземные воды и рекомендации по их рациональному использованию Чеченской Республики // Кронос: естественные и технические науки. 2019. Т. 27, № 5. С. 11–13.
17. Mintsaeв M., Machigova F., Khadasheva Z., Cherkasov S., Churikova T. Mineral resources of the geothermal sources of the North Caucasus // Int. J. Environmental and Science Educ. 2016. Vol. 11, № 18. P. 12973–12984.
18. Сызранцев В. В., Гацаев З. Ш., Минцаев М. Ш., Шаипов А. А. О содержании лития в геотермальных водах Чеченской Республики // Геоэнергетика – 2022 : кол. монография по материалам V Междунар. науч.-практ. конф. (Грозный, 29 сентября – 2 октября 2022 г.) / науч. ред. С. В. Алексеенко, М. Ш. Минцаев, И. А. Керимов. Грозный : Грозненский государственный нефтяной технический университет им. М. Д. Миллионщикова, 2022. С. 414–418. <https://doi.org/10.34708/GSTOU.2022.44.27.056>
19. Сызранцев В. В., Минцаев М. Ш., Салгириев Р. Р., Шаипов А. А., Сайдумов М. С., Алиев И. О. Перспективы развития отрасли добычи редкоземельных металлов для экономики Чеченской Республики // Регион: системы, экономика, управление. 2024. № 4 (67). С. 34–52. <https://doi.org/10.22394/1997-4469-2024-67-4-24-52>
20. Минцаев М. Ш., Чурикова Т. Г., Мачигова Ф. И., Шаипов М. А. Результаты физико-химических исследований термальных вод Комсомольского месторождения Чеченской Республики // Устойчивое развитие горных территорий. 2015. Вып. 26, № 4. С. 69–75. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2015-7-4-69-75>
21. Минцаев М. Ш., Атаева А. А., Мачигова Ф. И., Тихомирова Е. И. Сравнительный анализ элементного и микроэлементного состава термальных вод подземных резервуаров Чеченской Республики // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 2-3. С. 771–775.
22. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97. Количественный химический анализ вод. Выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. М. : Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 2004. 14 с.
23. ГОСТ 18995.1–73. Продукты химические. Методы определения плотности. М. : Изд-во стандартов, 2004. 4 с.
24. ПНД Ф 14.1:2:4.114–97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сухого остатка в питьевых, поверхностных и сточных водах гравиметрическим методом. М. : Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 2004. 14 с.
25. РД 52.24.403–2018. Массовая концентрация ионов кальция в водах. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. Ростов н/Д : ФГБУ «ГХИ», 2018. 32 с.
26. РД 52.24.395–2017. Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. Ростов н/Д : ФГБУ «ГХИ», 2017. 37 с.
27. ГОСТ 23268.6-78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов натрия. М. : Изд-во стандартов, 1978. 7 с.
28. ГОСТ 23268.7-78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов калия. М. : Изд-во стандартов, 1978. 5 с.



29. ПНД Ф 14.1:2:4.138-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций калия, лития, натрия и стронция в пробах питьевых, природных и сточных вод методом пламенно-эмиссионной спектроскопии. М. : Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 2010. 22 с.
30. ГОСТ 4011-72. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. М. : Изд-во стандартов, 2008. 8 с.
31. ПНД Ф 14.1:2.159-2000. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом. М. : Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 2005. 14 с.
32. ГОСТ 31957-2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. М. : Стандартинформ, 2013. 30 с.
33. ПНД Ф 14.1:2:3.96-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и сточных вод argentометрическим методом. М. : Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2016. 23 с.
34. ГОСТ 23268.15-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения бромид-ионов. М. : Изд-во стандартов, 1978. 7 с.
35. ГОСТ 23268.16-78. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения йодид-ионов. М. : Изд-во стандартов, 1978. 5 с.
36. ГОСТ 31949-2012. Вода питьевая. Метод определения содержания бора. М. : Стандартинформ, 2019. 9 с.
37. Кудельский А. В. Геохимия, формирование и распространение йодобромных вод. Минск : Наука и техника, 1970. 143 с.
38. Кудельский А. В. Гидрогеология, гидрогеохимия иода. Минск : Наука и техника, 1976. 216 с.
39. Рябцев А. Д. Гидроминеральное сырьё – неисчерпаемый источник лития в XXI веке // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307, № 7. С. 64–70.
40. Alkhasov A. B., Alkhasova D. A. Current state and prospects for the development of geothermal resources in the North Caucasus region. *Thermal Engineering*, 2014, no. 6, pp. 28–34 (in Russian).
41. Alkhasov A. B., Alkhasova D. A. Promising technologies for the development of geothermal resources. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energetics*, 2014, no. 5, pp. 144–157 (in Russian).
42. Alkhasov A. B., Alkhasova D. A., Ramazanov A. Sh., Kasparova M. A. Prospects for the integrated development of high-parameter geothermal brines. *Thermal Engineering*, 2015, no. 6, pp. 11–17 (in Russian).
43. Alkhasov A. B., Alkhasova D. A. Integrated development of brines of the Berikey geothermal field. *Thermal Engineering*, 2024, no. 5, pp. 101–106 (in Russian). <https://doi.org/10.56304/S0040363624050023>
44. Bondarenko S. S., Kulikov G. V. *Podzemnye promyshlennye vody* [Underground industrial waters]. Moscow, Nedra, 1984. 358 p. (in Russian).
45. Kurbanov M. K. *Geotermalnye i gidromineralnye resursy Vostochnogo Kavkaza i Predkavkazya* [Geothermal and hydromineral resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia]. Moscow, Nauka, Nauka/Interperiodika, 2001. 260 p. (in Russian).
46. Alkhasov A. B., Alkhasova D. A., Ramazanov A. Sh., Kasparova M. A. Prospects for the development of high-temperature highly mineralized resources of the Tarumovskoye geothermal field. *Thermal Engineering*, 2016, no. 6, pp. 25–30 (in Russian).
47. Alkhasov A. B., Alkhasova D. A., Ramazanov A. Sh., Kasparova M. A. Technologies for the development of highly mineralized geothermal resources. *Thermal Engineering*, 2017, no. 9, pp. 17–24 (in Russian).
48. *Mineralno-syrevye resursy Chechenskoj Respubliki: monografiya. Pod red. I. A. Kerimova, E. M. Aksenova. 2-e izd.* [Kerimov I. A., Aksenov E. M., eds. Mineral Resources of the Chechen Republic: Monograph. 2nd ed.]. Grozny, Academy of Sciences of Chechen Republic Publ., 2016. 523 p. (in Russian).
49. *Poleznye iskopaemye Chechenskoj Respubliki (spravochnik). Pod red. I. A. Kerimova* [Kerimov I. A., ed. Mineral Resources of the Chechen Republic (Directory)]. Grozny, Academy of Sciences of Chechen Republic Publ., 2009. 245 p. (in Russian).
50. Maksimovich G. A. Iodine and bromine in drilling waters of the Grozny region. *Groznenskii neftyanik*, 1932, no. 1/2, pp. 79–82 (in Russian).
51. Maksimovich G. A. Prospects for the extraction of iodine and bromine from drilling waters of the Grozny oil regions. *Mineralnoe syre*, 1933, no. 5, pp. 26–32 (in Russian).
52. Plotnikova R. I. The state of the resource base of industrial groundwater (hydromineral raw materials) in Russia and the problems of its development. *Georesursy, geoenergetika, geopolitika*, 2011, no. 2, pp. 1–11 (in Russian).
53. Daukaev A. A., Bachaeva T. Kh., Daukaev A. A., Sarkisyan I. V. Iodine-bromine groundwater and recommen-

References

1. Alkhasov A. B. *Geotermalnaya energetika: problemy, resursy, tekhnologii* [Geothermal energy: Problems, resources, technologies]. Moscow, Fizmatlit, 2008. 375 p. (in Russian).
2. Alkhasov A. B., Alishaev M. G., Alkhasova D. A. *Osvoenie nizkopotentsialnogo geotermalnogo tepla* [Development of low-potential geothermal heat]. Moscow, Fizmatlit, 2012. 280 p. (in Russian).



- dations for their rational use in the Chechen Republic. *Chronos: Natural and Technical Sciences*, 2019, vol. 27, no. 5, pp. 11–13 (in Russian).
17. Mintsaeв M., Machigova F., Khadasheva Z., Cherkasov S., Churikova T. Mineral resources of the geothermal sources of the North Caucasus. *Int. J. Environmental and Science Educ.*, 2016, vol. 11, no. 18, pp. 12973–12984.
 18. Syzrantsev V. V., Gatsaev Z. Sh., Mintsaeв M. Sh., Shaiпов A. A. On the lithium content in geothermal waters of the Chechen Republic. In: *Geoenergetika – 2022: koll. monografiya po materialam V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Grozny, 29 sent. – 2 okt. 2022 g.)*. Nauch. red. S. V. Alekseenko, M. Sh. Mintsaeв, I. A. Kerimov [Alekseenko S. V., Mintsaeв M. Sh., Kerimov I. A., eds. *Geoenergetics – 2022: Coll. monograph based on the materials of the Intern. sci. and pract. conf. (Grozny, September 29 – October 2, 2022)*]. Grozny, Grozny State Petroleum Technological University Publ., 2022, pp. 414–418 (in Russian). <https://doi.org/10.34708/GSTOU.2022.44.27.056>
 19. Syzrantsev V. V., Mintsaeв M. Sh., Salgiriev R. R., Shaiпов A. A., Saidumov M. S., Aliyev I. O. Prospects for the development of the rare earth metals mining industry for the economy of the Chechen Republic. *Region: Systems, Economics, Management*, 2024, vol. 67, no. 4, pp. 34–52 (in Russian). <https://doi.org/10.22394/1997-4469-2024-67-4-24-52>
 20. Mintsaeв M. Sh., Churikova T. G., Machigova F. I., Shaiпов M. A. Results of physicochemical studies of thermal waters of the Komsomolskoye field in the Chechen Republic. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2015, vol. 26, no. 4, pp. 69–75 (in Russian). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2015-7-4-69-75>
 21. Mintsaeв M. Sh., Ataeva A. A., Machigova F. I., Tikhomirova E. I. Comparative analysis of the elemental and microelement composition of thermal waters of underground reservoirs of the Chechen Republic. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2016, vol. 18, no. 2-3, pp. 771–775 (in Russian).
 22. *PND F 14.1:2:3:4.121–97. Kolichestvennyj khimicheskij analiz vod. Vypolneniya izmerenij pH v vodakh potentsiometricheskim metodom* [PND F 14.1:2:3:4.121–97. Quantitative chemical analysis of water. Measurements of pH in water using the potentiometric method]. Moscow, Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of the Russian Federation Publ., 2004. 14 p. (in Russian).
 23. *GOST 18995.1–73. Produkty khimicheskie. Metody opredeleniya plotnosti* [GOST 18995.1–73. Chemical products. Methods for determining density.] Moscow, Izd-vo standartov, 2004. 4 p. (in Russian).
 24. *PND F 14.1:2:4.114–97. Kolichestvennyj khimicheskij analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj kontsentratsii sukhogo ostatka v pitevykh, poverxnostnykh i stochnykh vodakh gravimetricheskim metodom* [PND F 14.1:2:4.114–97. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of dry residue in drinking, surface, and waste water using the gravimetric method]. Moscow, Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of the Russian Federation Publ., 2004. 14 p. (in Russian).
 25. *RD 52.24.403–2018. Massovaya kontsentratsiya ionov kaltsiya v vodakh. Metodika izmerenij titrimetricheskim metodom s trilonom B* [RD 52.24.403–2018. Mass concentration of calcium ions in waters. Measurement procedure using the titrimetric method with Trilon B]. Rostov-on-Don, Hydrochemical Institute Publ., 2018. 32 p. (in Russian).
 26. *RD 52.24.395–2017. Zhestkost' vody. Metodika izmerenij titrimetricheskim metodom s trilonom B* [RD 52.24.395–2017. Water hardness. Measurement procedure by titrimetric method with Trilon B]. Rostov-on-Don, Hydrochemical Institute Publ., 2017. 37 p. (in Russian).
 27. *GOST 23268.6-78 Vody mineralnye pitevye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye. Metody opredeleniya ionov natriya* [GOST 23268.6-78. Drinking mineral waters: Medicinal, medicinal-table, and natural table. Methods for determining sodium ions]. Moscow, Izd-vo standartov, 1978. 7 p. (in Russian).
 28. *GOST 23268.7-78 Vody mineralnye pitevye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye. Metody opredeleniya ionov kaliya* [GOST 23268.7-78. Drinking mineral waters: Medicinal, medicinal-table, and natural table. Methods for determining potassium ions]. Moscow, Izd-vo standartov, 1978. 5 p. (in Russian).
 29. *PND F 14.1:2:4.138-98. Kolichestvennyy khimicheskij analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenij massovykh kontsentratsiy kaliya, litiya, natriya i strontsiya v probakh pitevykh, prirodnykh i stochnykh vod metodom plamenno-emissionnoy spektrometrii* [PND F 14.1:2:4.138-98. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring mass concentrations of potassium, lithium, sodium, and strontium in drinking natural, and wastewater samples using flame emission spectrometry]. Moscow, State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection Publ., 2010. 22 p. (in Russian).
 30. *GOST 4011-72. Voda pitevaya. Metody izmereniya massovoj kontsentratsii obshhego zheleza* [GOST 4011-72. Drinking water. Methods for measuring the mass concentration of total iron]. Moscow, Izd-vo standartov, 2008. 8 p. (in Russian).
 31. *PND F 14.1:2.159–2000. Kolichestvennyj khimicheskij analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj kotsentratsii sulfat-ionov v probakh prirodnykh i stochnykh vod turbidimetricheskim metodom* [PND F 14.1:2.159–2000. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of sulfate ions in samples of natural and waste water using the turbidimetric method]. Moscow, State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection Publ., 2005. 14 p. (in Russian).
 32. *GOST 31957–2012. Voda. Metody opredeleniya shchelochnosti i massovoj kontsentratsii karbonatov i*



- gidrokarbonatov* [GOST 31957–2012. Water. Methods for Determining Alkalinity and Mass Concentration of Carbonates and Bicarbonates]. Moscow, Standartinform, 2013. 30 p. (in Russian).
33. PND F 14.1:2:3.96–97. *Kolichestvennyj khimicheskij analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj kontsentratsii khloridov v probax prirodnykh i stochnykh vod argentometricheskim metodom* [PND F 14.1:2:3.96–97. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of chlorides in samples of natural and waste water using the argentometric method]. Moscow, Federal Service for Supervision of Natural Resources Publ., 2016. 23 p. (in Russian).
34. GOST 23268.15-78. *Vody mineralnye pitevye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye. Metody opredeleniya bromid-ionov* [GOST 23268.15-78. Mineral drinking waters: Medicinal, medicinal-table, and natural table. Methods for determining bromide ions]. Moscow, Izd-vo standartov, 1978. 7 p. (in Russian).
35. GOST 23268.16-78. *Vody mineralnye pitevye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye. Metody opredeleniya jodid-ionov* [GOST 23268.16-78. Mineral drinking waters: Medicinal, medicinal-table, and natural table. Methods for determining iodide ions]. Moscow, Izd-vo standartov, 1978. 5 p. (in Russian).
36. GOST 31949-2012. *Voda pitevaya. Metod opredeleniya soderzhaniya bora*. [GOST 31949-2012. Drinking water. Method for determination of boron content]. Moscow, Standartinform, 2019. 9 p. (in Russian).
37. Kudelskiy A. V. *Geokhimiya, formirovanie i rasprostranenie jodobromnykh vod* [Geochemistry, formation and distribution of iodine-bromine waters]. Minsk, Nauka i tekhnika, 1970. 143 p. (in Russian).
38. Kudelskiy A. V. *Gidrogeologiya, gidrogeokhimiya ioda* [Hydrogeology, hydrogeochemistry of iodine]. Minsk, Nauka i tekhnika, 1976. 216 p. (in Russian).
39. Ryabtsev A. D. Hydromineral raw materials – an inexhaustible source of lithium in the 21st century. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, vol. 307, no. 7, pp. 64–70 (in Russian).

Поступила в редакцию 10.02.2026; одобрена после рецензирования 23.02.2026; принята к публикации 27.02.2026
The article was submitted 10.02.2026; approved after reviewing 23.02.2026; accepted for publication 27.02.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 139–147
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 139–147
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-139-147>, EDN: CDCLYC

Научная статья
УДК 544.72



Применение отходов водоподготовки и деревоперерабатывающей промышленности для получения магнитоуправляемых нефтесорбентов

Е. Л. Усова ✉, К. В. Кусков, Л. Н. Макарова, А. М. Фугаева, А. В. Таргашов

Тюменский индустриальный университет, Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38

Усова Елена Леонидовна, кандидат химических наук, доцент кафедры строительных материалов, usovael@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5277-7157>

Кусков Константин Викторович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вибрационного и гидродинамического моделирования, kuskovkv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0698-8545>

Макарова Людмила Николаевна, старший преподаватель кафедры общей и физической химии, makarovaln@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3808-653X>

Фугаева Анастасия Михайловна, ассистент кафедры инженерных систем и сооружений, fugaevaam@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7097-1775>

Таргашов Александр Вадимович, магистр 1-го курса, stargashov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8885-1038>

Аннотация. Рассматривалась возможность применения железосодержащих отходов станции водоподготовки и сосновых опилок в качестве альтернативного сырьевого источника для получения недорогого нефтепоглощающего сорбента с магнитными свойствами, синтезированного при 500°C. Рентгенофлуоресцентный анализ выявил наличие фаз гематита α – Fe_2O_3 в полученных образцах, являющегося ферромагнетиком. Результаты гранулометрии показали, что размер частиц распределен в диапазоне от 20 до 70 мкм. Текстуальные характеристики, полученные методом изотерм адсорбции-десорбции азота, свидетельствуют о том, что образцы относятся к мезопористым материалам. На полученном материале изучалось влияние содержания гетита в исходном составе на величины водопоглощения, магнитной восприимчивости, сорбционную емкость по отношению к метиленовому голубому и мазуту с поверхности воды. Увеличение концентрации гетита в исходном составе приводит к возрастанию магнитных свойств материала и возрастанию гидрофобности. Сорбционные характеристики при этом ухудшаются. Образцы, пропитанные 8% суспензией осадка с промывного фильтра, выбраны оптимальным составом, что подтверждается наименьшим остаточным содержанием нефтепродуктов в воде после очистки. Таким образом, совместная утилизация отходов водоподготовки и деревоперерабатывающих предприятий в мягких условиях позволяет получить дешевый магнитоуправляемый сорбент для извлечения нефти и нефтепродуктов с поверхности воды.

Ключевые слова: магнитные нефтесорбенты, сосновые опилки, железосодержащий шлам, осадок станции водоподготовки, сорбция, нефть и нефтепродукты, гематит

Для цитирования: Усова Е. Л., Кусков К. В., Макарова Л. Н., Фугаева А. М., Таргашов А. В. Применение отходов водоподготовки и деревоперерабатывающей промышленности для получения магнитоуправляемых нефтесорбентов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 139–147. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-139-147>, EDN: CDCLYC

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Use of water treatment and wood processing industry waste to produce magnetically controlled oil sorbents

Е. Л. Усова ✉, К. В. Кусков, Л. Н. Макарова, А. М. Фугаева, А. В. Таргашов

Industrial University of Tyumen, 38 Volodarsky St., Tyumen 625000, Russia

Elena L. Usova, usovael@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5277-7157>

Konstantin V. Kuskov, kuskovkv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0698-8545>

Lyudmila N. Makarova, makarovaln@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-3808-653X>

Anastasia M. Fugaeva, fugaevaam@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7097-1775>

Aleksandr V. Targashov, stargashov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8885-1038>

Abstract. This study has examined the potential use of iron-containing waste from a water treatment plant and pine sawdust as an alternative raw material source for producing an inexpensive oil-absorbing sorbent with magnetic properties, synthesized at 500°C. X-ray diffraction analysis



has revealed the presence of ferromagnetic α -Fe₂O₃ hematite phases in the obtained samples. Granulometry results have showed a particle size distribution ranging from 20 to 70 μ m. Textural characteristics have been obtained using nitrogen adsorption-desorption isotherms, demonstrating that the samples are mesoporous materials. Using the obtained material, the effect of goethite content in the initial composition on water absorption, magnetic susceptibility, and sorption capacity for methylene blue and fuel oil from the water surface has been studied. Increasing the goethite concentration in the initial composition leads to an increase in the magnetic properties of the material and an increase in hydrophobicity, while the sorption characteristics deteriorate. Samples impregnated with an 8% suspension of filter backwash sediment have been selected as the optimal composition, as evidenced by the lowest residual oil product content in the water after purification. Thus, the combined recycling of water treatment and wood processing waste under mild conditions allows for the production of a low-cost magnetically controlled sorbent for the extraction of oil and oil products from water surfaces.

Keywords: magnetic oil sorbents, pine sawdust, iron-containing sludge, water treatment plant sludge, sorption, oil and oil products, hematite

For citation: Usova E. L., Kuskov K. V., Makarova L. N., Fugaeva A. M., Targashov A. V. Use of water treatment and wood processing industry waste to produce magnetically controlled oil sorbents. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 139–147 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-139-147>, EDN: CDCLYC

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Среди загрязнителей окружающей среды нефть и нефтепродукты представляют особую и наиболее опасную группу. Существует много способов очистки нефтезагрязненных вод, среди которых сорбционный метод занимает особое место как наиболее эффективный и экологически безопасный [1, 2].

К нефтяным сорбентам применяют ряд требований: водопоглощение, нефтеемкость, гидрофобность, а также простота нанесения и последующий сбор сорбента с зоны загрязнения [3, 4].

В связи с этим особый интерес для сорбционных технологий представляют магнитные материалы, применение которых существенно упростит этап отделения от жидкой фазы и сбора насыщенных сорбентов при помощи магнитных ловушек [5–8].

Для придания магнитных свойств в состав материала вводят частицы никеля, кобальта, железа.

Наибольшей развитой площадью поверхности и наибольшей величиной сорбции обладают оксиды железа наноразмерных частиц. Среди всех оксидов железа гетит и гематит являются стабильными соединениями и находят широкое применение в качестве классических адсорбентов [9].

Ввиду низкой стоимости, для получения магнитных нефтесорбентов чаще используют оксиды и соли железа и другие его соединения, включая карбиды, а также отходы производств [10–15].

В работах [16–18] в качестве промышленных отходов предложен железосодержащий шлам водоочистки со станций обезжелезивания при водоподготовке. Осадок, образующийся по-

сле фильтрования подземных вод, содержит до 60% железа от общей массы. Высокодисперсное состояние и однородный химический состав с преобладанием гетита делают привлекательным данный вид техногенных отходов в качестве исходного сырья. Однако предложенные способы требуют затрат на высокие температуры нагрева реакционной смеси и дополнительное использование химических реагентов. Поэтому в качестве углеродного носителя целесообразно применение сосновых опилок. Отходы деревообработки являются дешевым и экологичным при утилизации сырьем [19, 20].

Таким образом, применение промышленных отходов для получения сорбентов позволяет решать одновременно две проблемы: утилизацию накопленных отходов и снижение стоимости получения материалов с заданными свойствами [21].

Цель работы – установление принципиальной возможности синтеза нефтепоглощающих сорбентов с магнитными свойствами совместной утилизацией отходов деревоперерабатывающей промышленности и станции обезжелезивания в мягких условиях и определение оптимальных концентраций гетита в исходном составе.

Материалы и методы

Основу для получения нефтесорбентов составили сосновые опилки деревообработки. Отсутствие предварительной обработки позволяет рассматривать их как исходное чистое сырье, относящееся к биосферно совместимым материалам.

В качестве железосодержащей составляющей использовали осадок, образующийся на фильтровальных сооружениях Тюменской стан-



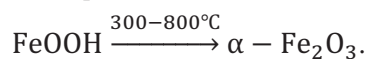
ции водоподготовки Велижанского водозабора. Шлам представляет собой водонасыщенную коллоидную массу темно-коричневого цвета. Как правило, твердая фаза суспензии имеет схожий состав и представлена оксидно-гидроксидными соединениями железа, кроме того, в незначительных количествах присутствуют оксиды кремния, кальция и магния и примеси других нетоксичных элементов [18, 22, 23], что показывает возможность применения шлама как перспективного сырьевого источника.

Исследование фазового состава проводили на дифрактометре ДРОН-7 (НПП «Буревестник», Россия) при 40кВ и 20 мА, излучением $\text{CuK}\alpha$ с β -фильтром Ni ($K\alpha_1=1.5406 \text{ \AA}$) в диапазоне от 2 до 85° углов 2θ . Расшифровка дифрактограмм проводилась с использованием базы данных PDF2 (2011). Порошковые образцы были запрессованы в специальные кюветы из органического стекла, не дающего пиков, и зафиксированы цапонлаком, дающим широкие гало, при углах 2θ 25° – 35° . Вращение образца не производилось. При расшифровке дифрактограмм учитывалась максимальная погрешность для ДРОН-7 $\pm 0,02^\circ$, указанная в руководстве по эксплуатации.

Для приготовления нефтесорбента опилки пропитывали в 2, 4, и 6% водной суспензии железосодержащего шлама. Тщательно перемешивали содержимое и высушивали 24 ч при температуре 90°C .

Синтез сорбентов проводили в муфельной печи СНОЛ-1,6,2,5.1/11–И2М (НПФ ТерМИКС, Россия) при температуре 500°C в течение 60 мин, в результате протекающей карбонизации FeOON переходит в α – Fe_2O_3 – гематит, являющийся слабым ферромагнитным материалом при стандартных условиях [9].

Протекающие процессы можно представить следующим образом:



Внешний вид сорбентов в бьюксах после остывания муфельной печи имеет черно-рыжий цвет.

Основные текстурные характеристики сорбентов (удельная поверхность и анализ пористости) устанавливали методом статической газовой волюмометрии на анализаторе 3P sync 420A (3P Instruments, Германия).

Гранулометрический анализ проводили на анализаторе размеров частиц «Analysette 22 NanoTec» (Fritsch GmbH, Германия).

Для определения величины водопоглощения навески сорбентов массой 1 г залили 50 см^3 воды и оставили на сутки для насыщения. Рассчитали водопоглощение сорбента по формуле (1):

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1}, \quad (1)$$

где W – это водопоглощение, г/г, m_1 и m_2 – массы сухого и насыщенного водой сорбента, г.

Сорбционную активность полученных образцов определяли по метиленовому голубому, являющегося классическим загрязнителем при изучении сорбции органических соединений [16]. Для этого 0,1 г сорбента заливали 50 см^3 раствора метиленового голубого с исходной концентрацией 10 мг/дм^3 . Образцы оставляли в колбах на 24 ч при температуре 25°C при постоянном перемешивании до установления сорбционного равновесия. После адсорбции твердую фазу отделяли от жидкой при помощи центрифугирования. Исходную и равновесную концентрацию метиленового голубого в растворе определяли по оптической плотности при характерной длине волны 645 нм на спектрофотометре КФК-3-01 (АО ЗОМЗ, Россия) по предварительно построенному градуировочному графику «оптическая плотность – концентрация» ($R^2 = 0,98$).

Адсорбционную активность рассчитывают по формуле (2):

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{исх}} - C_n) \cdot V}{m}, \quad (2)$$

где Γ – величина адсорбции, мг/г, $C_{\text{исх}}$ и C_n – исходная и равновесная концентрация метиленового голубого, мг/дм^3 ; m – масса сорбента, г; V – объем метиленового голубого, дм^3 .

Нефтеемкость сорбентов определяли по мазуту марки Ф-5, плотность при температуре 20°C 955 кг/м^3 . Мазут является одной из тяжелых фракций нефти. В данной работе нефтеемкость определяли на поверхности воды Чашку Петри, заполненную водой, поместили на весы. На поверхность воды при помощи пипетки наносили равный объем мазута, составляющий в пересчете на массу 1 г, толщина пленки составляла 2–3 мм. Затем на поверхность загрязнителя наносили испытуемый сорбент определенной массы небольшими порциями. Неодимовый магнит N52 (Magnet LTD, Россия) размером $30 \times 10 \text{ мм}$ (остаточная магнитная индукция 1.43–1.48 Т, коэрцитивная сила 11 кЭ) подносили на кальке и поднимали нефтенасыщенный сорбционный материал. Радужных



разводов мазута на поверхности воды не наблюдалось. Определяли нефтеемкость для каждого из образцов как отношение разности массы сорбционного материала до и после очистки к массе сухого сорбента в г/г [4, 24]. За результат принимали среднее арифметическое значение трех параллельных испытаний.

Для качественной оценки магнитных свойств насыщенных сорбентов фиксировали среднюю массу сорбента с мазутом, собранную магнитом за один раз. Все испытания проводили не меньше трех раз.

После сбора мазутного пятна воду исследовали на остаточное содержание нефтепродуктов. Степень очистки от нефтепродуктов определяли по их остаточному содержанию в растворе экстракцией гексаном на «Флюорате 02-3М» (Люмэкс, Россия).

Массовую концентрацию нефтепродуктов в пробе воды вычисляют по формуле (3):

$$X = \frac{C_{\text{изм}} \cdot V_r \cdot K_1}{V_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

где X – это массовая концентрация нефтепродукта в пробе воды, мг/дм³; $C_{\text{изм}}$ – массовая

концентрация нефтепродукта в гексановом экстракте пробы, мг/дм³; V_r – объем гексана, взятый для экстракции, см³; $V_{\text{пр}}$ – объем пробы, см³; K_1 – коэффициент разбавления экстракта.

Результаты и их обсуждение

Полученные после обжига образцы представляют собой мелкодисперсный порошок черно-рыжего цвета. На рис. 1 представлены результаты гранулометрического анализа в зависимости от концентрации железосодержащей суспензии. Из графиков видно, что размер большинства распределен в диапазоне от 20 до 70 мкм.

На рис. 2, а представлена рентгенофазовая диаграмма исходного железосодержащего шлама. Идентификацию кристаллических фаз проводили с использованием базы данных порошковой дифрактометрии PDF (Powder Diffraction File) международного центра дифракционных данных (ICDD). Дифрактограмма показывает, что он преимущественно содержит гетит, включающий железо в оксидно-

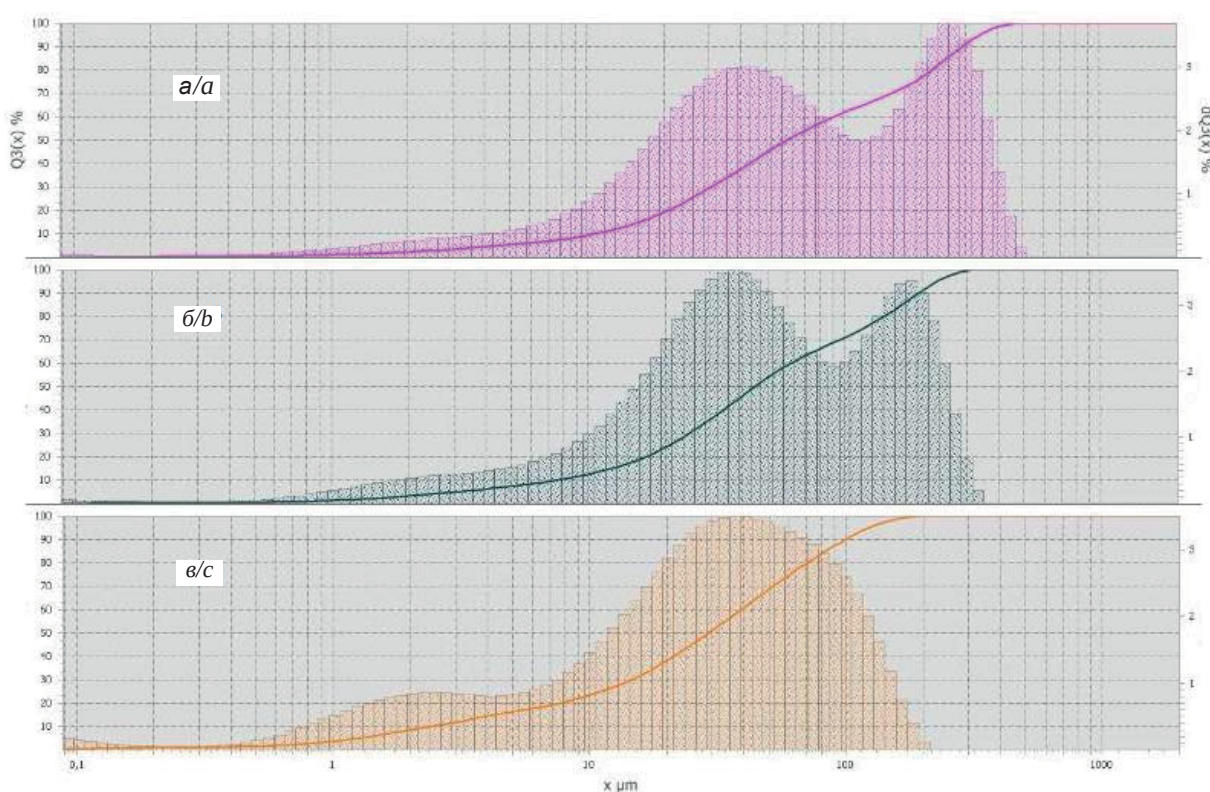


Рис. 1. Результаты гранулометрического анализа продуктов синтеза с концентрацией железосодержащей суспензии в исходном составе, %: а – 4, б – 8, в – 12

Fig. 1. Results of granulometric analysis of synthesis products with a concentration of iron-containing suspension in the initial composition, %: a – 4, b – 8, c – 12



гидроксидной форме FeOOH (PDF 01-076-7169), а также диоксид кремния SiO₂ (PDF 01-083-2467). После термической обработки опилок при 500°C, пропитанных суспензией шлама с разной концентрацией, наблюдается появление новой кристаллической фазы гема-

тита α – Fe₂O₃ (PDF 01-076-4579), кроме этого есть рефлексы недожжённого углерода (PDF 01-089-8498) (см. рис. 2, б–г). Гематит является слабым ферромагнетиком, поэтому уже в этих условиях сорбенты начинают проявлять магнитные свойства.

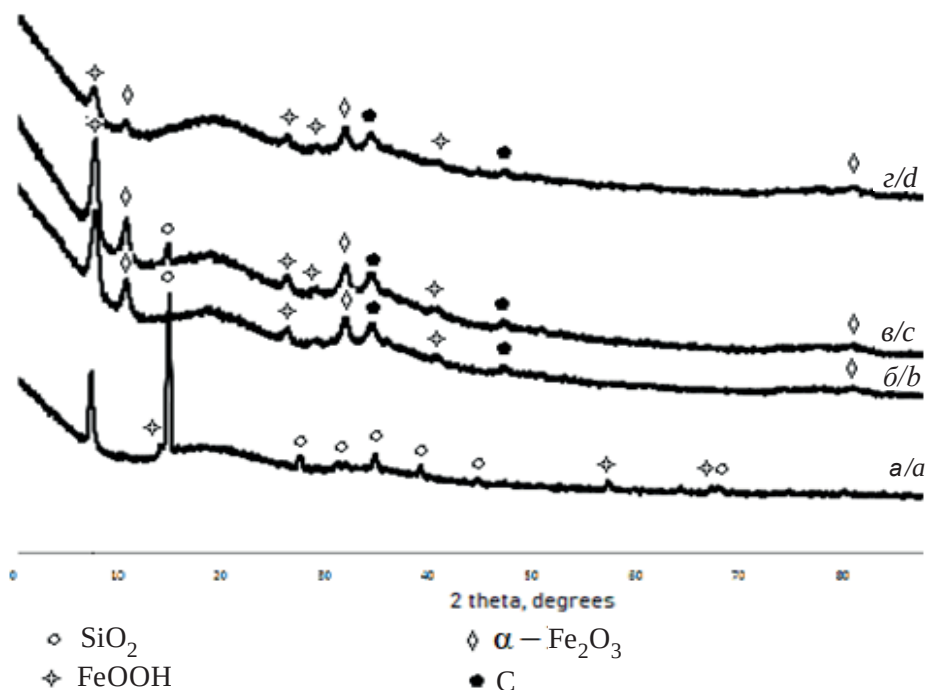


Рис. 2. Дифрактограммы исходного осадка промывных фильтров (а) и продуктов синтеза, полученных при температуре 500°C, с концентрацией железосодержащей суспензии в исходном составе, %: б – 4, в – 8, г – 12

Fig. 2. Diffraction patterns of the initial sediment of wash filters (a) and synthesis products obtained at a temperature of 500°C with a concentration of iron-containing suspension in the initial composition, %: b – 4, c – 8, d – 12

В табл. 1 представлены основные сорбционные характеристики полученных образцов.

Значения площади поверхности и пористости, рассчитанные по уравнению Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ), являются основной

характеристикой сорбентов. Связывание нефтепродуктов протекает в пористых сорбентах за счет физической сорбции. Наиболее эффективно происходит удаление в порах диаметром от 1,5 до 4,5 нм [25].

Таблица 1 / Table 1

Основные сорбционные характеристики полученных материалов
Main sorption characteristics of the obtained materials

Содержание шлама, % / Sludge content, %	Площадь поверхности, м ² /г / Surface area, m ² /g	Средний размер пор, нм / Average pore size, nm	Сорбция метиленового голубого, мг/г / Sorption of methylene blue, mg/g	Нефтеемкость сорбента с поверхности воды, г/г / Oil absorption capacity of the sorbent from the water surface, g/g	Водопоглощение, г/г / Water absorption, g/g
4	366	2,20	5,7	3,3	11,2
8	301	2,26	5,7	2,8	9,9
12	177	2,77	5,5	1,7	8,7



Крупные молекулы мазута не способны проникать в микропоры. Изотермы низкотемпературной адсорбции – десорбции азота для полученных образцов относятся к IV типу, что характерно для мезопористых материалов. Средний размер пор 2,20 – 2,70 нм соответствует классификации IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry – Международный союз теоретической и прикладной химии) для сорбентов с переходными порами (мезопорами). Наиболее эффективное использование порового пространства при извлечении крупных молекул будет для более крупных пор.

Уменьшение сорбционной активности с увеличением процентного содержания гетита в исходном составе подтверждается уменьшением величины адсорбции метиленового

голубого. Емкость образцов по отношению к мазуту с поверхности воды уменьшается в той же последовательности.

Также к важнейшим характеристикам нефтяных сорбентов относится величина водопоглощения, отражающая насколько эффективно сорбент впитывает и удерживает в себе воду. Уменьшение величины водопоглощения свидетельствует об увеличении эффективности применения сорбента для ликвидации нефти и нефтепродуктов (см. табл. 1).

При этом об усилении магнитных свойств можно косвенно судить по количеству поднятого за раз связанного с мазутом сорбента с поверхности воды неодимовым магнитом при изменении содержания железосодержащего шлама в исходной суспензии (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

**Результаты испытаний магнитных свойств
Magnetic properties test results**

Содержание железосодержащего шлама в исходной суспензии, % / Content of iron-containing sludge in the initial suspension, %	Средняя масса сорбента с мазутом, собранная магнитом, г / Average mass of sorbent with fuel oil collected by magnet, g	Среднее остаточное содержание нефтепродуктов, мг/дм ³ / Average residual content of petroleum products, mg/dm ³
4	1,2	148,1
8	1,7	59,5
12	2,7	78,5

Для оценки эффективности очистки определяли остаточное содержание нефтепродуктов после удаления мазута с поверхности воды магнитоуправляемым нефтесорбентом. Меньшее среднее количество оставшегося мазута в растворе (59,5 мг/дм³) после сорбции получено для образца с 8%-ным содержанием железосодержащего шлама в исходном составе (см. табл. 2).

Заключение

Совместная утилизация сосновых опилок и осадка промывного фильтра станции водоподготовки при 500°C позволяет получить магнитные сорбенты для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды. Увеличение железосодержащего шлама в исходном составе приводит к увеличению магнитных свойств материала и снижению величины водопоглощения, однако это сопровождается уменьшением сорбционных характеристик,

таких как сорбционная емкость по метиленовому голубому и нефтеемкость по мазуту. Оптимальным результатом можно считать нефтеемкость сорбента с содержанием железосодержащего шлама 8%.

Список литературы

1. Сироткина Е. Е., Новоселова Л. Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов непосредственный // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 3. С. 359–377.
2. Русинов Д. А. Новая технология производства гранулированного сорбента на основе природного глауконита // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды : материалы I Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием / отв. ред. А. В. Русинов. Саратов : КУБиК, 2019. С. 209–212.
3. Мерициди И. А., Шлапаков А. В. Критерии выбора нефтяного сорбента для локализации аварийных разливов нефти на поверхности водоемов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2007. № 4. С. 52–57.



4. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. 268 с.
5. Новикова Л. А., Томина Е. В., Молчанова О. Н., Жукова Е. А., Дорошенко А. В., Тюпина Е. А. Сорбция ионов меди из водных растворов высокодисперсными ферритами кобальта и цинка // Сорбционные и хроматографические процессы. 2024. Т. 24, № 5. С. 695–710. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12509>
6. Faraji M., Shirani M., Rashidi-Nodeh H. The recent advances in magnetic sorbents and their applications // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2021. Vol. 141. Art. 116302. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116302>
7. Dabagh Sh., Haris S. A., Ertas Y. N. Engineered polyethylene glycol-coated zinc ferrite nanoparticles as a novel magnetic resonance imaging contrast agent // ACS Biomaterials Science & Engineering. 2023. № 9 (7). <https://doi.org/10.1021/acsbio-materials.3c00255>
8. Кулакова И. И., Лисичкин Г. В. Ликвидация аварийных разливов нефти. Сорбционная очистка поверхности акваторий от нефтяных загрязнений : учебное пособие. М. : МГУ, 2022. 82 с.
9. Лубенцова К. И. Получение и исследование физико-химических свойств композитных сорбентов на основе полистирольных матриц с нанодисперсными оксидами железа : дис. ... канд. хим. наук. М., 2016. 145 с.
10. Ali A., Shah T., Ullah R., Zhou P., Guo M., Ovais M., Tan Z., Rui Y. Review on recent progress in magnetic nanoparticles: Synthesis, characterization, and diverse applications // Front. Chem. 2021. Vol. 9. Art. 629054. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.629054>
11. Osman A. I., El-Monaem E. M. A., Elgarahy A. M. Methods to prepare bio sorbents and magnetic sorbents for water treatment: A review // Environ. Chem. Lett. 2023. Vol. 21. P. 2337–2398. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01603-4>
12. Черных Я. Ю., Верещагина Т. А., Мазурова Е. В., Парфенов В. А., Соловьев Л. А., Верещагин С. Н., Шаронова О. М. Магнитные композитные сорбенты для извлечения тяжелых металлов из жидких отходов и их иммобилизации в минералоподобной матрице // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2019. Т. 12, № 3. С. 446–457. <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0141>
13. Порожнюк Л. А., Лушиников А. С., Старостина И. В. Использование углеродсодержащего сорбционного материала для извлечения эмульгированных нефтепродуктов из водных сред // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 1 (310). С. 55–61. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-1\(310\)-55-61](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-1(310)-55-61)
14. Веденяпина М. Д., Курмышева А. Ю., Кряжев Ю. Г., Ершова В. А. Магнитные железосодержащие углеродные материалы как сорбенты для извлечения загрязнителей из водных сред (обзор) // Химия твердого топлива. 2021. № 5. С. 15–37. <https://doi.org/10.31857/S0023117721050078>, EDN: PXWWVJ
15. Ушакова Е. С., Ушаков А. Г., Шурдова А. Е., Романова А. Е. Разработка магнетитового ядра сорбентов для очистки водных сред от загрязнений // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 1 (167). С. 79–86. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2025-1-79-86>, EDN: HBWMYY
16. Горелая О. Н., Романовский В. И. Сорбент для очистки нефтесодержащих сточных вод на основе отходов станций обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 10. С. 48–54.
17. Калаева С. З., Макаров В. М., Маркелова Н. Л. Получение магнетита восстановлением осадков станций обезжелезивания воды отходами активированного угля // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. Вып. 1. С. 64–71.
18. Максимов Л. И., Миронов В. В. Совершенствование технологии получения высокодисперсных порошков металлического железа из осадка станции обезжелезивания // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22, № 2. С. 162–173. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-2-162-173>
19. Коршикова Е. С. Использование модифицированных отходов деревообрабатывающего производства в сорбционной очистке сточных вод // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : сборник статей 81-й Всерос. науч.-техн. конф. (Самара, 15–19 апреля 2024 г.). Самара : Самарский государственный технический университет, 2024. С. 528–538. EDN: QGJJUK
20. Венрикова Е. В., Цыганова С. И., Терещенко Е. А. Магнитные сорбенты на основе коры сосны для сбора нефти и нефтепродуктов // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 219–224.
21. Усова Е. Л., Решетова А. А., Полещук И. Н., Пимнева Л. А. Исследование адсорбции ионов меди, никеля и цинка на цеолитсодержащем сорбенте, синтезированном из отходов ТЭС // Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23, № 6. С. 1034–1041. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11864>
22. Усова Н. Т., Лукашевич О. Д., Герб Л. В., Гончаров О. Ю. Утилизация отходов водоподготовки станций обезжелезивания // Водоочистка. 2012. № 2. С. 33–40.
23. Торопков Н. Е., Кутугин В. А. Возможные пути переработки отходов станции обезжелезивания // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 11 (30). С. 54–55. EDN: TBVTIWZ
24. Искендрова А. К., Курманалиев М. К., Сулейменова М. Ш. Сорбция нефтепродуктов природными



сорбентами // Вестник Алматинского технологического университета. 2020. № 3/1. С. 47–52. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2020-3/1-47-52>

25. Веприкова Е. В., Терещенко Е. А. Особенности очистки воды и нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // Журнал Сибирского федерального университета. 2010. № 3. С. 285–303.

Reference

1. Sirotkina E. E., Novoselova L. Yu. Materials for direct adsorption purification of water from oil and oil products. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005, no. 3, pp. 359–377 (in Russian).
2. Rusinov D. A. New technology for the production of granulated sorbent based on natural glauconite. In: Rusinov D. A., ed. *Innovations in Nature Management and Environmental Protection: Proc. I National scientific and practical conf. with intern. participation*. Saratov, KUBiK, 2019, pp. 209–212 (in Russian).
3. Mericidi I. A., Shlapakov A. V. Criteria for selecting an oil sorbent for localizing emergency oil spills on the surface of water bodies. *Bulletin of Quality Management in Oil and Gas Industry*, 2007, no. 4, pp. 52–57 (in Russian).
4. Kamenshchikov F. A., Bogomolny E. I. *Neftyanye sorbenty* [Oil sorbents products]. Moscow, Izhevsk, Institute of Computer Research Publ., 2003. 268 p. (in Russian).
5. Novikova L. A., Tomina E. V., Molchanova O. N., Zhukova E. A., Doroshenko A. V., Tyupina E. A. Sorption of copper ions from aqueous solutions by highly dispersed cobalt and zinc ferrites. *Sorption and Chromatographic Processes*, 2024, vol. 24, no. 5, pp. 695–710 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2024.24/12509>
6. Faraji M., Shirani M., Rashidi-Nodeh H. The recent advances in magnetic sorbents and their applications. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2021, vol. 141, art. 116302. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116302>.
7. Dabagh Sh., Haris S. A., Ertas Y. N. Engineered polyethylene glycol-coated zinc ferrite nanoparticles as a novel magnetic resonance imaging contrast agent. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 2023, no. 9 (7). <https://doi.org/10.1021/acsbio-mater.3c00255>.
8. Kulakova I. I., Lisichkin G. V. *Likvidatsiya avarijnykh razlivov nefi. Sorbcionnaya ochistka poverxnosti akvatorii ot neftyanykh zagryaznenii: uchebnoe posobie* [Liquidation of emergency oil spills. Sorption cleaning of water surfaces from oil pollution: A tutorial]. Moscow, Moscow University Press, 2022. 82 p. (in Russian).
9. Lubentsova K. I. *Production and Study of the Physicochemical Properties of Composite Sorbents Based on Polystyrene Matrices with Nanodispersed Iron Oxides*. Diss. Cand. Sci. (Chem.). Moscow, 2016. 145 p. (in Russian).
10. Ali A., Shah T., Ullah R., Zhou P., Guo M., Ovais M., Tan Z., Rui Y. Review on recent progress in magnetic nanoparticles: Synthesis, characterization, and diverse applications. *Front. Chem.*, 2021, vol. 9, art. 629054. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.629054>
11. Osman A. I., El-Monaem E. M. A., Elgarahy A. M. Methods to prepare bio sorbents and magnetic sorbents for water treatment: A review. *Environ. Chem. Lett.*, 2023, vol. 21, pp. 2337–2398. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01603-4>
12. Chernyh Ya. Yu., Vereshchagina T. A., Mazurova E. V., Parfenov V. A., Solovov L. A., Vereshchagin S. N., Sharonova O. M. Magnetic composite sorbents for trapping heavy metals from liquid waste and their immobilization in a mineral-like matrix. *J. Sib. Fed. Univer. Chem.*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 446–457 (in Russian). <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0141>
13. Porozhnyuk L. A., Lushnikov A. S., Starostina I. V. Use of carbon-containing sorption material for the extraction of emulsified petroleum products from aqueous media. *Environmental Protection in the Oil and Gas Complex*, 2023, no. 1 (310), pp. 55–61 (in Russian). [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-1\(310\)-55-61](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-1(310)-55-61)
14. Vedenyapina M. D., Kurmysheva A. Yu., Kryazhev Yu. G., Ershova V. A. Magnetic iron-containing carbon materials as sorbents for the extraction of pollutants from aqueous media (review). *Chemistry of Solid Fuel.*, 2021, no. 5, pp. 15–37 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0023117721050078>, EDN: PXWWVJ
15. Ushakova E. S., Ushakov A. G., Shurdova A. E., Romanova A. E. Development of a magnetite core of sorbents for cleaning aquatic environments from pollutants. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2025, no. 1 (167), pp. 79–86 (in Russian). <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2025-1-79-86>, EDN: HBWMYY
16. Gorelaya O. N., Romanovsky V. I. Sorbent for cleaning oil-containing wastewater based on waste from iron removal stations. *Water Supply and Sanitary Technique*, 2020, no. 10, pp. 48–54 (in Russian).
17. Kalayeva S. Z., Makarov V. M., Markelova N. L. Obtaining magnetite by reducing sludge from water deironing stations with activated carbon waste. *Bulletin of Tula State University. Earth Sciences*, 2019, no. 1, pp. 64–71 (in Russian).
18. Maksimov L. I., Mironov V. V. Improvement of the technology for obtaining highly dispersed metallic iron powders from sludge from an iron removal station. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 162–173 (in Russian). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-2-162-173>
19. Korshikova E. S. Use of modified woodworking waste in sorption wastewater treatment. *Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction*



- and Construction Technologies: Collection of articles of the 81st All-Russian scientific and technical conference (Samara, April 15–19, 2024). Samara, Samara State Technical University Publ., 2024, pp. 528–538 (in Russian). EDN: QGJJUK
20. Veprikova E. V., Tsyganova S. I., Tereshchenko E. A. Magnetic sorbents based on pine bark for the collection of oil and oil products. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2015, no. 2, pp. 219–224 (in Russian).
21. Usova E. L., Reshetova A. A., Poleshchuk I. N., Pimneva L. A. Study of adsorption of copper, nickel and zinc ions on a zeolite-containing sorbent synthesized from thermal power plant waste. *Sorption and Chromatographic Processes*, 2023, vol. 23, no. 6, pp. 1034–1041 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/sorp chrom.2023.23/11864>
22. Usova N. T., Lukashevich O. D., Gerb L. V., Goncharov O. Yu. Disposal of waste from water treatment plants. *Water Purification*, 2012, no. 2, pp. 33–40 (in Russian).
23. Toropkov N. E., Kutugin V. A. Possible ways of processing waste from iron removal plants. *International Research Journal*, 2014, no. 11 (30), pp. 54–55 (in Russian). EDN: TBTIWZ
24. Iskendirova A. K., Kurmanaliev M. K., Suleimеноva M. Sh. Sorption of petroleum products with natural sorbents. *Journal of Almaty Technological University*, 2020, no. 3/1, pp. 47–52 (in Russian). <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2020-3/1-47-52>
25. Veprikova E. V., Tereshchenko E. A. Features of water and oil product purification using oil sorbents, filter materials and activated carbons. *Journal of the Siberian Federal University*, 2010, no. 3, pp. 285–303 (in Russian).

Поступила в редакцию 24.11.2025; одобрена после рецензирования 19.02.2026; принята к публикации 28.02.2026
The article was submitted 24.11.2025; approved after reviewing 19.02.2026; accepted for publication 28.02.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 148–158

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 148–158

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-148-158>, EDN: CMHZQH

Научная статья

УДК 547.458.6+[54.057+544.723]

Влияние архитектуры трёхмерной сетки графт-сополимера ксантана с акриламидом на его сорбционные свойства в модельных средах различной химической природы



А. К. Смирнов , Е. Р. Сиськова, А. Б. Шиповская

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Смирнов Антон Константинович, аспирант Института химии, anton.smirnov.98@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4759-3432>

Сиськова Евгения Романовна, студент 3-го курса Института химии, yevgeniya.siskova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2178-3413>

Шиповская Анна Борисовна, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой полимеров на базе ООО «АКРИПОЛ» Института химии, начальник отдела высокомолекулярных соединений Образовательно-научного института наноструктур и биосистем, shipovskayaab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1916-4067>

Аннотация. Графт-сополимеры на основе природных полисахаридов являются перспективными материалами для создания био-разлагаемых сорбентов с регулируемым комплексом свойств. В работе методом радикальной микроволновой полимеризации синтезированы девять образцов водонабухающего графт-сополимера ксантана с акриламидом. Исследовано влияние стадии введения (иницирование, рост или обрыв цепи) сшивающего агента и массового соотношения компонентов химической реакции, определяющих архитектуру полимерной сетки, на сорбционные характеристики полученного материала. Установлено, что сорбционная способность графт-сополимера в воде (рН 7) и водно-солевой среде (20% NaCl, $I = 3.4$ М, рН 7) достигает 15.0 г/г, что превышает водопоглощающую способность описанных в литературе ксантан-содержащих сорбентов. Сорбционная способность в 0.1 мМ HCl ($I = 0.1$ мМ, рН 4) и 0.1 мМ NaOH ($I = 0.1$ мМ, рН 10) снижается до 10.3 г/г, но по сравнению с аналогичными сорбентами остаётся достаточно высокой. Степень сорбции водной фазы коррелирует с архитектурой пространственной сетки: максимальное водопоглощение характерно для образцов с высокой долей полиакриламида, синтезированных при введении сшивающего агента на стадиях роста или обрыва цепи. На процесс водопоглощения в кислой и щелочной средах дополнительное влияние оказывают конформационные изменения ксантановой матрицы, гидролиз полиакриламидных ветвей, а также расположение, количество и плотность швов макроцепей. При этом сорбционные свойства материала сохраняются в условиях повторяющихся циклов набухания–сушка. Обнаружено также, что синтезированные образцы графт-сополимера проявляют способность селективного извлечения водной фазы из водонефтяной эмульсии. В модельном эксперименте с использованием почвогрунта и тест-растений выявлена влагоудерживающая способность и нетоксичность исследованного графт-сополимера. Совокупность полученных результатов позволяет рассматривать синтезированный графт-сополимер ксантана с акриламидом в качестве перспективного экологически безопасного сорбционного материала для очистки природных и технических вод, извлечения воды из специфических водоземulsionных сред, влагоудерживающих агентов для сельского хозяйства и агробиотехнологий.

Ключевые слова: графт-сополимер, ксантан, акриламид, микроволновое излучение, сорбция, водопоглощение, устойчивость

Для цитирования: Смирнов А. К., Сиськова Е. Р., Шиповская А. Б. Влияние архитектуры трёхмерной сетки графт-сополимера ксантана с акриламидом на его сорбционные свойства в модельных средах различной химической природы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 148–158. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-148-158>, EDN: CMHZQH

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Influence of the three-dimensional network architecture of xanthan gum-graft-polyacrylamide copolymer on its sorption properties in model media of different chemical nature

А. К. Smirnov , Е. R. Siskova, А. B. Shipovskaya

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Anton K. Smirnov, anton.smirnov.98@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4759-3432>

Evgenia R. Siskova, yevgeniya.siskova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2178-3413>

Anna B. Shipovskaya, shipovskayaab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1916-4067>

© Смирнов А. К., Сиськова Е. Р., Шиповская А. Б., 2026



Abstract. Graft copolymers based on natural polysaccharides are promising materials for the development of biodegradable sorbents with a tunable set of properties. In this work, nine samples of a water-swelling graft copolymer of xanthan gum with acrylamide have been synthesized via radical microwave polymerization. The influence of the crosslinking agent introduction stage (initiation, propagation, or termination) and the mass ratio of the chemical reaction components, which determine the polymer network architecture, on the sorption characteristics of the obtained material have been investigated. It has been established that the sorption capacity of the graft copolymer in water (pH 7) and in a saline medium (20% NaCl, $I = 3.4$ M, pH 7) reaches 15.0 g/g, which exceeds the water absorption capacity of xanthan-containing sorbents described in the literature. The sorption capacity in 0.1 mM HCl ($I = 0.1$ mM, pH 4) and 0.1 mM NaOH ($I = 0.1$ mM, pH 10) decreases to 10.3 g/g but remains relatively high compared to similar sorbents. The degree of aqueous phase sorption correlates with the architecture of the spatial network: maximum water absorption is characteristic of samples with a high proportion of polyacrylamide, synthesized by introducing the crosslinking agent at the propagation or termination stages. The water absorption process in acidic and alkaline media is additionally influenced by conformational changes in the xanthan matrix, hydrolysis of polyacrylamide chains, as well as the location, number, and density of crosslinks of the macromolecular chain segments. The synthesized graft copolymer samples exhibit the ability to selectively extract the aqueous phase from a water-oil emulsion. The preservation of the material's sorption properties under repeated swelling-drying cycles has been observed. In a model experiment using potting soil and test plants, the water-retention capacity of the studied samples has been revealed, as well as the absence of phytotoxicity. The combination of the obtained results allows the synthesized xanthan gum graft copolymers with acrylamide to be considered as promising environmentally friendly sorbent materials for the purification of natural and industrial waters, the extraction of water from specific water-emulsion media, and as water-retention agents for agriculture and agribiotechnology.

Keywords: graft copolymer, xanthan, acrylamide, microwave radiation, sorption, swelling, stability

For citation: Smirnov A. K., Siskova E. R., Shipovskaya A. B. Influence of the three-dimensional network architecture of xanthan gum-graft-polyacrylamide copolymer on its sorption properties in model media of different chemical nature. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 148–158 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-148-158>, EDN: CMHZQH

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Поиск и разработка высокоэффективных сорбентов на основе высокомолекулярных соединений, способных поглощать и удерживать большое количество воды, является важной задачей полимерного материаловедения [1–3]. Водопоглощающие сорбционные материалы находят применение в разных сферах промышленности и сельского хозяйства, включая агроэкологические приложения. Поскольку такие сорбенты используются для решения задач ресурсосбережения, ремедиации и мелиорации, к ним предъявляются высокие стандарты качества и эффективности [4, 5]. Полимерный материал должен обладать высокой сорбционной способностью, быть экологически безопасным и устойчивым к широкому спектру химических сред, а также выдерживать многократное использование [6].

Перспективным решением видится применение биоразлагаемых сорбентов на основе разветвленных графт-сополимеров, получаемых модификацией природных полисахаридов (целлюлозы, хитозана, пуллулана, альгинатов, ксантана и др.) посредством ковалентного присоединения синтетических полимерных цепей [7–9]. Это позволяет совместить в сорбционном материале биоразлагаемость и экологичность природной матрицы с прецизионными функциональными свойствами синтетического компонента. Важным преимуществом приви-

той сополимеризации является возможность регулирования молекулярной структуры и, соответственно, свойств сорбента путем варьирования типа прививаемого мономера, а также длины и плотности упорядочения боковых цепей. Модификация параметров и условий синтеза, включая соотношение компонентов, время реакции, тип и концентрацию сшивающего агента, позволяет на базе одного графт-сополимера создать несколько разновидностей сорбционных материалов, которые могут быть использованы для решения различных задач в области сорбции [10–12].

Особый интерес в ряду природных полисахаридов представляет ксантан, что обусловлено сочетанием уникальных реологических свойств с устойчивостью данного полимера в широком диапазоне pH и ионной силы среды, а также наличием в элементарных звеньях боковых макроцепей реакционноспособных карбоксильных групп [13, 14]. Это обуславливает его перспективность для создания «интеллектуальных» сорбентов, функциональные характеристики которых могут быть оптимизированы посредством модификации пространственной структуры полимерной матрицы [15, 16].

Ранее нами было установлено, что архитектура полимерной сетки водонабухающего графт-сополимера ксантана с акриламидом, задаваемая введением сшивающего агента на стадии инициирования (t_i), роста (t_p) или обрыва цепи (t_r) и соотношением природной и



синтетической составляющих, влияет на равновесную степень набухания полимера в воде и кинетику сорбции модельных красителей [10]. С практической точки зрения, для детального изучения водопоглощающих характеристик графт-сополимера необходимы исследования в модельных средах, максимально имитирующих реальные условия эксплуатации материала. Важным является изучение сорбционных свойств и стабильности полимера в условиях химического стресса, например, в кислых и щелочных средах, высокоминерализованных рассолах, а также в водно-нефтяных эмульсиях, где на процесс сорбции могут влиять поверхностные явления и конкурентное поглощение компонентов. Проведение данных исследований представляет собой обязательный этап для осуществления прогнозирования и повышения эффективности практического применения сорбента. Так, в отличие от ксантана, полиакриламид нестабилен в щелочных средах и подвержен процессу гидролиза. Однако продукт его сополимеризации с полисахаридом, благодаря присущей графт-сополимерам компенсации недостатков как природной, так и синтетической составляющих, должен проявлять синергетический эффект, объединяя положительные свойства обоих компонентов.

Цель работы – исследование сорбционных свойств графт-сополимера ксантана с акриламидом, в котором варьируются параметры архитектуры трёхмерной сетки, в смешанных водных средах разной химической природы, уровня pH и ионной силы, имитирующих поведение сорбционного материала в реальных условиях промышленной эксплуатации.

Материалы и методы

Материалы

В работе использовали порошкообразный образец ксантана (КС) со средневязкостной молекулярной массой 1700 кДа от TNN group DL (Далянь, Китай), 40% водный раствор акриламида (АА) и порошок N,N-метиленабисакриламида (МБА) от ООО «АКРИПОЛ» (Саратов, РФ), персульфат аммония (ПСА) компании Hebei Fiza Technology Co., Ltd (Хэбэй, Китай), 95% этиловый, изопропиловый спирты и хлорид натрия ХЧ от АО «ВЕКТОН» (Санкт-Петербург, РФ), соляную кислоту фик-

санал от АО «НПИП «Уралхиминвест» (Уфа, РФ), гидроксид натрия ХЧ от ЗАО ЛАВЕРНА (Москва, РФ), дистиллированную воду.

В качестве модельных сорбционных сред выбраны водные растворы NaCl, HCl и NaOH, нефть и водонефтяная эмульсия. 20% раствор NaCl (pH 7; $I = 3.4$ М) и 0.1 мМ раствор NaOH (pH 10; $I = 0.1$ мМ) готовили растворением расчётных навесок в дистиллированной воде по стандартной методике. 0.1 мМ раствор HCl (pH 4, $I = 0.1$ мМ) готовили из фиксанала. Эмульсию «вода в нефти» получали введением дистиллированной воды в нефтяную фазу в объёмном соотношении нефть:вода = 70:30 при механическом перемешивании.

Микроволновый синтез графт-сополимера

Синтез графт-сополимера проводили по методике, описанной в работе [10], с десятикратным увеличением количеств исходных реагентов при сохранении их стехиометрического соотношения. В реакционную колбу последовательно вносили 120 мл 1% раствора ксантана, 30 мл 1% раствора ПСА и заданный объём 40% раствора АА. Массу АА (m_{AA}) в реакционной смеси варьировали в диапазоне 8–32 г, масса КС ($m_{КС}$) оставалась постоянной, 1.2 г. Полимеризацию проводили под действием микроволнового излучения (MW, 700 Вт) в течение 3 мин (t) и введением сшивающего агента МВА на стадии иницирования ($t_i = 0$ мин), либо роста ($t_p = 1$ мин) или завершения роста цепи ($t_f = 3$ мин). По окончании реакции продукт очищали от гомополимера и непрореагировавшего мономера промывкой водно-этанольной смесью (80:20). Затем осаждали в аналогичной смеси при температуре 4°C в течение 48 ч. Синтезированный продукт высушивали при 70°C до достижения постоянной массы и измельчали до порошкообразного состояния и среднего размера частиц 5 ± 2 мкм. Далее графт-сополимер будем обозначать как КС-прив-ПАА-№, где ПАА – боковые цепи полиакриламида, № – номер образца в табл. 1.

Методы исследования

Гравиметрические измерения проводили на аналитических весах Ohaus Discovery (США), точность взвешивания ± 0.01 мг.

Степень прививки рассчитывали по формуле

$$G = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%,$$



Таблица 1 / Table 1

Характеристика образцов графт-сополимера КС-прив-ПАА
Characteristics of XG-g-PAA graft copolymer samples

№ КС-прив-ПАА / No. XG-g-PAAm	Условия синтеза / Synthesis conditions		Степень прививки G, % / Grafting degree G, %
	Соотношение $m_{КС} : m_{АА}$ в реакционной смеси, г:г / $m_{XG} : m_{AA}$ ratio in the reaction mixture, g:g	Стадия введения сшивающего агента / Stage of crosslinking agent introduction	
1	1.2:8	t_i	530
2		t_p	640
3		t_f	815
4	1.2:16	t_i	1440
5		t_p	1790
6		t_f	1475
7	1.2:32	t_i	2910
8		t_p	3150
9		t_f	3120

где m_0 и m_1 – масса взятого в реакцию полисахарида и синтезированного графт-сополимера соответственно, г.

Водопоглощающую способность (W , г/г) привитого сополимера в воде (W_{H_2O} , контроль), водно-солевой (W_{NaCl}), водно-кислотной (W_{HCl}) и водно-щелочной средах (W_{NaOH}), нефти (W_H) и водонефтяной эмульсии ($W_{эм}$) оценивали иммерсионным методом, выдерживая образцы в сорбционной среде при $22 \pm 2^\circ C$ течение 48 ч (t_c). Водопоглощение рассчитывали по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%,$$

где m_0 и m_1 – масса воздушно-сухого и набухшего образца графт-сополимера соответственно, г.

Стабильность графт-сополимера оценивали путем циклического попеременного процесса сорбция–десорбция. Сорбционный процесс проводили в дистиллированной воде как описано выше в течение 24 ч. Перед каждым циклом сорбции образцы, набухшие до равновесного значения W_{H_2O} , высушивали в сушильном шкафу 2В-151 (РФ) при $70^\circ C$ до воздушно-сухого состояния. Продолжительность опыта составила 6 циклов.

Влагоудерживающие свойства графт-сополимера изучали на модели почвогрунта ООО «ФАБРИКА ГРУНТОВ» (Екатеринбург, РФ) и тест-растений пшеницы *Triticum aestivum* L. с мочковатой корневой системой и льна *Linum usitatissimum* L. со стержневой. Образец графт-

сополимера массой 0.5 г предварительно выдерживали в воде до достижения равновесной степени сорбции, затем помещали в 250 г почвогрунта, в который высаживали тест-семена и поливали 250 мл воды (экспериментальная группа). Выращивание тест-растений проводили согласно технологии их посадки и ухода в течение 15 сут с регулярным поливом в объеме 250 мл воды один раз в пять суток. Аналогичные эксперименты в идентичных условиях проводили на исходном почвогрунте без добавления полимера (контрольная группа). Сравнительный анализ экспериментальной и контрольной групп проводили по параметрам всхожести, длины корней и побегов тест-растения.

Результаты и их обсуждение

Сорбционные свойства графт-сополимера КС-прив-ПАА в водной среде при варьировании ионной силы и pH

В результате радикальной MW-полимеризации были синтезированы девять образцов сшитого графт-сополимера ксантана с акриламидом, различающихся по параметрам архитектуры пространственной сетки. Различия достигались за счет изменения стадии и, соответственно, времени добавления в реакционную смесь сшивающего агента, который вводили на этапах инициирования ($t_i = 0$ мин), роста ($t_p = 1$ мин) или обрыва цепи ($t_f = 3$ мин).



Также варьировалось массовое соотношение исходных компонентов реакции: ксантана ($m_{КС}$) и акриламида ($m_{АА}$).

Образцы графт-сополимера КС-прив-ПАА-[1, 4, 7], полученные при введении МВА на этапе инициирования, характеризуются хаотично сшитой плотной пространственной сеткой, охватывающей как боковые ответвления ПАА, так и основную цепь КС [10]. Образцы КС-прив-ПАА-[2, 5, 8,] и КС-прив-ПАА-[3, 6, 9], т.е. полученные при введении МВА на стадии роста боковых ответвлений или обрыва кинетических цепей, имеют более рыхлую сетчатую структуру, образованную преимущественно посредством сшивания цепей ПАА, с меньшим количеством узлов и увеличенным расстоянием между ними для КС-прив-ПАА-[3, 6, 9]. При этом в процессе введения МВА на поздних стадиях полимеризации наблюдается увеличение степени прививки графт-сополимера (см. табл. 1). Значения G возрастают и с повышением массовой доли взятого в реакцию АА, достигая максимальных показателей для образцов КС-прив-ПАА-[7–9].

Синтезированные образцы графт-сополимера продемонстрировали способность к водопоглощению во всех исследованных

сорбатах, включая воду, водно-солевую, водно-кислотную, водно-щелочную и водно-нефтяную среды. Разрушения и деградации графт-сополимера в течение сорбционных экспериментов не обнаружено. Рассмотрим отдельно сорбционные свойства образцов в каждой из указанных сред.

Сорбция воды

Процесс поглощения воды (рН 7) образцами привитого сополимера КС-прив-ПАА характеризуется классическими закономерностями: зависимость $W_{H_2O} = f(t_c)$ подчиняется закону Фика с достижением равновесных значений степени сорбции (рис. 1, а). Фаза интенсивного набухания наблюдается в течение 10 ч, а равновесное значение W_{H_2O} достигается за 24 ч. Реализуемые значения водопоглощения варьируются в диапазоне 9.7–14.7 г/г и сравнительно высокие. Более того, образцы КС-прив-ПАА-[6, 9] демонстрируют значения W_{H_2O} , превышающие таковые для описанных в литературе графт-сополимеров КС с АА [15, 17]. Степень поглощения воды возрастает при увеличении доли ПАА в графт-сополимере и, соответственно, степени прививки образцов, а также при введении сшивающего агента на более поздней стадии полимеризации (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Характеристика сорбционной способности образцов графт-сополимера КС-прив-ПАА в сорбционных средах различной химической природы
Characteristics of the sorption capacity of samples of graft copolymer KS-priv-PAА in sorption media of various chemical nature

№	Сорбционные среды / Sorption Media					
	Водная среда / Aqueous medium				Нефтяная среда, об.% / Oil medium, vol.%	
	H ₂ O рН 7 (контроль / control)	20% NaCl рН 7 $I = 3.4$ М	0.1 мМ HCl рН 4 $I = 0.1$ мМ	0.1 мМ NaOH рН 10 $I = 0.1$ мМ	Нефть:вода / Oil:water 70:30	Нефть / Oil 100
	Степень сорбции, г/г / Degree of sorption, g/g					
	W_{H_2O}	W_{NaCl}	W_{HCl}	W_{NaOH}	$W_{ЭМ}$	W_H
1	9.74±2.39	11.69±1.05	10.10±1.10	10.20±0.61	6.0	0.4
2	8.89±1.21	11.82±0.67	9.25±0.47	10.25±2.35	5.6	0.2
3	10.30±4.93	7.12±4.50	3.68±0.80	1.11±0.33	0.1	0.1
4	10.02±1.65	12.50±1.31	8.62±0.14	9.21±0.25	7.5	0.1
5	10.94±1.94	13.25±2.89	7.01±1.20	7.71±2.02	6.7	0.1
6	14.47±1.90	15.04±3.84	8.72±0.86	10.77±2.33	4.4	0.1
7	11.57±2.57	8.41±1.95	6.80±0.89	7.19±0.70	8.3	0.3
8	12.72±1.61	12.86±3.06	9.52±1.12	9.67±0.52	–	–
9	14.72±3.59	12.73±6.03	10.12±2.05	9.37±0.93	5.5	0.1

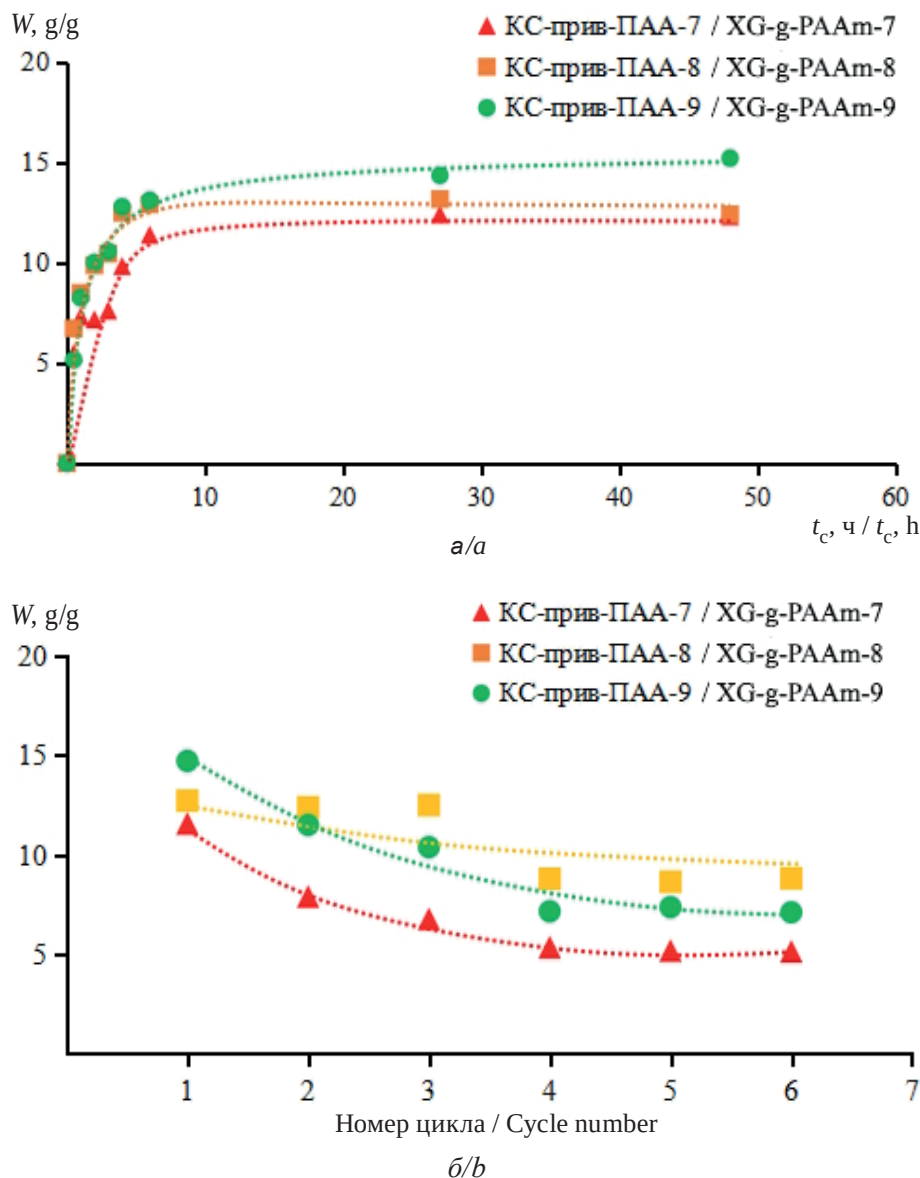


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции воды (а) и изменение водопоглощающей способности в зависимости от цикла сорбция–десорбция (б) для образцов графт-сополимера КС-прив-ПАА-[7–9]

Fig. 1. Kinetic curves of water sorption (a) and changes in water absorption capacity depending on the “swelling–drying” cycle (b) for samples of the graft copolymer XG-g-PAA-[7–9]

Процесс сушки образцов, подвергшихся предварительному набуханию в воде до равновесного значения W_{H_2O} , до воздушно-сухого состояния не оказывает существенного негативного влияния на их фундаментальные сорбционные свойства. Несмотря на то что графт-сополимер снижает первоначальную сорбционную способность в результате шести циклов сорбция–десорбция ($\Delta W_{H_2O} = 30\text{--}50\%$), эти изменения не являются значимыми для полисахаридсодержащих сорбентов (см. рис. 1, б,

показано на примере образцов КС-прив-ПАА-[7–9]). При этом воспроизводимость сорбционных свойств материала в условиях повторяющихся циклов набухание–сушка в значимой степени зависит от структурных особенностей графт-сополимера. Так, наиболее устойчивым к многократному набуханию в воде после высушивания оказался образец КС-прив-ПАА-8, полученный введением МВА на стадии роста (t_p) и с максимальным содержанием ПАА. На протяжении трёх циклов его сорбционная



способность снижается не более, чем на 5%. Образцы КС-прив-ПАА-[7, 9] также показали хорошую воспроизводимость водопоглощения, сохранив около 50% своей сорбционной способности даже после шестого цикла попеременного набухания и сушки.

Сорбция 20% водного раствора NaCl

Выбор для исследования сорбционных свойств графт-сополимера высококонцентрированной солевой среды ($I = 3.4$ М) обусловлен её близостью к свойствам природных высокоминерализованных рассолов. Анализ сорбционных параметров графт-сополимера в водно-солевом растворе, т.е. в условиях, соответствующих контрольной среде по значению pH, но с повышенной ионной силой, также как и в H_2O показал высокую сорбционную способность образцов, $W_{NaCl} = 7.1-15.0$ г/г (см. табл. 2). Примечательно, что в солевом растворе степень набухания КС-прив-ПАА с высокой долей ПАА ($m_{КС} : m_{ПАА} = 1.2:32$ г/г) сопоставима с водной средой, а с малой и средней – превышает таковую. Наилучшую сорбционную способность продемонстрировали образцы КС-прив-ПАА со средней долей ПАА ($m_{КС} : m_{ПАА} = 1.2:16$ г/г), особенно КС-прив-ПАА-6.

Сорбция 0.1 мМ растворов HCl и NaOH

Водопоглощающая способность графт-сополимера в кислой (pH 4) и щелочной средах (pH 10) при равной $I = 0.1$ мМ несколько ниже, чем в воде и солевом растворе (см. табл. 2), но достаточно высокая по сравнению с аналогичными ксантан-содержащими сорбентами [15, 17]. Как и в случае водопоглощения в H_2O и $NaCl + H_2O$, на степень сорбции значимое влияние оказывают структурные параметры трёхмерной пространственной сетки графт-сополимера. Для образцов с минимальной долей ПАА, КС-прив-ПАА-[1-3], наблюдается повышение водопоглощения в ряду $t_f \rightarrow t_p \rightarrow t_i$. Однако у образцов КС-прив-ПАА-[7-9], характеризующихся высокой долей ПАА в сополимере, в этом же ряду водонабухание убывает. Для КС-прив-ПАА-[4-6] видимой корреляции не отмечено. Зависимость водопоглощающей способности от соотношения $m_{КС} : m_{ПАА}$ также показывает сложный характер: водопоглощение в случае КС-прив-ПАА-[1, 4, 7] повышается с уменьшением доли ПАА, тогда как для КС-прив-ПАА-[3, 6, 9] наблюдается обратная за-

висимость. Для образцов КС-прив-ПАА-[2, 5, 8] явной корреляции не установлено.

Наблюдаемые закономерности, вероятно, можно объяснить сочетанием структурных особенностей графт-сополимера. В первую очередь, отклик ксантановой матрицы на изменение pH среды. В кислой среде COOH-группы КС недиссоциированы (нейтральны), электростатическое отталкивание минимально, следовательно, макроцепь приобретает компактную свёрнутую конформацию. В щелочной среде, наоборот, группы частично диссоциированы, что способствует разбуханию макро клубков за счёт электростатического отталкивания одноимённозаряженных функциональных групп. Такое поведение может частично нивелироваться в избытке ионов Na^+ , что приведёт к экранированию заряда и поджиманию клубков.

Кроме того, полиакриламидные ответвления в условиях обеих ионных сред могут подвергаться гидролизу с образованием COOH-групп. Так, при pH 4 процесс протекает сравнительно медленно и с побочной реакцией имидизации, что замедляет гидролиз. При pH 10 гидролиз протекает более эффективно, однако он замедляется формированием водородных связей между образовавшимися $-COOH$ и $-NH_2$ группами близлежащих и/или смежных сегментов макроцепей, а также образованием соли полиакриловой кислоты $-COO^-Na^+$.

Немалое влияние на сорбционные свойства графт-сополимера в кислой и щелочной средах оказывает стадия введения сшивающего агента, которая задаёт топологию поперечных контактов [10]. Раннее введение (стадия иницирования t_i) способствует образованию связей с участием ксантанового остова, формируя плотную сетчатую структуру. Позднее введение (стадия обрыва t_p) приводит к сшиванию преимущественно полиакриламидных цепей, создавая более эластичную и рыхлую сетку.

Рассмотрим предполагаемые взаимодействия на примере образцов КС-прив-ПАА-[1-3], т.е. с малой долей ПАА, при их набухании в водно-кислотной среде. Полисахаридная матрица (основная макроцепь) стремится к сжатию, а полиакриламидные цепи (боковые ответвления) начинают подвергаться гидролизу. Ожидается, что в таких условиях образцы должны проявлять низкую водопоглощающую способность,



однако для образца КС-прив-ПАА-1 она максимальна. Возможно, это связано с тем, что раннее введение сшивающего агента (стадия t_i) способствует образованию более плотной сетки и сшивок как между КС и ветвями ПАА, так и звеньями полисахарида. В результате МБА, как скрепка, удерживает ксантановую матрицу от сжатия. КС-прив-ПАА-2 близок по свойствам к первому образцу, вероятно, по причине образования незначительно меньшего числа узлов сшивки на КС и менее плотной трёхмерной сетки. Малая доля ПАА в данном случае не оказывает сильного влияния на локализацию узлов. На стадии обрыва цепи (t_p) вероятность образования таких связей заметно снижается, что приводит к резкому уменьшению водопоглощающей способности. Наблюдаемая аналогичная закономерность в щелочной среде, по-видимому, обусловлена сжатием ксантановой матрицы и полиакриламидных ответвлений вследствие экранирования $-\text{COO}^-$ групп избытком Na^+ . Низкие значения водопоглощения в $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$ и $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$ у образца КС-прив-ПАА-3 могут быть обусловлены негативным откликом графт-сополимера на сорбционную среду. Это выражается в коллапсе структуры ксантановой матрицы и аналогичном коллапсе и гидролизе полиакриламидных ответвлений вследствие меньшего количества сшивок-скрепок в сравнении с КС-прив-ПАА-[1, 2].

В случае КС-прив-ПАА-[7–9] с максимальной долей ПАА доминирующим фактором становится поведение боковых ответвлений и сорбционные закономерности согласуются с водонабуханием в водной среде. Вероятно, для образцов данной группы влияние кислотного и щелочного гидролиза минимально вследствие большего числа $-\text{NH}_2$ -групп, что замедляет и без того не быстрый процесс гидролиза. КС-прив-ПАА-[4–6] со средней долей ПАА являются промежуточными образцами, для которых влияние всех трёх факторов на сорбционные характеристики относительно сбалансировано.

Сорбция воды из водонефтяной эмульсии

Результаты изучения сорбционных характеристик демонстрируют высокий потенциал графт-сополимера КС с ПАА в области очистки водных сред. В связи с этим проведена оценка его эффективности для решения актуальной задачи нефтедобывающей отрасли, связанной с обезвоживанием водонефтяных эмульсий.

Оказалось, что все образцы обладают сорбционной способностью по отношению к водной фазе эмульсии «вода в нефти», поскольку адсорбция углеводородов исходной нефти практически нулевая, а водонефтяной эмульсии достигает 5.5–8.3 г/г (см. табл. 2). Наибольшую эффективность показали объекты, синтезированные с введением сшивающего агента на стадиях инициирования (t_i) и роста (t_p). Чем выше доля ПАА в сополимере, тем выше его сорбционная ёмкость, что характерно для всех стадий введения сшивающего агента. Такая тенденция объясняется формированием более рыхлой полимерной сетки при увеличении содержания ПАА и, соответственно, облегчением диффузии и иммобилизации молекул воды на сорбенте. Важно отметить, что в условиях водонефтяной эмульсии процесс набухания графт-сополимера сопровождается не только поглощением воды, но и возможной ко-сорбцией полярных компонентов нефти и ионов, присутствующих в водной фазе. Данный факт необходимо учитывать при оценке реальной эффективности материала для обезвоживания эмульсий.

Влагоудерживающие свойства графт-сополимера КС-прив-ПАА

Для тестирования влагоудерживающей способности графт-сополимера в почвогрунте выбраны образцы КС-прив-ПАА-[7–9] с максимальной сорбционной способностью. Объекты характеризуются высоким содержанием синтетических боковых ответвлений и отличаются стадией введения сшивающего агента.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что ксантансодержащий сорбент проявляет свойства влагоудерживающего агента. При фиксированном объёме полива (250 мл) внесение графт-сополимера в почвогрунт продлевает период поддержания оптимального уровня влажности на 20–24 ч по сравнению с контрольной группой. Наблюдаемый эффект, предположительно, обусловлен способностью сетчатой структуры сополимера удерживать влагу и постепенно высвобождать её по мере высыхания почвы.

Анализ морфометрических параметров тест-растений пшеницы *T. aestivum* L. и льна *L. usitatissimum* L. показал, что к завершению эксперимента все объекты экспериментальной группы достигли параметров, сопоставимых с контрольной группой (рис. 2). Для пшеницы

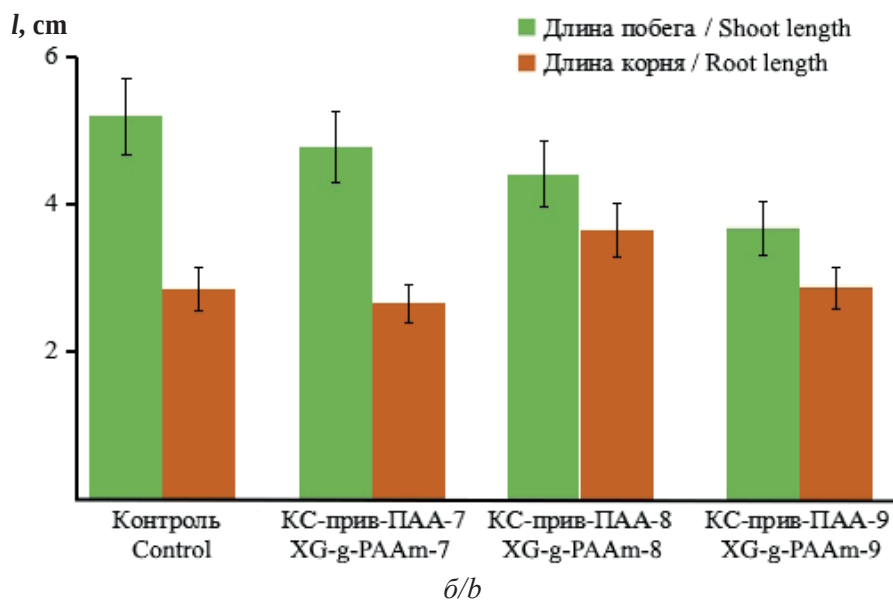
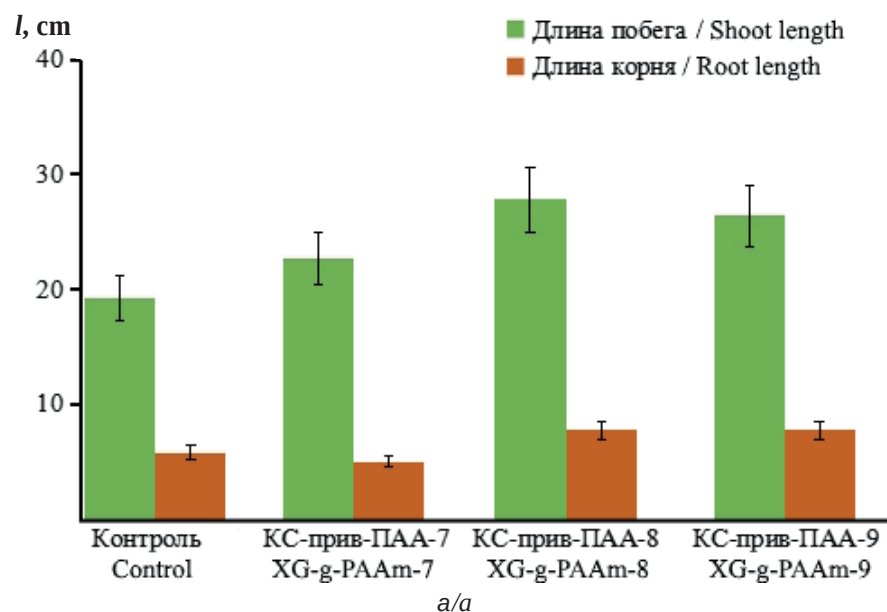


Рис. 2. Параметры тест-растений пшеницы *T. aestivum* L. (а) и льна *L. usitatissimum* L. (б), выращенных в почвогрунте без и с добавкой графт-сополимера КС-прив-ПАА (цвет онлайн)

Fig. 2. Parameters of test plants of wheat *T. aestivum* L. (a) and flax *L. usitatissimum* L. (b), grown in potting soil without and with the addition of the XG-g-PAA graft copolymer (color online)

было отмечено значительное превышение длины наземной и подземной частей проростков по сравнению с проростками, выращенными в почвогрунте без добавления графт-сополимера. В случае льна наблюдалась тенденция к увеличению длины корневой системы, наиболее выраженная при выращивании тест-растения в почвогрунте с добавлением КС-прив-ПАА-[8, 9].

Таким образом, результаты тестирования продемонстрировали не только высокую вла-

гоудерживающую способность исследованных образцов КС-прив-ПАА, но и отсутствие у них фитотоксичности. Учитывая воспроизводимость параметров водопоглощения в циклическом процессе набухания–сушка (см. рис. 1, б), практическое применение графт-сополимера КС с АА может способствовать оптимизации режима орошения сельскохозяйственных культур, сокращая частоту полива при обеспечении необходимой влажности почвы в межполивный период.



Заключение

В ходе проведенного исследования установлено, что образцы графт-сополимера КС-прив-ПАА демонстрируют высокую сорбционную активность по отношению к воде при ее сорбировании из водно-солевых, водно-кислотных, водно-щелочных и водонефтяных сред. Количественные характеристики водопоглощающей способности КС-прив-ПАА зависят от параметров пространственной сетки и конформационных особенностей межузловых участков полимерных цепей, которые определяются стадией введения сшивающего агента и долей боковых синтетических ответвлений. В некоторых случаях сорбционная способность превышает степень набухания известных ксантансодержащих графт-сополимеров [15, 17], что позволяет рассматривать синтезированный графт-сополимер в качестве высокоэффективного сорбционного материала. Сорбент проявляет механическую стабильность в условиях высококонцентрированного рассола с высокой ионной силой, что характерно исключительно для КС и не свойственно индивидуальному ПАА, а также обладает способностью извлекать водную фазу из водонефтяной эмульсии, что выделяет его среди сорбционных материалов как на основе ПАА, так и КС. Кроме того, выявлена возможность многократного применения графт-сополимера в различных циклических сорбционных процессах, а также в качестве влагоудерживающей добавки для сельскохозяйственных земель.

Список литературы

1. Zhang Y., Chen L., Wang H., Li J. Biodegradable superabsorbent hydrogels for soil moisture management // *Carbohydrate Polymers*. 2022. Vol. 292. Art. 119693. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119693>
2. Данилова Т. Н., Табынбаева Л. К., Кененбаев С. Б., Бойко В. С. Роль абсорбента AQUASORB в улучшении водоудерживающей способности почв // *Агрофизика*. 2018. Т. 2. С. 1–8. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.02.01>
3. Behera S., Mahanwar P. A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review // *Polymer-Plastics Technology and Materials*. 2020. Vol. 59, № 4. P. 341–356. <https://doi.org/10.1080/25740881.2019.1647239>
4. Soil remediation and plants: Prospects and challenges / eds. K. Hakeem, M. Sabir, M. Ozturk, A. R. Mermut. Academic Press, Elsevier, 2014. 752 p.
5. Копчик Г. Н. Современные подходы к ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) // *Почвоведение*. 2014. № 7. С. 851–868. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14070077>
6. Максимова Ю. Г., Щетко В. А., Максимов А. Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58, № 1. С. 23–42. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.23rus>
7. Мочалова А. Е., Круглова Е. Н., Юнин П. А., Апрятина К. В., Смирнова О. Н., Смирнова Л. А. Получение привитых и блок-сополимеров хитозана с виниловыми мономерами, их структура и свойства // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 2015. Т. 57, № 2. С. 99–112. <https://doi.org/10.7868/S2308113915020114>
8. Кузнецова Ю. Л., Морозова Е. А., Вавилова А. С., Маркин А. В., Смирнова О. Н., Захарычева Н. С., Лякаев Д. В., Семенычева Л. Л. Синтез биодegradуемых привитых сополимеров желатина и полиметилметакрилата // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2020. № 1. С. 22–29. <https://doi.org/10.31044/1994-6260-2020-0-1-22-29>
9. Kumar D., Pandey J., Raj V., Kumar P. A review on the modification of polysaccharide through graft copolymerization for various potential applications // *The Open Medicinal Chemistry Journal*. 2017. Vol. 11. Art. 109. <https://doi.org/10.2174/1874104501711010109>
10. Smirnov A. K., Pelipenko D. F., Shmakov S. L., Zakharevich A. M., Shipovskaya A. B. Effect of the crosslinker introduction stage on the structure and properties of xanthan gum–acrylamide graft copolymer // *Polymers*. 2025. Vol. 17. Art. 2841. <https://doi.org/10.3390/polym17212841>
11. Кудышкин В. О., Абрарова З. М., Бозоров Н. И., Жумартова У. У., Усманова М. М., Ашуров Н. Ш., Рашидова С. Ш. Особенности синтеза привитых сополимеров хитозана и акриловой кислоты // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 2024. Т. 66, № 1. С. 23–30. <https://doi.org/10.31857/S2308113924010035>
12. Li J., Ji J., Xia J., Li B. Preparation of konjac glucomannan-based superabsorbent polymers by frontal polymerization // *Carbohydrate Polymers*. 2012. Vol. 87, no. 1. P. 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.060>
13. Zheng M., Lian F., Zhu Y., Zhang Y., Liu B., Zhang L., Zheng B. pH-responsive poly (xanthan gum-g-acrylamide-g-acrylic acid) hydrogel: Preparation, characterization, and application // *Carbohydrate Polymers*. 2019. Vol. 210. P. 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.052>
14. Patel A. Synthesis of acrylamide grafted xanthan gum by microwave assisted method: Ftir characteristics and acute oral toxicity study // *International Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2016. Vol. 7, № 1. P. 129–145.
15. Jindal R., Kaith B. S., Mittal H. Rapid synthesis of acrylamide onto xanthan gum based hydrogels un-



der microwave radiations for enhanced thermal and chemical modifications // *Polymers from Renewable Resources*. 2011. Vol. 2, № 3. P. 105–116. <https://doi.org/10.1177/204124791100200302>

16. Jalali M. A., Koohi A. D., Sheykhan M. Experimental study of the removal of copper ions using hydrogels of xanthan, 2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid, montmorillonite: Kinetic and equilibrium study // *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 142. P. 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.01.033>
17. Tang S., Gong Z., Wang Z., Gao X., Zhang X. Multifunctional hydrogels for wound dressings using xanthan gum and polyacrylamide // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 217. P. 944–955. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.181>

References

1. Zhang Y., Chen L., Wang H., Li J. Biodegradable superabsorbent hydrogels for soil moisture management. *Carbohydrate Polymers*, 2022, vol. 292, art. 119693. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119693>
2. Danilova T. N., Tabynbaeva L. K., Kenenbaev S. B., Boyko V. S. The role of AQUASORB absorbent in improving soil water-holding capacity. *Agrophysics*, 2018, vol. 2, pp. 1–8 (in Russian). <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.02.01>
3. Behera S., Mahanwar P. A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2020, vol. 59, no. 4, pp. 341–356. <https://doi.org/10.1080/25740881.2019.1647239>
4. Hakeem K., Sabir M., Ozturk M., Mermut A. R., eds. *Soil remediation and plants: Prospects and challenges*. Academic Press, Elsevier, 2014. 752 p.
5. Koptsik G. N. Modern approaches to the remediation of soils contaminated with heavy metals (literature review). *Eurasian Soil Science*, 2014, no. 7, pp. 851–868. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14070077>
6. Maksimova Yu. G., Shchetko V. A., Maksimov A. Yu. Polymer hydrogels in agriculture (review). *Agricultural Biology*, 2023, vol. 58, no. 1, pp. 23–42 (in Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.1.23rus>
7. Mochalova A. E., Kruglova E. N., Yunin P. A., Apryatina K. V., Smirnova O. N., Smirnova L. A. Preparation of graft and block copolymers of chitosan with vinyl monomers, their structure and properties. *Polymer Science. Series B*, 2015, vol. 57, no. 2, pp. 99–112. <https://doi.org/10.7868/S2308113915020114>
8. Kuznetsova Yu. L., Morozova E. A., Vavilova A. S., Markin A. V., Smirnova O. N., Zakharycheva N. S., Lyakaev D. V., Semenycheva L. L. Synthesis of biodegradable graft copolymers of gelatin and polymethyl methacrylate. *All Materials. Encyclopedic Reference*, 2020, no. 1, pp. 22–29 (in Russian). <https://doi.org/10.31044/1994-6260-2020-0-1-22-29>
9. Kumar D., Pandey J., Raj V., Kumar P. A review on the modification of polysaccharide through graft copolymerization for various potential applications. *The Open Medicinal Chemistry Journal*, 2017, vol. 11, art. 109. <https://doi.org/10.2174/1874104501711010109>
10. Smirnov A. K., Pelipenko D. F., Shmakov S. L., Zakharevich A. M., Shipovskaya A. B. Effect of the crosslinker introduction stage on the structure and properties of xanthan gum–acrylamide graft copolymer. *Polymers*, 2025, vol. 17, art. 2841. <https://doi.org/10.3390/polym17212841>
11. Kudyshkin V. O., Abrarova Z. M., Bozorov N. I., Zhumartova U. U., Usmanova M. M., Ashurov N. Sh., Rashidova S. Sh. Features of the synthesis of graft copolymers of chitosan and acrylic acid. *Polymer Science. Series B*, 2024, vol. 66, no. 1, pp. 23–30 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2308113924010035>
12. Li J., Ji J., Xia J., Li B. Preparation of konjac glucomannan-based superabsorbent polymers by frontal polymerization. *Carbohydrate Polymers*, 2012, vol. 87, no. 1, pp. 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.060>
13. Zheng M., Lian F., Zhu Y., Zhang Y., Liu B., Zhang L., Zheng B. pH-responsive poly (xanthan gum-g-acrylamide-g-acrylic acid) hydrogel: Preparation, characterization, and application. *Carbohydrate Polymers*, 2019, vol. 210, pp. 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.052>
14. Patel A. Synthesis of acrylamide grafted xanthan gum by microwave assisted method: Ftir characteristics and acute oral toxicity study. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 129–145.
15. Jindal R., Kaith B. S., Mittal H. Rapid synthesis of acrylamide onto xanthan gum based hydrogels under microwave radiations for enhanced thermal and chemical modifications. *Polymers from Renewable Resources*, 2011, vol. 2, no. 3, pp. 105–116. <https://doi.org/10.1177/204124791100200302>
16. Jalali M. A., Koohi A. D., Sheykhan M. Experimental study of the removal of copper ions using hydrogels of xanthan, 2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid, montmorillonite: Kinetic and equilibrium study. *Carbohydrate Polymers*, 2016, vol. 142, pp. 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.01.033>
17. Tang S., Gong Z., Wang Z., Gao X., Zhang X. Multifunctional hydrogels for wound dressings using xanthan gum and polyacrylamide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, vol. 217, pp. 944–955. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.181>

Поступила в редакцию 06.02.2026; одобрена после рецензирования 16.03.2026; принята к публикации 27.03.2026
The article was submitted 06.02.2026; approved after reviewing 16.03.2026; accepted for publication 27.03.2026

БИОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 159–168
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 159–168
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-159-168>
EDN: CGDJQB

Научная статья
УДК 579.26:635.647

Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты растений баклажана (*Solanum melongena* L., 1753), выращенных в условиях Саратовской области

А. В. Карпулянская ✉, А. М. Петерсон

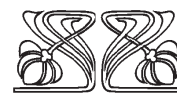
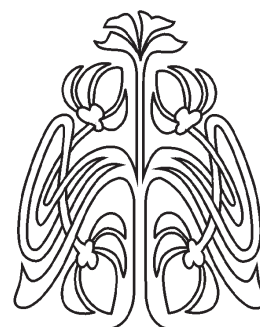
Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Карпулянская Алёна Викторовна, студент, инженер кафедры микробиологии и физиологии растений, alena.karpulyanskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7822-8745>

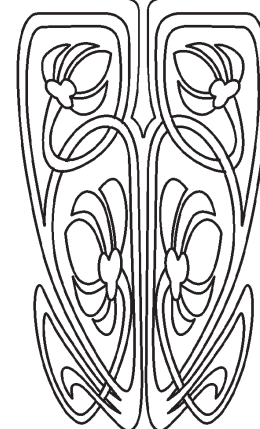
Петерсон Александра Михайловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, alexandra.peterson@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-5739>

Аннотация. Баклажан, или паслён тёмноплодный (*Solanum melongena* L., 1753), является важной сельскохозяйственной культурой, при возделывании которой целесообразно применение биопрепаратов на основе микроорганизмов-антагонистов. Успешность интродукции таких штаммов в агроценоз в значительной степени определяется их взаимодействием с аутохтонным микробным сообществом растения-хозяина, который может существенно варьировать в разных регионах. В данной работе проведён анализ структуры микробиоты растений баклажана, выращенных в условиях Саратовской области. Микробиологически исследовано 100 образцов здоровых листьев растений. В результате выделено 45 штаммов бактерий, отнесённых к 14 видам, и 33 штамма микромицетов 9 видов. В бактериальном комплексе абсолютное большинство составили представители рода *Bacillus*, которые доминировали как в эпифитной, так и в эндофитной микробиоте. Среди грибов преобладали виды семейства Aspergillaceae родов *Aspergillus* и *Penicillium*, также присутствовавшие в обоих биотопах. Функциональный анализ позволил разделить выделенные бактерии на четыре группы: агенты биоконтроля (*B. alyloliquefaciens*, *B. coagulans*, *B. halodurans*, *B. lentus*, *B. pseudomycooides*, *B. simplex*, *Aneurinibacillus aneurinilyticus*), стимуляторы роста растений (*B. alyloliquefaciens*, *B. circulans*, *B. pseudomycooides*), стресс-протекторы (*B. halodurans*, *B. psychrodurans*) и деструкторы органических полимеров (*B. simplex*, *B. bataviensis*, *B. drementensis*, *Jonesia denitrificans*). Среди микромицетов выделены патогенные виды: *Fusarium oxysporum* и *Alternaria solani*; агент биоконтроля – *Trichoderma harzianum*, продуцирующий гидролитические ферменты, и вид, улучшающий фосфорное питание растений – *Mucor ramosissimus*, солюбилизирующий фосфаты. Полученные данные расширяют представление о микробных сообществах баклажана в условиях Саратовской области и могут служить основой для разработки региональных биопрепаратов комплексного действия.

Ключевые слова: сапрофитическая микробиота, бактерии, микромицеты, *Solanum melongena*, Саратовская область, таксономическая характеристика



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





Благодарности. Авторы благодарят Н. Е. Щербакову (ФКУН Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб» Роспотребнадзора) за проведение масс-спектрометрического анализа и идентификацию выделенных штаммов.

Для цитирования: Карпулянская А. В., Петерсон А. М. Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты растений баклажана (*Solanum melongena* L., 1753), выращенных в условиях Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 159–168. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-159-168>, EDN: CGDJQB

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Taxonomic and functional characteristics of the microbiota of eggplant plants (*Solanum melongena* L., 1753) grown in the Saratov region

A. V. Karpulyanskaya , A. M. Peterson

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Alena V. Karpulyanskaya, alena.karpulyanskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7822-8745>

Alexandra M. Peterson, alexandra.peterson@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2896-5739>

Abstract. Eggplant, or dark-fruited nightshade (*Solanum melongena* L., 1753), is an important agricultural crop, for which the use of biopreparations based on antagonist microorganisms is advisable. The success of introducing such strains into an agrocenosis is largely determined by their interaction with the host plant's autochthonous microbial community, which can vary significantly across regions. This study analyzed the microbiota structure of eggplant plants grown in the Saratov region. One hundred healthy leaf samples were microbiologically analyzed. As a result, 45 bacterial strains belonging to 14 species and 33 micromycete strains from 9 species were isolated. Representatives of the genus *Bacillus* constituted the absolute majority of the bacterial complex, dominating both the epiphytic and endophytic microbiota. The predominant fungi were species of the Aspergillaceae family, genera *Aspergillus* and *Penicillium*, which were also present in both biotopes. Functional analysis allowed us to divide the isolated bacteria into four groups: biocontrol agents (*B. amyloliquefaciens*, *B. coagulans*, *B. halodurans*, *B. lentus*, *B. pseudomycooides*, *B. simplex*, *Aneurinibacillus aneurinilyticus*), plant growth stimulants (*B. amyloliquefaciens*, *B. circulans*, *B. pseudomycooides*), stress protectors (*B. halodurans*, *B. psychrodurans*), and organic polymer degraders (*B. simplex*, *B. bataviensis*, *B. drentensis*, *Jonesia denitrificans*). Among the micromycetes, pathogenic species were identified: *Fusarium oxysporum* and *Alternaria solani*; The biocontrol agent *Trichoderma harzianum*, which produces hydrolytic enzymes, and the phosphate-solubilizing species *Mucor ramosissimus*, which improves plant phosphorus nutrition. These data expand our understanding of eggplant microbial communities in the Saratov region and can serve as a basis for the development of regional biopreparations with a comprehensive effect.

Keywords: saprophytic microbiota, bacteria, micromycetes, *Solanum melongena*, Saratov region, taxonomic characteristics

Acknowledgments. The authors wish to thank Nataliya E. Shcherbakova (Russian Research Anti-Plague Institute "Microbe") for performing the mass spectrometry analysis and identification of the isolated strains.

For citation: Karpulyanskaya A. V., Peterson A. M. Taxonomic and functional characteristics of the microbiota of eggplant plants (*Solanum melongena* L., 1753) grown in the Saratov region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 159–168 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-159-168>, EDN: CGDJQB

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Саратовская область входит в число ключевых аграрных регионов Российской Федерации. Производимая здесь продукция растениеводства имеет существенное значение для обеспечения продовольственной безопасности страны [1]. Среди интенсивно возделываемых овощных культур важное место занимает баклажан (*Solanum melongena* L., 1753), однако его продуктивность лимитируется широким спектром фитопатогенных микроорганизмов, способных поражать данный вид растений [2].

В современном сельском хозяйстве в качестве альтернативы химическим пестицидам все активнее применяются биологические методы защиты растений, основанные на использовании штаммов-антагонистов фитопатогенов [3].

Данные подходы отвечают требованиям экологической безопасности, обеспечивая сохранение агроценозов и производство продукции, свободной от пестицидных остатков [4]. Эффективность интродуцированного штамма напрямую зависит от его взаимодействия с аутохтонным микробным сообществом растения-хозяина. Аутохтонная микробиота может проявлять антагонистическую активность или конкурировать за ресурсы, что существенно влияет на выживаемость и функциональную активность вносимого агента биоконтроля [5]. Таким образом, успешная разработка и применение биопрепаратов требуют детального знания таксономической структуры и состава микробиоты целевой сельскохозяйственной культуры в конкретных почвенно-климатических условиях.



В связи с этим целью настоящего исследования стали таксономический анализ и функциональная характеристика сапрофитной микробиоты растений баклажана, культивируемых на территории Саратовской области.

Материалы и методы

Материалом для микробиологических исследований послужили листья растений баклажана (*Solanum melongena* L., 1753) без каких-либо патологий, выращенных в фермерских хозяйствах Саратовской области.

В ходе работы было исследовано 100 здоровых растений. Для выделения эпифитных микроорганизмов проводили посев отпечатком поверхности листовой пластинки 2×2 см. Перед выделением эндофитов листовую пластинку фламбировали для уничтожения эпифитной микробиоты, затем 0,1 г образца гомогенизировали с 0,9 мл физиологического раствора. Полученный гомогенат (0,1 мл) высевали на питательную среду. Для контроля эффективности стерилизации поверхности листовых пластинок после фламбирования с них делали смывы, которые высевались на питательные среды. Во всех экспериментах использовали среду PDA (картофель – 200 г, агар-агар – 15 г, глюкоза – 20 г, вода – 1 л). Посевы культивировали при температуре +28°C в течение 3 суток для выделения бактерий и 7 суток для выделения грибов. Дополнительно проводили культивирование мелких фрагментов необработанных листовых пластинок во влажной камере для более полного выявления микромицетов.

Идентификацию бактериальных изолятов проводили по стандартным фенотипическим

свойствам по определителю бактерий «Bergey's manual of determinative bacteriology» (2006 г.) и сайту ABIS (BIOCHEMICAL IDENTIFICATION) [6, 7]. Верификацию штаммов с сомнительной таксономической принадлежностью осуществляли с использованием метода MALDI-ToF масс-спектрометрии на приборе MALDI масс-спектрометре серии microflex (Bruker Daltonics GmbH, Германия).

Идентификацию грибных изолятов проводили на основании анализа культуральных свойств, а также изучения морфологии мицелия гриба и органов спороношения на разных стадиях развития при помощи Определителя грибов Д. Саттона, А. Фоторгилла, М. Ринальди и учебному определителю Е. Ю. Благовещенской [8, 9].

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования было выделено 45 штаммов бактерий и 33 штамма грибов, которые в результате идентификации были отнесены к 14 видам бактерий (*Aneurinibacillus aneurinolyticus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. bataviensis*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. drentensis*, *B. halodurans*, *B. lentus*, *B. oleronius*, *B. pseudomicoides*, *B. psychrodurans*, *B. simplex*, *Jonesia denitrificans*, *Raoultella terrigena*) и 9 видам грибов (*Alternaria solani*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. ustus*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor ramosissimus*, *Penicillium janthinellum*, *Rhizopus stolonifer*, *Trichoderma harzianum*).

В ходе исследования выяснилось, что соотношение количества видов бактерий и грибов как на поверхности, так и во внутренних тканях листьев баклажана практически одинаковое (рис. 1).

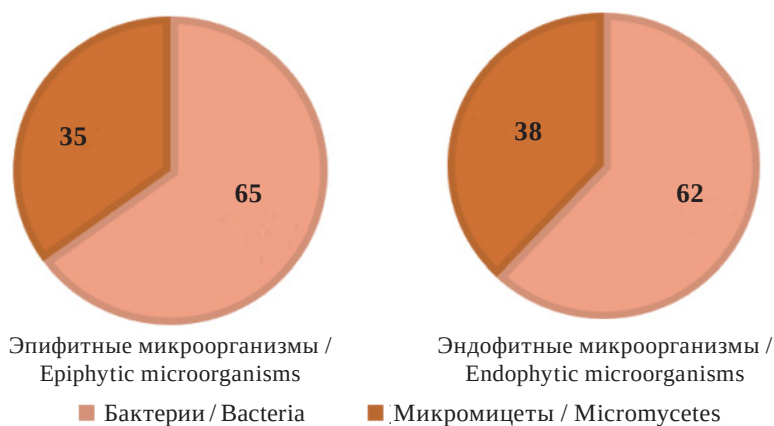


Рис. 1. Соотношение бактерий и микромицетов (по количеству видов) в микробиоте растений баклажана, % (цвет онлайн)

Fig. 1. The ratio of bacteria and micromycetes (by number of species) in the microbiota of eggplant plants, % (color online)



Таксономический анализ выделенных бактериальных видов выявил присутствие в исследованной микробиоте грамположительных микроорганизмов, относящихся к семействам Bacillaceae, Listeriaceae Paenibacillaceae, и граммотрицательных бактерий семейства Enterobacteriaceae (табл. 1).

Наиболее разнообразно в видовом отношении был представлен род *Bacillus*, что типично

для ризосферных и филлосферных сообществ и обусловлено способностью представителей этого рода образовывать устойчивые эндоспоры, а также продуцировать широкий спектр биологически активных веществ [10]. Следует отметить, что преобладание Bacillaceae было характерно как для эпифитной, так и для эндофитной микробиоты растений баклажана (рис. 2).

Таблица 1 / Table 1

Таксономическая характеристика бактерий, изолированных из растений баклажана
Taxonomic characteristics of bacteria isolated from eggplant plants

Вид / Species	Семейство / Family	Класс / Class	Филум / Phylum
<i>Aneurinibacillus aneurinilyticus</i>	Paenibacillaceae	Bacilli	Firmicutes
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Bacillaceae		
<i>B. bataviensis</i>			
<i>B. circulans</i>			
<i>B. coagulans</i>			
<i>B. drentensis</i>			
<i>B. halodurans</i>			
<i>B. lentus</i>			
<i>B. oleronius</i>			
<i>B. pseudomicoides</i>			
<i>B. psychrodurans</i>			
<i>B. simplex</i>			
<i>Jonesia denitrificans</i>	Listeriaceae		
<i>Raoultella terrigena</i>	Enterobacteriaceae	Gamma proteobacteria	Proteobacteria

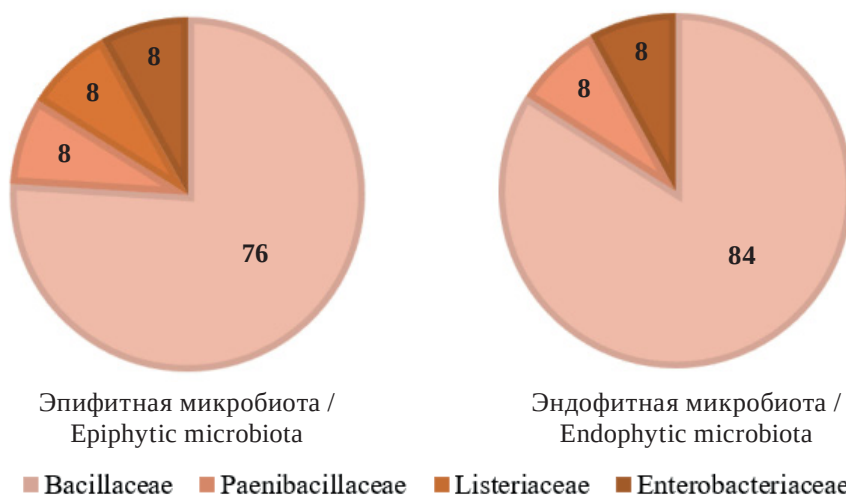


Рис. 2. Структура бактериальной микробиоты растений баклажана, % (цвет онлайн)

Fig. 2. Structure of bacterial microbiota of eggplant plants, % (color online)



Среди обнаруженных бактерий отчетливо выделяются несколько функциональных групп, различающихся по механизмам воздействия на растение и окружающие микроорганизмы.

Наибольшее число изолятов составляют агенты биоконтроля, подавляющие фитопатогенов за счёт антибиотиков и литических ферментов. Ключевая роль здесь принадлежит *B. amyloliquefaciens* – активному продуценту липопептидов (бацилломицин, фенгицин, сурфактин) и рибонуклеазы барназы, что обеспечивает эффективное ингибирование грибов родов *Fusarium* и *Alternaria*, а также бактерии *Ralstonia solanacearum*, способной подавлять возбудителей фузариоза, альтернариоза и бактериального увядания баклажана [11, 12, 13]. Сходными свойствами обладают *B. coagulans*, синтезирующий бактериоцины [14], и *B. halodurans*, продуцирующий бактериоцин в условиях абиотического стресса [15]. Механизмы антагонизма реализуются и через ферментативную активность: *B. lentus* выделяет щелочную протеазу, повреждающую клеточные структуры конкурентов [16], *B. pseudomycooides* – комплекс внеклеточных ферментов (липазу, целлюлазу, пектиназу), активных в отношении как сапрофитных, так и патогенных форм [17], а *B. simplex* проявляет фунгицидную активность против микромицетов семейства Rhizopodaceae [18]. Замыкает группу антагонистов *A. aneurinilyticus*, синтезирующий циклический пептид грамицидин [19].

Вторую важную группу образуют бактерии, стимулирующие рост растений. Помимо уже упомянутого *B. amyloliquefaciens*, способного синтезировать ауксины и цитокинины [20],

к ней относится *B. circulans*, участвующий в ассоциативной азотфиксации и солюбилизации фосфатов [21]. Аналогичную функцию улучшения фосфорного питания, а также продукцию индолил-3-уксусной кислоты и сидерофоров демонстрирует *B. pseudomycooides* [17].

В состав бактериальной микробиоты баклажана входят также виды, повышающие устойчивость растений к абиотическим факторам. Среди них алкалофильный и галотермофильный *B. halodurans*, способствующий адаптации растений к засолению и высоким температурам [15], а также психротолерантный *B. psychrodurans*, адаптированный к условиям умеренных и холодных климатических зон [22].

Четвертая функциональная группа представлена бактериями-деструкторами, которые разлагают сложные полимеры, обеспечивая круговорот веществ и приобретая конкурентные преимущества в соответствующих экологических нишах. *B. simplex* участвует в минерализации органических полимеров [18]; *B. bataviensis* продуцирует пектиназу, разрушающую биопленки конкурентов [23]; *B. drentensis* выделяет α-амилазу, расщепляющую полисахариды до моносахаров [24]; *J. denitrificans* синтезирует ксиланазу, что особенно ценно в средах с обилием растительного опада [25].

Таксономический анализ выделенных грибных видов выявил преобладание семейства Aspergillaceae класса Eurotiomycetes. Класс Sordariomycetes представлен двумя семействами: Нипocreaceae (*T. harzianum*) и Nectriaceae (*F. oxysporum*). Кроме того, в микокомплексах баклажана обнаружены единичные виды семейств Pleosporaceae, Rhizopodaceae и Mucoraceae (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Таксономическая характеристика грибов, изолированных из растений баклажана
Taxonomic characteristics of fungi isolated from eggplant plants

Вид / Species	Семейство / Family	Класс / Class
<i>Alternaria solani</i>	Pleosporaceae	Dothideomycetes
<i>Aspergillus flavus</i>	Aspergillaceae	Eurotiomycetes
<i>A. niger</i>		
<i>A. ustus</i>		
<i>Penicillium janthinellum</i>		
<i>Fusarium oxysporum</i>	Нипocreaceae	Sordariomycetes
<i>Trichoderma harzianum</i>	Nectriaceae	
<i>Rhizopus stolonifer</i>	Rhizopodaceae	Mucoromycetes
<i>Mucor ramosissimus</i>	Mucoraceae	



Видовой состав микокомплексов поверхности и внутренней среды растений баклажана оказались во многом схожи, и в обоих биотопах преобладали представители семейства *Aspergillaceae* (рис. 3), которые часто выделяются из почвы, с поверхности и из тканей растений [26]. Микромицеты этого семейства активно заселяют внутренние ткани баклажана благодаря своим ферментам. Они выделяют целлюлазы, пектиназы и ксиланазы, которые

разрушают клеточные стенки растений, расщепляют пектин и целлюлозу, что позволяет грибам проникать внутрь листа и распространяться по межклетникам [27]. Сходным набором ферментов обладают и грибы рода *Fusarium*: они продуцируют люкеназы, хитиназы, ксиланазы, эндоцеллюлазы, экзоцеллюлазы, пектиназы и полигалактуроназы, которые облегчают проникновение микроорганизмов во внутренние ткани растения-хозяина [28].

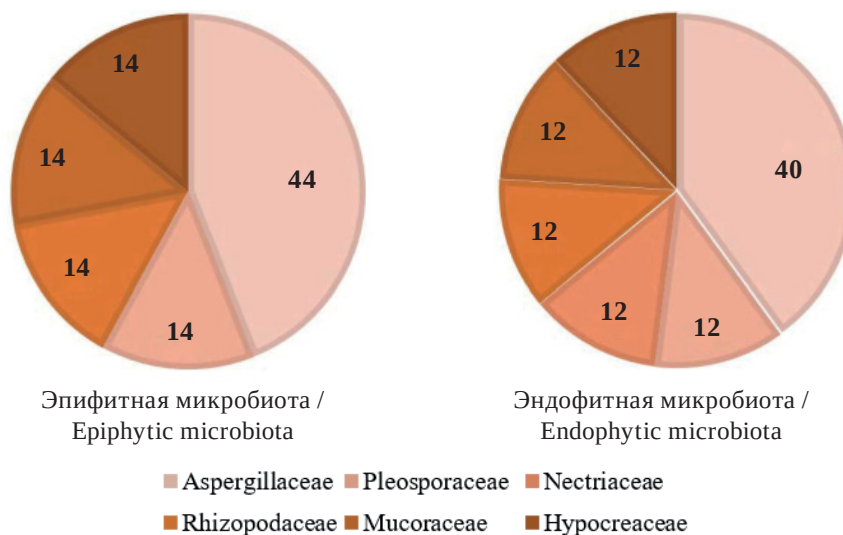


Рис. 3. Структура микокомплекса эпифитной и эндофитной микробиоты растений баклажана, % (цвет онлайн)
Fig. 3. The structure of the mycocomplex of epiphytic and endophytic microbiota of eggplant plants, % (color online)

После успешного проникновения грибы оказываются в среде, которая идеально подходит для их существования. Внутренние ткани растения поддерживают стабильную влажность, защищают от ультрафиолета и сглаживают перепады температур. Кроме того, в межклетники постоянно поступают сахара, аминокислоты и другие питательные вещества, которые грибы используют для роста. Благодаря сочетанию ферментативной активности и благоприятных условий внутри тканей многие эндофиты устанавливают сбалансированные отношения с хозяином: они не убивают клетки, а получают питание, не нанося видимого вреда, что позволяет им существовать внутри растения длительное время [29].

В составе микокомплекса здоровых листьев баклажана обнаружены фитопатогенные виды. *F. oxysporum* способен поражать сосудистую систему и вызывать фузариозное увядание баклажана [13]. Другой патоген – *A. solani* –

широко распространен в окружающей среде и при благоприятных условиях может вызывать альтернариоз не только баклажана, но и других пасленовых культур, включая томаты и картофель [30].

Наряду с патогенами в составе микробиоты присутствуют виды, играющие положительную роль в жизни растения-хозяина. Микромицет *T. harzianum* проявляет высокую антагонистическую активность против фитопатогенных грибов. Он продуцирует комплекс гидролитических ферментов – хитиназы, глюканазы и протеазы, которые разрушают клеточные стенки грибов-мишеней. Помимо прямого подавления патогенов, внесение *T. harzianum* в почву положительно влияет на рост и развитие растений, что делает его ценным агентом биологического контроля [31].

Другой полезный вид – *M. ramosissimus* – выполняет важную функцию в улучшении минерального питания растений. Он способен



преобразовывать нерастворимые фосфаты в доступные для растений формы, переводя фосфор в усвояемое состояние, что оказывает непосредственное стимулирующее влияние на рост растений баклажана [32].

Заключение

Проведённое исследование позволило впервые охарактеризовать таксономическую и функциональную структуру сапрофитной микробиоты растений баклажана (*Solanum melongena* L.), культивируемых в условиях Саратовской области. Установлено, что аутохтонная микробиота баклажана обладает значительным потенциалом для биоконтроля фитопатогенов и стимуляции роста растений. Ключевую роль в бактериальном комплексе играют представители рода *Bacillus*, которые, благодаря способности продуцировать антимикробные метаболиты, сидерофоры, фитогормоны и солибилизировать фосфаты, формируют основу защитно-стимулирующего потенциала микробного сообщества. Среди грибных изолятов особый интерес представляет *T. harzianum* – известный антагонист с комплексным механизмом действия, а также *M. ramosissimus*, способный повышать доступность фосфора для растения-хозяина. При этом в составе микробиоты были выявлены и условно-патогенные виды, такие как *F. oxysporum* и *A. solani*.

Полученные данные расширяют фундаментальные знания о микробных сообществах сельскохозяйственных культур в Саратовской области и могут послужить научной основой для разработки новых, адресных биопрепаратов.

Список литературы

1. Павлов В. Н., Шудьякова В. В. Оценка продовольственной безопасности региона // Вестник СГСЭУ. 2019. № 2 (76). С. 90–93.
2. Ахатов А. К., Монохос Г. Ф., Игнатов А. Н., Белошапкина О. О., Ганнибал Ф. Б., Джалилов Ф. С.-У., Ильинский Ю. Ю. Болезни и вредители овощных культур. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2025. 392 с.
3. O'Brien P. A. Biological control of plant diseases // Australasian Plant Pathology. 2017. Vol. 46. P. 293–304. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>
4. Upadhyay V. K., Chitara M. K., Mishra D., Jha M. N., Jaiswat A., Kumari G., Ghosh S., Patel V. K., Naitam M. G., Singh A. K., Pareek N., Taj G., Maithani D., Kumar A., Dasila H., Shsrma A. Synergistic impact of nanomaterials and plant probiotics in agriculture: A tale of two-way strategy for long-term sustainability // Frontiers in Microbiology. 2023. Vol. 14. P. 1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1133968>
5. Bonaterra A., Badosa E., Cabrefiga J., Frances J., Montesinos E. Prospects and limitations of microbial pesticides for control of bacterial and fungal pomefruit tree diseases // Trees. 2012. Vol. 26. P. 215–226. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0626-y>
6. Определитель бактерий Берджи : в 2 т. М. : Мир, 2006. Т. 1. 430 с. Т. 2. 370 с.
7. Sorescu I., Stoica C. Online advanced bacterial identification software, an original tool for phenotypic bacterial identification // Rom Biotechnol. Lett. 2021. Vol. 26, № 6. P. 3047–3053.
8. Самтон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М. : Мир, 2001. 486 с.
9. Благовещенская Е. Ю. Фитопатогенные микромицеты: учебный определитель. М. : ЛЕНАНД, 2015. 240 с.
10. Nicholson W. L. Roles of Bacillus endospores in the environment // Cellular and Molecular Life Sciences CMLS. 2002. Vol. 59. P. 410–416. <https://doi.org/10.1007/s00018-002-8433-7>
11. Lin Long-Zhen, Zheng Q.-W., Wei T., Zhang Z.-Q., Zhao C.-F., Zhong H., Xu Q.-Y., Lin J.-F., Guo L.-Q. Isolation and characterization of fengycins produced by *Bacillus amyloliquefaciens* JFL21 and its broad-spectrum antimicrobial potential against multidrug-resistant foodborne pathogens // Antimicrobials, Resistance and Chemotherapy. 2020. Vol. 11. P. 15–30. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.579621>
12. Sadanand K., Narayanankutty C., Sainamole P. K., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease // European Journal of Plant Pathology. 2021. Vol. 161. P. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
13. Заболевания баклажана // Определитель болезней и вредителей баклажанов : [сайт]. URL: <https://семена-клубники.рф/life/plant/baklajany/bolezni-baklajan/0> (дата обращения: 27.02.2024).
14. Konuray G., Erginkaya Z. Potential use of *Bacillus coagulans* in the food industry // Foods. 2018. Vol. 7, № 92. P. 1–10. <https://doi.org/10.3390/foods7060092>
15. ABIS online – Bacterial identification. URL: https://www.tgw1916.net/bacteria_logare_desktop.html (дата обращения: 20.04.2025).
16. Jorgensen P. R., Tangney M., Pedersen P. K., Hastrup S., Diderichsen B., Jorgensen S. T. Cloning and sequencing of an alkaline protease gene from *Bacillus lentus* and amplification of the gene on the *B. lentus* chromosome by an improved technique // Applied and Environmental Microbiology. 2000. Vol. 66, № 2. P. 16–20. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.2.825-827.2000>



17. Knezevic M. M., Stajkovic-Srbnovic O. S., Assel M., Milic M. D., Mihajlovski K. R., Delic D. I., Buntic A. V. The ability of a new strain of *Bacillus pseudomycooides* to improve the germination of alfalfa seeds in the presence of fungal infection or chromium // *Rizosphere*. 2021. Vol. 18. P. 100–122. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100353>
18. Schwartz A. R., Ortiz I., Maymom M., Herbold C. V., Fujishige N. A., Vijanderan J. A., Villella W., Hanamoto K., Diener A., Sanders E. R., DeMason D. A., Hirsh A. M. *Bacillus simplex* – a little known PGPB with anti-fungal activity – alters pea legume root architecture and nodule morphology when coinoculated with *Rhizobium leguminosarum* v. *viciae* // *Agronomy*. 2013. Vol. 3, № 4. P. 595–620. <https://doi.org/10.3390/agronomy3040595>
19. Kaur C., Se G., Ganeshamurthy A. N. Exploring the utility of *Aneurinibacillus* as a bioinoculant for sustainable crop production and environmental applications // *Bacilli and Agrobiotechnology: Phytostimulation and Biocontrol*. 2020. Vol. 2. P. 135–141. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15175-1_7
20. Idris E. E., Iglesias D. J., Talon M., Borriss R. Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 // *Molecular plant-microbe interactions*. 2007. Vol. 20, № 6. P. 619–626. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-6-0619>
21. Vazquez P., Puente M. E., Lopez-Cortes A., Bashan Y. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon // *Biology and Fertility of Soils*. 2000. Vol. 30. P. 460–468. <https://doi.org/10.1007/s003740050024>
22. Vollu R. E., Jurelevicius D., Ramos L. R., Peixoto R. S., Rosado A. S., Seldin L. Aerobic endospore-forming bacteria isolated from Antarctic soils as producers of bioactive compounds of industrial interest // *Polar Biology*. 2014. Vol. 37. P. 1121–1131. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1505-y>
23. Akinyemi B. T., Buraimoh O. M., Ogunrinde O. O., Amund O. O. Pectinase production by *Bacillus Megaterium*, *Bacillus bataviensis*, and *Paenibacillus* sp. isolated from decomposing wood residues in the lagoon // *The Journal of Tropical Science*. 2017. Vol. 7, № 3. P. 204–207. <https://doi.org/10.11594/jtls.07.03.03>
24. Prasanth M., Bozdogan B., Gothandam K. M., Sivasanmugam K., Nachimuthu R. A novel α -amylase producing *Bacillus drentensis* isolated from coastal mud samples // *Asian Journal of Biological and Life Science*. 2016. Vol. 5, № 2. P. 173–178.
25. Nawel B., Said B., Estelle C., Hakim H., Duchiron F. Production and partial characterization of xylanase produced by *Jonesiadenitrificans* isolated in Algerian soil // *Process Biochemistry*. 2011. Vol. 46, № 2. P. 519–525. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.10.003>
26. Lin L., Qiao Y. S., Ju Z. Y., Ma C. W., Liu Y. H., Zhou Y. J., Dong H. S. Isolation and characterization of endophytic *Bacillus subtilis* Jaas ed1 antagonist of eggplant [*Solanum melongena*] verticillium wilt // *Bioscience, Bio-technology and Biochemistry* (Japan). 2009. Vol. 73, № 7. P. 1489–1493. <https://doi.org/10.1271/bbb.80812>
27. Ma X., Gao M., Wang N., Liu S., Wang Q., Sun X. Lactic acid production from co-fermentation of food waste and spent mushroom substance with *Aspergillus niger* cellulase // *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 337. Art. 125365. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125365>
28. Jaroszuk-Scisel J., Kurek E. Hydrolysis of fungal and plant cell walls by enzymatic complexes from cultures of *Fusarium* isolates with different aggressiveness to rye (*Secale cereale*) // *Archives of Microbiology*. 2012. Vol. 194. P. 653–665. <https://doi.org/10.1007/s00203-012-0803-4>
29. Waqar S., Bhat A. A., Khan A. A. Endophytic fungi: Unravelling plant-endophyte interaction and the multifaceted role of fungal endophytes in stress amelioration // *Plant Physiology & Biochemistry*. 2024. Vol. 206. Art. 108174. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108174>
30. Sadanand K., Narayanankutty C., Kurian P. S., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease // *European Journal of Plant Pathology*. 2021. Vol. 161. P. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
31. Fraceto L. F., Maruyama C. R., Guilger M., Mishra S., Keswani C., Singh H. B., Lima R. *Trichoderma harzianum* – based novel formulations: Potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges // *Chemical Technology and Biotechnology*. 2018. Vol. 93, № 8. P. 2056–2063. <https://doi.org/10.1002/jctb.5613>
32. Xiao C., Chi R., He H., Qiu G., Wang D., Zhang W. Isolation of phosphate-solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2009. Vol. 159. P. 330–342. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8590-3>

References

1. Pavlov V. N., Shudyyakova V. V. Assessment of food security in the region *Bulletin of SSEU*, 2019, vol. 76, no. 2, pp. 90–93 (in Russian).
2. Akhatov A. K., Monakhos G. F., Ignatov A. N., Beloshapkina O. O., Gannibal F. B., Dzhililov F. S.-U., Ilyinsky Yu. Yu. *Bolezni i vrediteli ovoshchnykh kul'tur* [Diseases and pests of vegetable crops]. Moscow, KMK Scientific Press, 2025. 392 p. (in Russian).
3. O'Brien P. A. Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, 2017, vol. 46, pp. 293–304. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>
4. Upadhyay V. K., Chitara M. K., Mishra D., Jha M. N., Jaiswat A., Kumari G., Ghosh S., Patel V. K., Naitam M. G., Singh A. K., Pareek N., Taj G., Maithani D., Kumar A., Dasila H., Shsrma A. Synergistic impact of nanoma-



- terials and plant probiotics in agriculture: A tale of two-way strategy for long-term sustainability. *Frontiers in Microbiology*, 2023, vol. 14, pp. 1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1133968>
5. Bonaterra A., Badosa E., Cabrefiga J., Frances J., Montesinos E. Prospects and limitations of microbial pesticides for control of bacterial and fungal pomefruit tree diseases. *Trees*, 2012, vol. 26, pp. 215–226. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0626-y>
 6. *Opredelitel' bakteriy Berdzhii: v 2 t.* [Bergey's Guide to Bacteria: in 2 vols]. Moscow, Mir, 2006. Vol. 1. 430 p. Vol. 2. 370 p. (in Russian).
 7. Sorescu I., Stoica C. Online advanced bacterial identification software, an original tool for phenotypic bacterial identification. *Rom. Biotechnol. Lett.*, 2021, vol. 26, no. 6, pp. 3047–3053.
 8. Sutton D., Fothergill A., Rinaldi M. *Opredelitel' patogennykh i uslovno patogennykh gribov* [Determinant of pathogenic and conditionally pathogenic fungi]. Moscow, Mir, 2001. 486 p. (in Russian).
 9. Blagoveshchenskaya E. Yu. *Fitopatogennyye mikromitsety: uchebnyy opredelitel'* [Phytopathogenic micro-mycetes: Educational guide]. Moscow, LENAND, 2015. 240 p. (in Russian).
 10. Nicholson W. L. Roles of Bacillus endospores in the environment. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 2002, vol. 59, pp. 410–416. <https://doi.org/10.1007/s00018-002-8433-7>
 11. Lin Long-Zhen, Zheng Q.-W., Wei T., Zhang Z.-Q., Zhao C.-F., Zhong H., Xu Q.-Y., Lin J.-F., Guo L.-Q. Isolation and characterization of fengycins produced by *Bacillus amyloliquefaciens* JFL21 and its broad-spectrum antimicrobial potential against multidrug-resistant foodborne pathogens. *Antimicrobials, Resistance and Chemotherapy*, 2020, vol. 11, pp. 15–30. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.579621>
 12. Sadanand K., Narayanankutty C., Sainamole P. K., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease. *European Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 161, pp. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
 13. Eggplant diseases. *Identifier of eggplant diseases and pests*. Website. Available at: <https://семена-клавники.рф/life/plant/baklajany/bolezni-baklajan/0> (accessed February 27, 2024) (in Russian).
 14. Konuray G., Erginkaya Z. Potential use of *Bacillus coagulans* in the food industry. *Foods*, 2018, vol. 7, no. 92, pp. 1–10. <https://doi.org/10.3390/foods7060092>
 15. *ABIS online – Bacterial identification*. Available at: https://www.tgw1916.net/bacteria_logare_desktop.html (accessed April 20, 2025).
 16. Jorgensen P. R., Tangney M., Pedersen P. K., Hastrup S., Diderichsen B., Jorgensen S. T. Cloning and sequencing of an alkaline protease gene from *Bacillus lentus* and amplification of the gene on the *B. lentus* chromosome by an improved technique. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, vol. 66, no. 2, pp. 16–20. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.2.825-827.2000>
 17. Knezevic M. M., Stajkovic-Srbincovic O. S., Assel M., Milic M. D., Mihajlovski K. R., Delic D. I., Buntic A. V. The ability of a new strain of *Bacillus pseudomycoloides* to improve the germination of alfalfa seeds in the presence of fungal infection or chromium. *Rizosphere*, 2021, vol. 18, pp. 100–122. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100353>
 18. Schwartz A. R., Ortiz I., Maymom M., Herbold C. V., Fujishige N. A., Vijanderan J. A., Villella W., Hanamoto K., Diener A., Sanders E. R., DeMason D. A., Hirsh A. M. *Bacillus simplex* – A little known GGPB with anti-fungal activity – alters pea legume root architecture and nodule morphology when coinoculated with *Rhizobium leguminosarum* v. *viciae*. *Agronomy*, 2013, vol. 3, no. 4, pp. 595–620. <https://doi.org/10.3390/agronomy3040595>
 19. Kaur C., Se G., Ganeshamurthy A. N. Exploring the utility of *Aneurinibacillus* as a bioinoculant for sustainable crop production and environmental applications. *Bacilli and Agrobiotechnology: Phytostimulation and Biocontrol*, 2020, vol. 2, pp. 135–141. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15175-1_7
 20. Idris E. E., Iglesias D. J., Talon M., Borriss R. Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2007, vol. 20, no. 6, pp. 619–626. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-6-0619>
 21. Vazquez P., Puente M. E., Lopez-Cortes A., Bashan Y. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, vol. 30, pp. 460–468. <https://doi.org/10.1007/s003740050024>
 22. Vollu R. E., Jurelevicius D., Ramos L. R., Peixoto R. S., Rosado A. S., Seldin L. Aerobic endospore-forming bacteria isolated from Antarctic soils as producers of bioactive compounds of industrial interest. *Polar Biology*, 2014, vol. 37, pp. 1121–1131. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1505-y>
 23. Akinyemi B. T., Buraimoh O. M., Ogunrinde O. O., Amund O. O. Pectinase production by *Bacillus Megaterium*, *Bacillus bataviensis*, and *Paenibacillus* sp. isolated from decomposing wood residues in the lagoon. *The Journal of Tropical Science*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 204–207. <https://doi.org/10.11594/jtls.07.03.03>
 24. Prasanth M., Bozdogan B., Gothandam K. M., Sivasanmugam K., Nachimuthu R. A Novel α -amylase producing *Bacillus drentensis* isolated from coastal mud samples. *Asian Journal of Biological and Life Science*, 2016, vol. 5, no. 2, pp. 173–178.
 25. Nawel B., Said B., Estelle C., Hakim H., Duchiron F. Production and partial characterization of xylanase produced by *Jonesiadenitrificans* isolated in Algerian soil. *Process Biochemistry*, 2011, vol. 46, no. 2, pp. 519–525. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.10.003>



26. Lin L., Qiao Y. S., Ju Z. Y., Ma C. W., Liu Y. H., Zhou Y. J., Dong H. S. Isolation and characterization of endophytic *Bacillus subtilis* Jaas ed1 antagonist of eggplant [*Solanum melongena*] verticillium wilt. *Bio-science, Biotechnology and Biochemistry (Japan)*, 2009, vol. 73, no. 7, pp. 1489–1493. <https://doi.org/10.1271/bbb.80812>
27. Ma X., Gao M., Wang N., Liu S., Wang Q., Sun X. Lactic acid production from co-fermentation of food waste and spent mushroom substance with *Aspergillus niger* cellulase. *Bioresource Technology*, 2021, vol. 337, art. 125365. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125365>
28. Jaroszuk-Scisel J., Kurek E. Hydrolysis of fungal and plant cell walls by enzymatic complexes from cultures of *Fusarium* isolates with different aggressiveness to rye (*Secale cereale*). *Archives of Microbiology*, 2012, vol. 194, pp. 653–665. <https://doi.org/10.1007/s00203-012-0803-4>
29. Waqar S., Bhat A. A., Khan A. A. Endophytic fungi: Unravelling plant-endophyte interaction and the multifaceted role of fungal endophytes in stress amelioration. *Plant Physiology & Biochemistry*, 2024, vol. 206, art. 108174. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108174>
30. Sadanand K., Narayanankutty C., Kurian P. S., Sreelatha U., Barik S. Evaluation of eggplant rootstocks for grafting eggplant to improve fruit yield and control bacterial wilt disease. *European Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 161, pp. 73–90. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02305-9>
31. Fraceto L. F., Maruyama C. R., Guilger M., Mishra S., Keswani C., Singh H. B., Lima R. *Trichoderma harzianum* – based novel formulations: Potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges. *Chemical Technology and Biotechnology*, 2018, vol. 93, no. 8, pp. 2056–2063. <https://doi.org/10.1002/jctb.5613>
32. Xiao C., Chi R., He H., Qiu G., Wang D., Zhang W. Isolation of phosphate-solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2009, vol. 159, pp. 330–342. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8590-3>

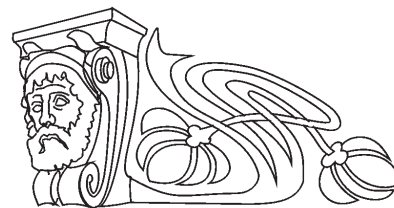
Поступила в редакцию 11.03.2026; одобрена после рецензирования 22.03.2026; принята к публикации 26.03.2026
The article was submitted 11.03.2026; approved after reviewing 22.03.2026; accepted for publication 26.03.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 169–177
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 169–177
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-169-177>, EDN: FUTZLX

Научная статья
УДК 581.1+633.111.1+631.524.85

Влияние осмотического стресса на рост и развитие проростков интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы



А. А. Зубехина¹, В. В. Коробко¹✉, Ю. В. Даштоян², А. В. Калинина²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Россия, 4100107, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7

Зубехина Аделина Александровна, студент кафедры микробиологии и физиологии растений, zubehinaadelina@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6307-8099>

Коробко Валерия Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, v.v.korobko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

Даштоян Юлия Васильевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории генетики и цитологии, dashto@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4481-2417>

Калинина Алла Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и цитологии, kalinaal@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6608-708X>

Аннотация. Изучение устойчивости растений, полученных в результате интрогрессивной селекции, к действию различных факторов, в том числе к осмотическому стрессу, является важным этапом селекционной работы. Объектами исследования являются два сорта яровой мягкой пшеницы – Саратовская 70 и Саратовская 68 и три линии – L3 (C68/ThatcherLr28*4//C68), L4 (C68/ThatcherLr29*4//C68), L12 (C70/ThatcherLr29*4//C70). В качестве субстрата культивирования использован ПЭГ. Влияние осмотического стресса на рост оценивали по морфометрическим параметрам, показателю корнеобеспеченности проростка и корневого индекса проростка. Для оценки восприимчивости объектов исследования к осмотическому стрессу определены индексы восприимчивости (SSI). Сравнительный анализ морфометрических параметров роста и развития семидневных проростков показал, что при воздействии осмотического стресса по длине первого листа статистически значимых отличий у проростков изученных линий и сортов не выявлено. При действии осмотического стресса наблюдается увеличение показателя корнеобеспеченности у всех изученных линий и сортов. На основании полученных значений индексов восприимчивости к стрессу SSI установлено, что наиболее восприимчивыми к осмотическому стрессу являются проростки интрогрессивных линий L3: значение индекса SSI выше порогового по всем трем морфометрическим показателям, а именно длине побега (SSI(L)), максимальной длине корня в корневой системе проростка (SSI(Rmax)), общей длине корневой системы (SSI(Rs)). Сравнительный анализ полученных данных проростков линий L12 и L4, у которых присутствует один и тот же ген устойчивости к ржавчине – Lr29, но в качестве реципиента гена выступили разные сорта, позволяет предположить, что более восприимчивыми являются проростки линии L12, для которых реципиентом гена устойчивости является сорт Саратовская 70.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., интрогрессивные линии, осмотический стресс, устойчивость проростков

Для цитирования: Зубехина А. А., Коробко В. В., Даштоян Ю. В., Калинина А. В. Влияние осмотического стресса на рост и развитие проростков интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 169–177. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-169-177>, EDN: FUTZLX

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The effect of osmotic stress on the growth and development of seedlings of introgressive lines of spring soft wheat

А. А. Зубехина¹, В. В. Коробко¹✉, Ю. В. Даштоян², А. В. Калинина²

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikov St., Saratov 410010, Russia

Adelina A. Zubekhina, zubehinaadelina@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6307-8099>

Valeria V. Korobko, v.v.korobko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

Iuliiia V. Dashtoyan, dashto@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4481-2417>

Alla V. Kalinina, kalinaal@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6608-708X>



Abstract. The study of the resistance of plants obtained as a result of introgressive breeding to various factors, including osmotic stress, is an important stage of breeding work. The objects of research are two varieties of spring soft wheat – Saratovskaya 70 and Saratovskaya 68 and three lines – L3 (C68/ThatcherLr28*4//C68), L4 (C68/ThatcherLr29*4//C68), L12 (C70/ThatcherLr29*4//C70). PEG was used as a cultivation substrate. The effect of osmotic stress on growth was assessed by morphometric parameters, the seedling root availability index, and the seedling root index. To assess the susceptibility of the study objects to osmotic stress, the susceptibility indices (SSI) were determined. A comparative analysis of the morphometric parameters of growth and development of seven-day-old seedlings showed that when exposed to osmotic stress, there were no statistically significant differences in the length of the first leaf in the seedlings of the studied lines and varieties. Under the influence of osmotic stress, an increase in the root resistance index is observed in all the studied lines and varieties. Based on the obtained values of the SSI stress susceptibility indices, it was found that seedlings of introgressive L3 lines are the most susceptible to osmotic stress: the value of the SSI index is higher than the threshold for all three morphometric indicators, namely, shoot length (SSI(L)), maximum root length in the root system of the seedling (SSI(Rmax)), the total length of the root system (SSI(Rs)). A comparative analysis of the data obtained from seedlings of the L12 and L4 lines, which have the same rust resistance gene, Lr29, but different varieties acted as recipients of the gene, suggests that seedlings of the L12 line, for which the recipient of the resistance gene is the Saratov 70 variety, are more susceptible.

Keywords: *Triticum aestivum* L., introgressive lines, osmotic stress, resistance of seedlings

For citation: Zubekhina A. A., Korobko V. V., Dashtoyan Yu. V., Kalinina A. V. The effect of osmotic stress on the growth and development of seedlings of introgressive lines of spring soft wheat. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 169–177 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-169-177>, EDN: FUTZLX

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Осмотический стресс является значимым лимитирующим фактором продуктивности мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Дефицит воды негативно влияет на физиологическое состояние растений и на ряд показателей, определяющих продуктивность [1, 2]. Повышение устойчивости к засухе – одна из ключевых задач современной селекции, так как зерновые культуры активно используются в качестве источника питания и играют ключевую роль в экономике страны [3].

Существуют различные способы повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к лимитирующим факторам окружающей среды. Одним из них является интрогрессивная гибридизация – метод, основанный на внесении в геном растения-реципиента генов от донора [4], что позволяет вывести новые линии мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) [5]. Эти растения служат не только донорами ценных генов, но и объектами для изучения физиологических и генетических механизмов адаптации [6–8].

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния осмотического стресса, смоделированного *in vitro*, на рост и развитие проростков трех интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы и двух сортов мягкой яровой пшеницы, которые являются реципиентами генов устойчивости к ржавчине. Задачи исследования – оценить влияние осмотического стресса на морфометрические показатели роста и развития проростков объектов исследования, а также оценить восприимчивость тестируемых линий к осмотическому стрессу.

Материал и методы

Исследование проведено в лабораторных условиях на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского в 2024–2025 г. Объект исследования – семидневные проростки яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Саратовская 70, Саратовская 68 и трех интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы (L3, L4, L12): линия L3 (C68/ThatcherLr28*4//C68), линия L4 (C68/ThatcherLr29*4//C68), линия L12 (C70/ThatcherLr29*4//C70). Материал для исследования был предоставлен сотрудниками лаборатории генетики и цитологии Федерального аграрного научного центра Юго-Востока.

В эксперименте были использованы неповрежденные, выровненные по размеру семена одного года репродукции от растений, выращенных в пределах одного опытного участка. Зерновки проращивали в чашках Петри в растворе ПЭГ [9], концентрация которого соответствовала осмотическому давлению 0,5 МПа [10]. В качестве контроля служили семена, пророщенные на дистиллированной воде. Опыт проводили в трехкратной повторности ($n = 10$). Культивирование осуществляли в климатокамере при температуре $19 \pm 2^\circ\text{C}$; фотопериод 16/8 ч света/темноты.

Количественный учет проводили на семидневных проростках. Были определены такие морфометрические показатели, как длина первого листа, длина корней. Для комплексной оценки влияния неблагоприятных условий



на физиологическое состояние растений используются индексы, которые основаны на сравнении различных показателей роста и развития растений в благоприятных и стрессовых условиях [11–14]. Для оценки результатов эксперимента нами были использованы корневой индекс проростка, показатель корнеобеспеченности проростка и индекс восприимчивости к стрессу (SSI).

Корневой индекс был рассчитан по формуле: $RI = R_{\max}$ опытных растений, мм / R_{\max} контрольных растений, мм, где R_{\max} – это наибольшая длина корня в корневой системе семидневного проростка [11].

Для вычисления корнеобеспеченности проростков были определены значения абсолютно сухой массы корней и побега исследуемых растений. Абсолютно сухая масса определена путем высушивания объектов в термостате при температуре 105°C до постоянного веса. Показатель корнеобеспеченности проростка (the root-to-shoot ratio, обозначенный нами $R_{r/s}$) был рассчитан, как соотношение абсолютной сухой массы корня к абсолютно сухой массе побега [15, 16].

Индекс восприимчивости к стрессу (SSI) рассчитан по формуле:

$$SSI = [1 - (Y_s / Y_p)] / [1 - (Y`s / Y`p)],$$

где Y_s – значение морфометрического показателя сорта в условиях стресса, Y_p – значение морфометрического показателя в контроле, $Y`s$ и $Y`p$ – средние значения всех показателей объектов соответственно в условиях стресса и без него [13, 17–20]. Основываясь на полученных морфометрических данных, был рассчитан SSI по следующим параметрам – длине побега (SSI(L)), максимальной длине корня в корневой системе проростка ($R_{\max}(L)$), общей длине корневой системы ($R_s(L)$).

Статистическая обработка данных проведена в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010 с использованием надстройки Agreestat360.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с одной из поставленных задач проведен морфометрический анализ проростков, культивированных в условиях осмотического стресса; данные выражены в % от значений в контрольных вариантах опыта (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Влияние осмотического стресса на морфометрические показатели проростков *T. aestivum* L.
The influence of osmotic stress on morphometric indicators of *T. aestivum* L.

Сорт, линия / Grade, line	L, %	SSI(L)	R_s , %	SSI(R_s)	R_{\max} , %	SSI(R_{\max})
Саратовская 68 / Saratovskaya 68	46	0,99	41	1,00	49	0,94
L3	44	1,03	36	1,09	44	1,03
L4	48	0,95	46	0,91	48	0,95
Саратовская 70 / Saratovskaya 70	43	1,05	41	0,99	46	0,99
L12	46	0,99	40	1,01	39	1,12
HCP _{0,05} /LSD _{0,05}	4		7		7	

Примечание. L – длина первого листа, R_s – общая длина корневой системы; R_{\max} – длина самого длинного корня корневой системы каждого проростка.

Note. L – length of the first sheet, R_s – total length of the root system; R_{\max} – length of the longest root of the root system of each seedling.

Выявлены отличия между морфометрическими показателями проростков трех интрогрессивных линий и двух сортов яровой мягкой пшеницы. Длина первого листа проростков, культивированных в условиях осмотического стресса, варьирует от 43 до

48% от контрольных значений. Максимальным значением анализируемого параметра характеризуются проростки линии L4, а минимальным – проростки сорта Саратовская 70; при этом различия анализируемых показателей, выраженных в % от контрольных зна-



чений, у объектов исследования не являются статистически значимыми. Длина корневой системы проростков варьирует от 36 до 46 % от контроля; при этом минимальное значение данного показателя роста и развития обнаружено у проростков линии L3, а максимальное – у проростков линии L4.

Одним из оцениваемых параметров, используемых для определения корневого индекса, являлась максимальная длина корня в корневой системе каждого проростка: мини-

мальное значение данного показателя отмечено у семидневных проростков линии L12, максимальное значение выявлено у проростков сорта Саратовская 68 и линии L4. Значение корневого индекса (RI) у анализируемых сортов и линий варьирует от 0,4 до 0,5 отн. ед. У проростков линии L4, сорта Саратовской 70 и сорта Саратовской 68 корневой индекс имеет одинаковое значение и равен 0,5. Меньшим значением RI – 0,4 отн.ед. – характеризуются проростки линии L3 и L12 (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Влияние осмотического стресса на показатель корневого индекса проростков *T. aestivum* L.
The influence of osmotic on the root index of *T. aestivum* L.

Сорт, линия / Grade, line	RI, отн. ед. / Relative units
Саратовская 68 / Saratovskaya 68	0,5
L3	0,4
L4	0,5
Саратовская 70 / Saratovskaya 70	0,5
L12	0,4

Для вычисления показателя корнеобеспеченности, использование которого является физиологически обоснованным и высокоэффективным методом косвенного отбора засухоустойчивых сортов на ранних этапах

селекции, была определена абсолютная сухая масса побега и корневой системы и рассчитано относительное массовое соотношение подземной и надземной части проростка (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Показатель корнеобеспеченности интрогрессивных линий при осмотическом стрессе проростков *T. aestivum* L.
Root availability of introgressive lines under osmotic stress of *T. aestivum* L.

Сорт, линия / Grade, line	M_s , мг/mg	M_{rs} , мг/mg	$R_{r/s}$, усл. ед. / relative units	$R_{r/s}$, % от контроля / % of the control
Саратовская 68 / Saratovskaya 68	12,3	21,6	1,8	181
L3	8,1	11,7	1,4	140
L4	8,6	11,9	1,4	144
Саратовская 70 / Saratovskaya 70	16,0	22,1	1,4	163
L12	17,5	21,5	1,3	146
HCP _{0,05} /LSD _{0,05}	5	7	0,5	50

Примечание. M_s – масса побега; M_{rs} – масса корней; $R_{r/s}$ – показатель корнеобеспеченности.
Note. M_s – mass of the shoot; M_{rs} – mass of the roots; $R_{r/s}$ – indicator of root security.

В контрольном варианте эксперимента масса побега и корневой системы одинаковы

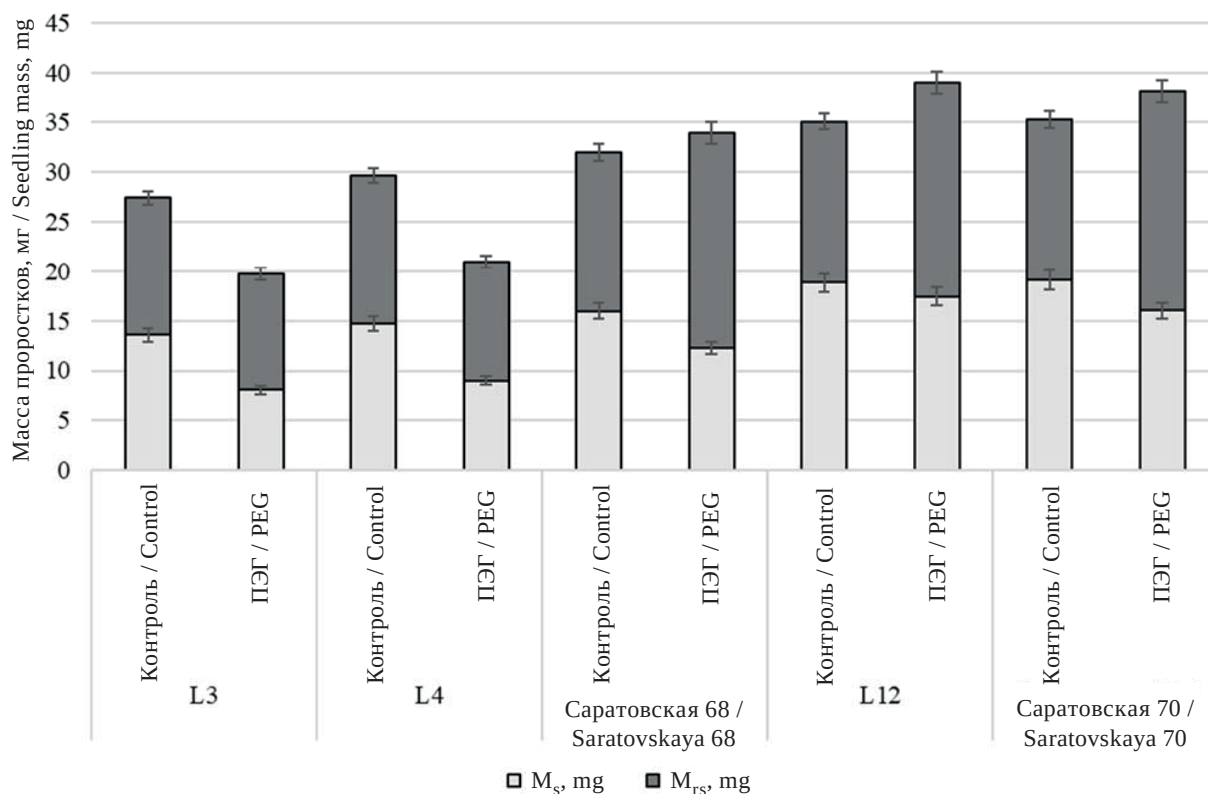
у проростков линий L3, линии L4 и сорта Саратовская 68, тогда как сухая масса побега



семидневных проростков линии L12 и сорта Саратовская 70 незначительно превышает массу корневой системы.

В условиях осмотического стресса наблюдается снижение массы побега у проростков всех объектов исследования, при этом у про-

ростков сортов Саратовская 68, Саратовская 70 и линии L12 масса корневой системы относительно контроля увеличивается, что приводит к существенному повышению показателя корнеобеспеченности проростков (рисунок).



Масса проростков изученных сортов и интрогрессивных линий *Triticum aestivum* L.
Figure. Seedling weight of the studied varieties and introgressed lines *Triticum aestivum* L.

У проростков линий L4 и L3, полученных с использованием одного и того же сорта-реципиента Саратовская 68, но имеющих транслокацию разных генов устойчивости к ржавчине (для L4 это ген Lr29, а для линии L3 – Lr28), наблюдается снижение массы корневой системы относительно контрольных значений, но, так как при этом масса побега значительно ниже контрольных значений, то относительное массовое соотношение превышает на 40–44% контрольные показатели.

Таким образом, установлено увеличение показателя корнеобеспеченности проростков, культивируемых в условиях осмотического стресса по сравнению с контрольным вариантом опыта. При этом минимальным значением показателя корнеобеспеченности характеризуются проростки интрогрессивной линии L12 (1,3 отн.ед., что на 0,19 отн.ед. превышает кон-

троль), наибольшим – проростки сорта Саратовская 68 (1,8 отн.ед., что на 0,8 отн.ед. выше контрольного значения).

Был рассчитан индекс восприимчивости к стрессу SSI по всем трем морфометрическим показателям проростка – длине первого листа, максимальной длине корня, общей длине корневой системы. Согласно используемой методике восприимчивыми к стрессу считаются объекты, значение SSI которых превышает 1,00 [20].

На основании полученных данных установлено, что у проростков L4 и сорта Саратовская 68 значение индекса SSI по всем изученным морфометрическим параметрам меньше порогового значения, что характеризует их, как невосприимчивые к осмотическому стрессу. Значение индекса SSI выше порогового значения по всем трем морфометрическим показателям у проростков линии L3, что характеризует эту



линию как наименее устойчивую к засухе среди объектов исследования. Восприимчивой к осмотическому стрессу можно считать корневую систему проростков линии L12, тогда как надземная часть к данному неблагоприятному фактору имеет меньшую восприимчивость. Проростки сорта Саратовская 70 показали восприимчивость к осмотическому стрессу надземной части проростка, тогда как корневая система является устойчивой.

Заключение

Проведен морфометрический анализ проростков интрогрессивных линий и сортов *Triticum aestivum* L. по следующим показателям: длине побега (L), максимальной длине корня в корневой системе проростка ($R_{max}(L)$), общей длине корневой системы ($R_s(L)$).

В условиях осмотического стресса наблюдается ингибирование роста первого листа и корневой системы у всех объектов исследования. При этом по длине первого листа статистически значимых отличий у проростков изученных линий и сортов не выявлено, тогда как по длине корневой системы, выраженной в % от контрольных значений, наблюдаются статистически достоверные различия между проростками линии L3 и линии L4.

При действии осмотического стресса на проростки объектов исследования наблюдается увеличение показателя корнеобеспеченности по сравнению с контрольным вариантом опыта у всех изученных линий и сортов; при этом минимальным значением показателя корнеобеспеченности характеризуются проростки интрогрессивной линии L12 (1,3 отн. ед., что на 0,19 отн. ед. превышает контроль), наибольшим – проростки сорта Саратовская 68 (1,8 отн. ед., что на 0,8 отн. ед. выше контрольного значения).

Восприимчивость исследуемых проростков к осмотическому стрессу определена с помощью индекса восприимчивости к стрессу (SSI). На основании полученных значений SSI можно заключить, что проростки интрогрессивных линий L3 и L4, полученных с использованием одного и того же сорта-реципиента Саратовская 68, но имеющих транслокацию разных генов устойчивости к ржавчине (для L3 это ген Lr28, а для линии 4 – Lr29), характеризуются различной восприимчивостью к осмотическому стрессу.

Проростки линии L3, в отличие от линии L4 и сорта Саратовская 68, восприимчивы к осмотическому стрессу: значение индекса SSI выше порогового по всем трем морфометрическим показателям, а именно: длине побега ($SSI(L)$), максимальной длине корня в корневой системе проростка ($SSI(R_{max})$), общей длине корневой системы ($SSI(R_s)$).

Это также подтверждается морфометрическими данными, показателями корнеобеспеченности и корневого индекса: проростки линии L3, восприимчивой к осмотическому стрессу, характеризуются минимальной среди изученных линий и сортов длиной корневой системы, низким показателем корневого индекса, менее выраженным повышением корнеобеспеченности в условиях стресса по сравнению с контрольным значением.

Сравнительный анализ полученных данных проростков линий L12 и L4, у которых присутствует один и тот же ген устойчивости к ржавчине – Lr29, но в качестве реципиента гена выступили разные сорта, позволяет установить, что восприимчивость к осмотическому стрессу, оцененная по морфометрическим параметрам, различается. Более восприимчивыми являются проростки линии L12, для которых реципиентом гена устойчивости является сорт Саратовская 70: значение индекса SSI проростков линии L12 выше порогового по морфометрическим показателям корневой системы, а именно, максимальной длине корня в корневой системе проростка ($SSI(R_{max})$), общей длине корневой системы ($SSI(R_s)$). Несмотря на отсутствие статистически значимых различий по длине корневой системы проростков этих линий, по максимальной длине корня в корневой системе проростка различия статистически значимы.

Полученные в настоящей работе данные позволяют по ряду морфометрических показателей охарактеризовать устойчивость к осмотическому стрессу интрогрессивных линий на ранних этапах морфогенеза проростков, что имеет важное значение для селекционной работы.

Список литературы

1. Çiğ F., Toprak Z. E. Ç. The effect of water stress on wheat quality and yield parameters under abiotic stress condition // International Anatolian Scientific Research Congress. 2023. Vol. 5. P. 280–286.



2. Тамразов Т. Г. Влияние засухи на морфофизиологические показатели и показатели продуктивности изученных местных генотипов пшеницы // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7, № 10. С. 45–56. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06>
3. Грабовец А. И., Кадушкина В. П., Коваленко С. А., Бирюкова О. В. Итоги селекции яровой твердой пшеницы на продуктивность и качество в условиях засух на Дону // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 3. С. 23–27. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10304>
4. Адонина И. Г., Тимонова Е. М., Салина Е. А. Интрогрессивная гибридизация мягкой пшеницы: результаты и перспективы // Генетика. 2021. Т. 57, № 4. С. 384–402. <https://doi.org/10.31857/S0016675821030024>
5. Козлова М. В. Изучение интрогрессивных линий мягкой пшеницы, содержащих чужеродный генетический материал // МНСК-2018: Сельскохозяйственные науки : материалы 56-й Международной научной студенческой конференции (Новосибирск, 22–27 апреля 2018 г.). Новосибирск : Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2018. С. 13.
6. Коробко В. В., Даштоян Ю. В., Калинина А. В., Костикова Ю. А. Влияние солевого стресса на рост и развитие корневой системы проростков интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 2. С. 195–204. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-195-204>, EDN: VFHSFH
7. Baranova O. A., Adonina L. G., Sibikeev S. N. Molecular cytogenetic characteristics of new spring bread wheat introgressive lines resistant to stem rust // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2024. Vol. 28, № 4. P. 377–386. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-43>
8. Осипова С. В., Пермяков А. В., Рудиковский А. В., Рудиковская Е. Г., Пшеничникова Т. А. Устойчивость к засухе фотосинтетического аппарата линий пшеницы *Triticum aestivum* L. с интрогрессиями от *Aegilops tauschii* Coss. в хромосоме 2D // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2025. Т. 29, № 4. С. 530–538. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-56>
9. Горлачева О. В., Горбачева С. Н., Лютенко В. С., Анцыферова О. В. Подбор концентрации осмотика ПЭГ 6000 для определения засухоустойчивости генотипов проса в период прорастания семян // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 3. С. 30–36. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-30-36>
10. Ханыева А., Костикова Ю. А., Коробко В. В. Влияние осмотического стресса на рост корневой системы проростков интрогрессивных линий мягкой пшеницы // Исследования молодых ученых в биологии и экологии – 2025 : сборник научных статей / под ред. О. И. Юдаковой [Электронное издание сетевого распространения]. Саратов : СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 2025. С. 144–146.
11. Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices // Central Asian Journal of Plant Science Innovation. 2021. Vol. 1, № 4. P. 176–179. <https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.04.01>
12. Калыбекова Ж. Т., Цыганков В. И., Зуев Е. В., Новикова Л. Ю. Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актыбинской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 85–95. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-85-95>
13. Fischer R., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses // Australian Journal of Agricultural Research. 1978. Vol. 29. P. 897–912. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897>
14. Abdel-Ghani A. H. Response of wheat varieties from semi-arid regions of Jordan to salt stress // Journal of Agronomy and Crop Sci. 2009. Vol. 195, № 1. P. 55–65. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00319.x>
15. Даштоян Ю. В., Калинина А. В., Коробко В. В. Влияние засоления на морфогенез проростков интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops columnaris* // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 3. С. 308–317. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-3-308-317>
16. Ledo A., Burslem D. F. R. P., Paul K. I., Battaglia M., England J. R., Pinkard E., Roxburgh S., Ewel J. J., Barton C., Brooksbank K., Carter J., Eid T. H., Fitzgerald A., Jonson J., Mencuccini M., Montagu K. D., Montero G., Ruizpeinado R., Mugasha W. A., Ryan C. M., Sochacki S., Specht A., Wildy D., Wirth C., Zerihun A., Chave J. Tree size and climatic water deficit control root to shoot ratio in individual trees globally // New Phytologist. 2018. Vol. 217, № 1. P. 8–11. <https://doi.org/10.1111/nph.14863>
17. Rauf S., Haider M. S., Tariq S. A., Ejaz M., Ashraf E., Noorka I. R. Prospects of inducing resistance in fodder species against toxic ions and metals // Bioremediation Journal. 2013. Vol. 17, № 4. P. 212–230.
18. Fellahi Z. E. A., Zaghdoudi H., Bensaadi H., Boutalbi W., Hannachi A. Assessment of salt stress effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) // Cultivars at Seedling Stage. 2019. Vol. 84, № 4. P. 347–355.
19. Bchini H., Chaabane R., Mosbahi M., Ben Naceur M., Sayar R. Application of salt tolerance indices for screening barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars // International Journal of Current Research. 2011. Vol. 3. P. 8–13.
20. Зубехина А. А., Коробко В. В. Восприимчивость некоторых интрогрессивных линий мягкой пшеницы к солевому стрессу // Исследования молодых ученых в биологии и экологии – 2025 : сборник научных



ных статей / под ред. О. И. Юдаковой [Электронное издание сетевого распространения]. Саратов : СГУ имени Н. Г. Чернышевского, 2025. С. 69–71.

References

1. Çiğ F., Toprak Z. E. Ç. The effect of water stress on wheat quality and yield parameters under abiotic stress condition. *International Anatolian Scientific Research Congress*, 2023, vol. 5, pp. 280–286.
2. Tamrazov T. G. Compare droughts on morphophysiological parameters and productivity indicators of studied local wheat genotypes. *Bulletin of Science and Practice*, 2021, vol. 7, no. 10, pp. 45–56 (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06>
3. Grabovets A. I., Kadushkina V. P., Kovalenko S. A., Biryukova O. V. Results of breeding spring durum wheat for productivity and quality under drought conditions in the Don region. *Achievements of Science and Technology in the Agro-industrial Complex*, 2021, vol. 35, no. 3, pp. 23–27 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10304>
4. Adonina I. G., Timonova E. M., Salina E. A. Wheat–Alien introgression breeding: Current status and prospects. *Russian Journal of Genetics*, 2021, vol. 57, no. 4, pp. 384–402 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0016675821030024>
5. Kozlova M. V. Study of introgressive lines of common wheat containing foreign genetic material. *ISSC-2018: Agricultural Sciences: Proc. of the 56th Internation. sci. stud. conf. (Novosibirsk, April 22–27, 2018)*. Novosibirsk, Novosibirsk National Research State University Publ., 2018, pp. 13 (in Russian).
6. Korobko V. V., Dashtoyan Yu. V., Kalinina A. V., Kostikova Yu. A. The effect of salt stress on the growth and development of the root system of seedlings of introgressive lines of spring bread wheat. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 2, pp. 195–204 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-2-195-204>, EDN: VFHSFH
7. Baranova O. A., Adonina L. G., Sibikeev S. N. Molecular cytogenetic characteristics of new spring bread wheat introgressive lines resistant to stem rust. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 377–386. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-43>
8. Osipova S. V., Permyakov A. V., Rudikovskiy A. V., Rudikovskaya E. G., Pshenichnikova T. A. Drought tolerance of the photosynthetic apparatus of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines with introgressions in chromosome 2D from *Aegilops tauschii* Coss. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2025, vol. 29, iss. 4, pp. 530–538 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-56>
9. Gurlacheva O. V., Gorbacheva S. N., Lyutenko V. S., Antsyferova O. V. Selection of the concentration of osmotic agent PEG 6000 for determining the drought resistance of millet genotypes during the period of seed germination. *Works on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2021, vol. 182, no. 3, pp. 30–36 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-30-36>
10. Hanyeva A., Kostikova Yu. A., Korobko V. V. Effect of osmotic stress on the growth of the root system of seedlings of introgressive lines of common wheat. In: *Issledovaniya molodykh uchenykh v biologii i ehkologii – 2025: sbornik nauchnykh statey. Pod red. O. I. Yudakovoy (Ehlektronnoe izdanie setevogo rasprostraneniya)* [Yudakova O. I., ed. Research of young scientists in biology and ecology – 2025: Collection of sci. arts. (Electronic publication of online distribution)]. Saratov, Saratov State University Publ., 2025, pp. 144–146 (in Russian).
11. Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 2021, vol. 1, no. 4, pp. 176–179. <https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.04.01>
12. Kalybekova Zh. T., Tsygankov V. I., Zuev E. V., Novikova L. Yu. Using drought resistance indices in studying a collection of spring soft wheat in the Aktobe region. *Transactions on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2022, vol. 183, no. 3, pp. 85–95 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-85-95>
13. Fischer R., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1978, vol. 29, pp. 897–912. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9780897>
14. Abdel-Ghani A. H. Response of wheat varieties from semi-arid regions of Jordan to salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Sci*, 2009, vol. 195, no. 1, pp. 55–65. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00319.x>
15. Dashtoyan I. V., Kalinina A. V., Korobko V. V. Effect of salinity on the morphogenesis of seedlings of introgressive lines of spring bread wheat with genetic material *Aegilops columnaris*. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 308–317 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-3-308-317>
16. Ledo A., Burslem D. F. R. P., Paul K. I., Battaglia M., England J. R., Pinkard E., Roxburgh S., Ewel J. J., Barton C., Brooksbank K., Carter J., Eid T. H., Fitzgerald A., Jonson J., Mencuccini M., Montagu K. D., Montero G., Ruizpeinado R., Mugasha W. A., Ryan C. M., Sochacki S., Specht A., Wildy D., Wirth C., Zerihun A., Chave J. Tree size and climatic water deficit control root to shoot ratio in individual trees globally. *New Phytologist*, 2018, vol. 217, no. 1, pp. 8–11. <https://doi.org/10.1111/nph.14863>
17. Rauf S., Haider M. S., Tariq S. A., Ejaz M., Ashraf E., Noorka I. R. Prospects of inducing resistance in fodder species against toxic ions and metals. *Bioremediation Journal*, 2013, vol. 17, no. 4, pp. 212–230.



18. Fellahi Z. E. A., Zaghdoudi H., Bensaadi H., Boutalbi W., Hannachi A. Assessment of salt stress effect on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cultivars at Seedling Stage*, 2019, vol. 84, no. 4, pp. 347–355.
19. Bchini1 H., Chaabane R., Mosbahi M., Ben Naceur M., Sayar R. Application of salt tolerance indices for screening barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *International Journal of Current Research*, 2011, vol. 3, pp. 8–13.
20. Zubekhina A. A., Korobko V. V. Susceptibility of some introgressive lines of common wheat to salt stress. In: *Issledovaniya molodyh uchenykh v biologii i ehkologii – 2025: sbornik nauchnykh statey. Pod red. O. I. Yudakovoy (Ehlektronnoe izdanie setevo-go rasprostraneniya)* [Yudakova O. I., ed. Research of young Scientists in Biology and Ecology – 2025: Collection of sci. arts. (Electronic publication of online distribution)]. Saratov, Saratov State University Publ., 2025, pp. 69–71 (in Russian).

Поступила в редакцию 02.12.2025; одобрена после рецензирования 21.02.2026; принята к публикации 26.02.2026
The article was submitted 02.12.2025; approved after reviewing 21.02.2026; accepted for publication 26.02.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 178–185

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 178–185

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-178-185>, EDN: JXOBAG

Научная статья

УДК 635.92:582.573.76



Внутривидовая изменчивость *Hemerocallis minor* Mill. в условиях лесостепи Западной Сибири

Т. И. Фомина

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, д. 101

Фомина Татьяна Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции декоративных растений, fomina-ti@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4724-2480>

Аннотация. Изложены результаты изучения внутривидовой изменчивости *Hemerocallis minor* – лилейника малого в условиях лесостепи Западной Сибири, в коллекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (Новосибирск). Анализ фенологических и морфологических признаков у образцов, привлеченных из природных популяций Забайкалья, Томской области и Тувы, выявил значительную внутривидовую вариабельность. По сезонному развитию достоверные различия касались сроков фенофаз и длительности межфазных периодов, в особенности цветения. При этом по датам зрелых семян и периоду плодоношения разница была несущественной. Морфологические различия образцов оказались наиболее значимыми по признакам соцветия (длина, число цветков), а также по высоте цветоноса и длине листьев, тогда как по размерам цветка и ширине листьев – несущественными. Полученные данные расширяют перспективы сохранения генофонда *H. minor* в научных коллекциях и использования вида в качестве раноцветущего декоративного многолетника, например, путем создания групп и массивов растениями различных образцов для обеспечения более продолжительного цветения.

Ключевые слова: *Hemerocallis minor*, лилейник малый, фенология, морфологические признаки, изменчивость

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту 126012336365-0 «Разработка научных основ и технологий оценки, сохранения и восстановления природного и культурного биоразнообразия, в том числе редких видов растений и их рационального использования».

Для цитирования: Фомина Т. И. Внутривидовая изменчивость *Hemerocallis minor* Mill. в условиях лесостепи Западной Сибири // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 178–185. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-178-185>, EDN: JXOBAG

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Intraspecific variability of *Hemerocallis minor* Mill. in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia

T. I. Fomina

Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, 101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia

Tatyana I. Fomina, fomina-ti@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4724-2480>

Abstract. The article presents the results of studying the intraspecific variability of *Hemerocallis minor* under the forest-steppe conditions of Western Siberia in the collection of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS (Novosibirsk). The analysis of phenological and morphological traits of accessions from natural populations in Transbaikalia, the Tomsk oblast, and Tuva revealed significant intraspecific variability. Regarding seasonal development, substantial differences were observed in the timing of phenophases and the duration of interphase periods, particularly flowering. However, the differences in the dates of mature seeds and the fruiting period were not significant. Morphological differences among the accessions were most pronounced in characteristics of the inflorescence (length, number of flowers), as well as in the height of the floral shoot stalk and the length of the leaves, while the sizes of the flowers and leaf widths showed no significant variation. The obtained data expand the prospects for preserving the gene pool of *H. minor* in scientific collections and using the species as an early-flowering decorative perennial. This can be achieved, for example, by creating groups and mass plantings of various accessions to ensure a longer flowering period.

Keywords: *Hemerocallis minor*, daylily minor, phenology, morphological features, variability

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment for the project 126012336365-0 “Development of scientific foundations and technologies for the assessment, conservation and restoration of natural and cultural biodiversity, including rare plant species and their rational use”.



For citation: Fomina T. I. Intraspecific variability of *Hemerocallis minor* Mill. in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 178–185 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-178-185>, EDN: JXOBAG

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Одно из направлений научных исследований по сохранению разнообразия растений – выявление закономерностей внутривидовой изменчивости. Считается, что диапазон внутри- и межпопуляционного варьирования количественных признаков характеризует уровень приспособленности особей к условиям обитания. Высокая вариабельность структурных признаков вегетативно-генеративного побега рассматривается как естественное состояние популяций, придающее им устойчивость [1, 2]. Другим важным механизмом адаптации является способность растений избегать экологического стресса, изменяя ритмы роста и развития [3].

Оценка фенотипической изменчивости признаков с помощью коэффициентов вариации позволяет судить об адапционном потенциале вида *in situ* и *ex situ* [4, 5]. Значительная вариабельность как биометрических, так и фенологических показателей особей представляет ресурс для отбора образцов с хозяйственно ценными признаками [6, 7]. В отношении декоративных растений изучение внутривидовой изменчивости обусловлено, в первую очередь, актуальной задачей совершенствования региональных ассортиментов [8, 9].

Среди декоративных травянистых видов природной флоры интересны представители рода *Hemerocallis* L. – лилейник, или красоднев, издавна культивируемые как красивоцветущие и неприхотливые в культуре многолетники [10]. Род имеет восточноазиатское происхождение и, по современным данным, включает 18 видов [11]. На территории Сибири в естественных условиях произрастает только *H. minor* Mill. – лилейник малый, включенный в Красные книги Красноярского, Алтайского и Забайкальского краев, Новосибирской области, Республики Саха [12]. Вид распространен также на российском Дальнем Востоке, в Монголии, Китае и Корее.

H. minor произрастает на суходольных и пойменных лугах, лесных опушках, остепненных склонах. Это лесостепной вид, мезофит, гелиофит. Благодаря широкой экологической амплитуде, он успешно культивируется в ус-

ловиях от умеренно до резко континентального климата, но малоперспективен в Субарктике [13–15]. В озеленении *H. minor* ценится за раннее и обильное цветение, устойчивость в городской среде. Несмотря на большую распространенность вида в природе и культуре, исследования его полиморфизма не проводились. Между тем интродукция образцов из различных природных популяций способствует сохранению генофонда редкого вида как в научных коллекциях, так и путем расширения его хозяйственного использования в качестве декоративного многолетника.

Цель настоящей работы – выявление внутривидовой изменчивости фенологических и морфологических признаков *H. minor* в условиях лесостепи Западной Сибири.

Материалы и методы

Исследование проводили в Центральном сибирском ботаническом саду (Новосибирск) в 2015–2021 гг. Объектами послужили 3 образца *H. minor* в коллекции декоративных растений природной флоры, составной части биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН – USU 440534 «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте». Материал привлечен из природных популяций Забайкальского края (1995), Республики Тыва (2009) и Томской области (2010). В ботаническом саду растения лилейника малого выращиваются на участке с подзолистыми малогумусными почвами при естественном увлажнении. Уходные мероприятия включают регулярные прополки и рыхление почвы на делянках в течение вегетационного периода.

Сезонное развитие вида изучали по общепринятой методике [16]. Морфологические показатели особей определяли в фазу цветения. Многолетние фенологические и биометрические данные обрабатывали с использованием стандартных статистических показателей – средней арифметической с ошибкой $M \pm m_x$, коэффициента вариации $V, \%$. Объемы выборок для биометрических показателей у изученных образцов составляли 40–70 значений в зависимости от признака. Существенность различий



признаков между образцами оценивали по критерию Стьюдента t на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Вариабельность показателей принимали за низкую ($V \leq 10\%$), среднюю ($10\% < V \leq 20\%$) или высокую ($V > 20\%$) по Г. Н. Зайцеву [17].

Климат г. Новосибирска континентальный, умеренно-холодный с недостаточным увлажнением. Средние температуры зимних месяцев равны $-15...-18^\circ\text{C}$, летних $16...19^\circ\text{C}$. Продолжительность безморозного периода составляет 96–146 дней, среднегодовое количество осадков – 440 мм, из них с апреля по октябрь выпадает 320 мм. Особенности регионального климата: длительные зимы с глубоким промерзанием почвы и высоким снежным покровом, короткие вегетационные периоды с поздневесенними и раннеосенними заморозками, частыми засухами, а также резкие сезонные и суточные колебания температуры воздуха –

формируют неблагоприятные экологические условия на юге Западной Сибири [18].

Результаты и их обсуждение

H. minor относится к весенне-летнезеленому феноритмотипу с ранним отрастанием, ранне-летними сроками начала цветения и окончанием вегетации при наступлении осенних заморозков (табл. 1). В сроках фенофаз между образцами выявлены существенные различия. Образец из Тувы отличался от двух других более ранним возобновлением вегетации весной, тогда как образец из Забайкалья – самым ранним цветением (табл. 2). Все образцы достоверно различались датами конца цветения и не различались датами появления зрелых семян. Наиболее раннее завершение вегетации отмечалось у образца из Забайкалья, а самое позднее – у образца из Тувы.

Таблица 1 / Table 1

**Фенология *Hemerocallis minor* в Центральном сибирском ботаническом саду
Phenology of *Hemerocallis minor* in the Central Siberian Botanical Garden**

Образец / Accession	Весеннее отрастание / Spring regrowth	Начало цветения / Flowering start	Конец цветения / Flowering end	Зрелые семена / Mature seeds	Конец вегетации / Vegetation end
Забайкалье / Transbaikalia	<u>01.05±2</u> 7,8	<u>03.06±4</u> 13,1	<u>29.06±4</u> 13,8	<u>24.07±3</u> 13,1	<u>19.09±8</u> 40,6
Томская область / Tomsk oblast	<u>30.04±2</u> 7,2	<u>09.06±2</u> 23,1	<u>12.07±3</u> 25,4	<u>28.07±2</u> 8,7	<u>24.09±5</u> 22,5
Тува / Tuva	<u>26.04±0</u> 1,3	<u>09.06±3</u> 28,6	<u>21.07±4</u> 20,6	<u>29.07±2</u> 7,9	<u>27.09±4</u> 13,8

Примечание. Верхнее значение – средняя арифметическая с ошибкой $M \pm m_x$, нижнее значение – коэффициент вариации V , %.

Note. The upper value is the arithmetic mean with an error of $M \pm m_x$, the lower value is the coefficient of variation V , %.

Таблица 2 / Table 2

**Оценка существенности различий фенологии у образцов *Hemerocallis minor*
с использованием t -критерия Стьюдента**

Assessment of the significance of phenology differences in *Hemerocallis minor* accessions using Student's t -test

Образец / Accession	Весеннее отрастание / Spring regrowth	Начало цветения / Flowering start	Конец цветения / Flowering end	Зрелые семена / Mature seeds	Конец вегетации / Vegetation end
Забайкалье vs Томская область / Transbaikalia vs Tomsk oblast	0,6	9,9	6,5	1,5	1,6
Забайкалье vs Тува / Transbaikalia vs Tuva	3,4	9,3	2,9	1,9	2,5
Томская область vs Тува / Tomsk oblast vs Tuva	2,7	0,2	3,3	0,5	0,8

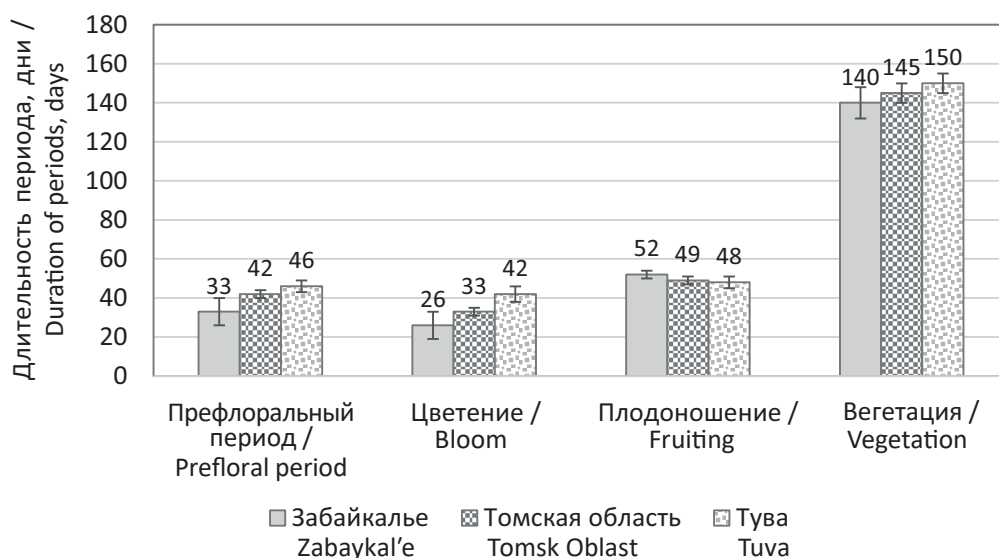
Примечание. $t_{\text{теор}} = 2,31...2,57$ на 5%-ном уровне значимости; $(n - 2) = 5...8$. Достоверные различия выделены.

Note. $t_{\text{theor}} = 2.31...2.57$ at the 5% significance level; $(n - 2) = 5...8$. Significant differences are highlighted.



Анализ данных по продолжительности фенологических периодов в сезонном цикле развития показал, что образец из Забайкалья отличался достоверно коротким префлоральным периодом – 33 дня в среднем, в то время как образцы из Томской области и Тувы зацветали позже на 9 и 13 дней соответственно (рисунок). Значительные внутривидовые различия наблюдались по длительности цветения: 42 дня в

среднем для образца из Тувы против 33 дней для образца из Томской области и 26 дней – из Забайкалья. Благодаря различиям в сроках цветения образцов период цветения вида удлинялся до 50 дней. Период плодоношения (от начала цветения до появления зрелых семян) составлял в среднем 48–52 дня без существенных различий на уровне вида. Длительность периода вегетации варьировала в пределах 140–150 дней.



Продолжительность фенологических периодов у образцов *Hemerocallis minor*
Figure. Duration of phenological periods in *Hemerocallis minor* accessions

У *H. minor* из Забайкалья отмечено ускоренное сезонное развитие: самое раннее и короткое цветение, меньший период вегетации. Среди видовых лилейников этот образец зацветает первым, на неделю опережая раноцветущий *H. coreana*. Образец из Тувы, напротив, длительно цветет и дольше вегетирует. Наибольшие различия по фенологии выявлены между образцами из Забайкалья и Тувы.

Полученные данные позволяют судить о существенной внутривидовой вариабельности фенологических признаков у *H. minor*. Уровень индивидуальной изменчивости исследованных образцов заметно различался для разных показателей. Как правило, низкий уровень отмечен для дат весеннего отрастания, зрелых семян и длительности межфазных периодов, тогда как даты цветения и окончания вегетации варьировали значительно.

Морфологические признаки определяют декоративную ценность растений и важны для оценки перспектив использования видов

в озеленении. Диапазон варьирования количественных показателей обусловлен адаптацией к условиям произрастания и потому является критерием биологической устойчивости вида. Высокая внутривидовая изменчивость служит источником для отбора хозяйственно ценных образцов. Нами исследован ряд морфологических признаков *H. minor*, наиболее значимых для культивирования в качестве декоративного многолетника (табл. 3).

По средней высоте цветоносного побега (стрелки) вид относится к среднерослым многолетникам, при этом показатель увеличивается от 73 см для образца из Забайкалья до 93 см из Томской области. Такие признаки, как высота стрелки до соцветия, его длина и число цветков характеризуют степень развитости соцветия, определяющую длительность цветения. Образец из Тувы отличается более короткими стрелками, но более длинными соцветиями, а среднее число цветков на одном побеге составляет 9–10, тогда как у образца из Забайкалья всего 3.



Таблица 3 / Table 3

Морфологические показатели образцов *Hemerocallis minor* в условиях Новосибирска
Morphological indicators of *Hemerocallis minor* accessions in Novosibirsk

Признак / Образец Indicator / Accession	Забайкалье / Transbaikalia		Томская область / Tomsk oblast		Тува / Tuva	
	$M \pm m_x$	V, %	$M \pm m_x$	V, %	$M \pm m_x$	V, %
Высота цветоноса, см / Floral shoot height, cm	73,1±1,3	13,5	93,0±2,4	13,7	87,5±2,4	12,7
Высота стрелки, см / Scape height, cm	69,1±1,0	8,4	75,9±2,0	13,2	66,3±2,9	23,1
Длина соцветия, см / Inflorescence length, cm	9,5±0,3	20,9	16,8±1,4	49,4	18,2±1,3	38,9
Число цветков, шт. / Number of flowers, pcs.	2,7±0,1	35,7	7,8±0,4	21,7	9,3±0,5	27,3
Длина цветка, см / Flower length, cm	9,1±0,1	5,0	8,0±0,1	6,5	8,6±0,1	5,4
Диаметр цветка, см / Flower diameter, cm	8,1±0,2	12,9	7,5±0,2	14,7	7,2±0,1	9,0
Длина листа, см / Leaf length, cm	44,3±2,1	25,7	56,2±2,2	21,9	54,7±1,8	18,0
Ширина листа, см / Leaf width, cm	1,0±0,1	19,3	1,6±0,1	18,4	1,4±0,0	15,4

Размеры цветка на внутривидовом уровне менее вариабельны: длина околоцветника с трубкой колеблется в пределах 8–9 см, диаметр околоцветника – 7–8 см. Листья заметно различаются по размерам и форме, в том числе на одном растении. У образца из Забайкалья их средние длина и ширина в полтора раза меньше, листовые пластинки узколинейные, у двух других образцов большинство листьев линейные.

Сравнительная оценка изменчивости морфологических признаков выявила достоверные различия, за исключением диаметра цветка (табл. 4). По ширине листа разница также оказалась несущественной. При этом ни по одному из исследованных признаков не установлено значимых различий между всеми тремя образцами. Очевидно, что образцы из Томской области и Тувы морфологически очень близки, различаясь лишь высотой стрелки – в первом случае она заметно короче. Напротив, образец из Забайкалья значительно отличается, особенно от образца из Томской области. Ниже приводим описание морфологических особенностей образцов *H. minor*.

Образец из Забайкалья: цветоносы 50–97 см высотой; соцветие рыхлое, из 2–6 цветков или цветки одиночные, желтые и очень ароматные; околоцветник 8,3–9,8 см длиной (с трубкой 2,2–2,4 см) и 5,3–9,5 см в диаметре; доли околоцветника расставленные и сильно отогнутые, трубка и наружные доли с внешней стороны глянцево коричневые; цветоножки далеко выходят за пределы обертки из ланцетных зеленых листочков; тычиночные нити желтые, пыльники темные; листья 26–70 см длиной и 0,5–1,3 см шириной.

Образец из Томской области: цветоносы 68–126 см высотой; соцветие 6–32 см длиной, состоит из 4–11 цветков, лимонно-желтых и очень ароматных; околоцветник 6,7–8,6 см длиной и 5,7–9,0 см в диаметре; доли околоцветника менее расставленные, чем у образца из Забайкалья, с внешней стороны, как и трубка, зеленоватые; листья 37–80 см длиной и 1,1–2,2 см шириной.

Образец из Тувы: цветоносы 66–110 см высотой; соцветие 7–36 см длиной, несет 5–16 цветков, лимонно-желтых и очень ароматных; околоцветник 7,6–9,1 см длиной и 6,0–8,1 см в



Таблица 4 / Table 4

Оценка существенности различий образцов *Hemerocallis minor* по биометрическим признакам с использованием *t*-критерия Стьюдента
Assessment of the significance of differences in *Hemerocallis minor* accessions on biometric indicators using Student's *t*-test

Признак / Образец Indicator / Accession	Забайкалье vs Томская область / Transbaikalia vs Tomsk oblast	Забайкалье vs Тува / Transbaikalia vs Tuva	Томская область vs Тува / Tomsk oblast vs Tuva
Высота цветоноса, см / Floral shoot height, cm	10,3	7,5	2,5
Высота стрелки, см / Scape height, cm	4,0	1,4	4,4
Длина соцветия, см / Inflorescence length, cm	5,5	6,7	0,9
Число цветков, шт. / Number of flowers, pcs.	7,0	8,5	1,7
Длина цветка, см / Flower length, cm	2,3	1,0	1,2
Диаметр цветка, см / Flower diameter, cm	0,9	1,6	0,6
Длина листа, см / Leaf length, cm	5,7	5,3	0,8
Ширина листа, см / Leaf width, cm	1,7	1,2	0,7

Примечание. $t_{теор} = 1,99...2,02$ (на 5%-ном уровне значимости); $n = 40...70$. Достоверные различия выделены.
 Note. $t_{theor} = 1.99...2.02$ (at the 5% significance level); $n = 40...70$. Significant differences are highlighted.

диаметре; доли околоцветника менее расставленные, чем у образца из Забайкалья, с внешней стороны, как и трубка, зеленоватые; листья 34–72 см длиной и 0,8–1,8 см шириной.

Индивидуальная изменчивость морфологических признаков *H. minor* неодинакова. Высокая вариабельность показана для структуры соцветия (его длина и число цветков), а также для длины листьев. Наименее вариабельный видовой признак – размеры цветка. Большинство изученных показателей варьировали на среднем уровне (см. табл. 3). Полученные нами данные полностью согласуются с ранними работами [1, 19] по характеру внутривидовой и индивидуальной изменчивости морфологических признаков у лугово-лесных видов при переносе в культуру.

Внутривидовая вариабельность *H. minor* по фенологическим и биометрическим показателям обусловлена эколого-географическими факторами произрастания природных популяций. Известно, что различия признаков между популяциями могут проявляться как модифи-

кации при адаптации к новым условиям обитания или возникать вследствие генотипических вариаций [1, 20]. Генетическая дифференциация вида в пределах ареала может приводить к вариабельности признаков у различных образцов, произрастающих в одинаковых условиях. Для уточнения причин внутривидовой изменчивости *H. minor* при интродукции в условия лесостепи Западной Сибири необходимо продолжение исследований, включая проверку по семенному потомству.

Заключение

Анализ многолетних фенологических данных выявил достоверно значимые различия образцов *H. minor* по датам фенофаз и длительности межфазных периодов, за исключением сроков плодоношения. Наибольшие различия отмечены для образцов из Забайкалья и Тувы: раннее и короткое цветение, меньший период вегетации – у первого, продолжительные цветение и вегетация – у второго. Сравнитель-



ная оценка вариабельности ряда морфологических признаков также выявила существенные различия образцов, за исключением размеров цветка и ширины листьев. При этом образцы из Томской области и Тувы оказались морфологически очень близкими, достоверно различаясь лишь высотой стрелки – в первом случае она заметно короче. Напротив, образец из Забайкалья значительно отличается, особенно от образца из Томской области. Индивидуальная изменчивость большинства фенологических и морфологических признаков средняя или высокая, кроме дат весеннего отрастания и размеров цветка. Полученные данные вносят вклад в сохранение генофонда редкого вида *H. minor* в культуре и расширяют возможности его использования в качестве раноцветущего декоративного многолетника.

Список литературы

1. Викторов В. П. Внутривидовая изменчивость растений. М. : МГПУ, 2016. 172 с.
2. Preite V., Stöcklin J., Armbruster G. F. J., Scheepens J. F. Adaptation of flowering phenology and fitness-related traits across environmental gradients in the widespread *Campanula rotundifolia* // *Evolutionary Ecology*. 2015. Vol. 29. P. 249–267. <https://doi.org/10.1007/s10682-015-9754-y>
3. Жмылев П. Ю., Жмылева А. П., Карпухина Е. А., Титовец А. В. Возможные причины изменения сезонного развития растений в связи с потеплением климата // *Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2001. № 9. С. 98–103.
4. Скворцов А. К. Внутривидовая изменчивость и новые подходы к интродукции растений // *Бюллетень Главного ботанического сада*. 1986. Вып. 140. С. 18–25.
5. Zhao N., Zhang L. H., Zhao T. T., Mo L., Zhang J. L., Gao Y. B., Wang J. L. Trait differentiation among *Stipa krylovii* populations in the Inner Mongolia Steppe region // *FLORA*. 2016. Vol. 223. P. 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.05.004>
6. Cioanca O., Mircea C., Iancu C., Gille E., Hancianu M. Intraspecific variability of *Origanum* crop varieties depending on growing conditions: Secondary metabolites accumulation // *Proceedings of the 13th SGEM GeoConference on Nano, Bio and Green – Technologies for a Sustainable Future*. 2013. P. 177–184. <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BF6/S25.015>
7. Bączek K., Kosakowska O., Boczkowska M., Bolc P., Chmielecki R., Pióro-Jabrucka E., Raj K., Węglarz Z. Intraspecific variability of wild thyme (*Thymus serpyllum* L.) occurring in Poland // *J. of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2019. Vol. 12. P. 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.001>
8. Scariot V., Seglie L., Gaiano W., Devecchi M. Evaluation of european native bluebells for sustainable floriculture // *Acta Horticulturae*. 2012. Vol. 937. P. 273–279. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.937.33>
9. Фомина Т. И., Фомин Э. С. Эколого-географическая изменчивость фенологии у травянистых многолетних растений *ex situ* // *Сибирский экологический журнал*. 2025. № 6. С. 952–967. <https://doi.org/10.15372/SEJ20250609>
10. Gulia S. K., Singh B. P., Garter J., Griesbach R. J. Daylily: Botany, propagation, breeding // *Horticultural Reviews*. 2009. Vol. 35. P. 193–220. <https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch3>
11. WFO (2025): World Flora Online. URL: <http://www.worldfloraonline.org> (дата обращения: 22.12.2025).
12. Интродукция редких и исчезающих видов растений Сибири и Дальнего востока / науч. ред. Т. В. Елисафенко, А. Н. Куприянов. Новосибирск : СО РАН, 2024. 808 с. <https://doi.org/10.53954/9785605250128>
13. Зайнетдинова Г. С., Миронова Л. Н. Краткие итоги интродукции лилейников в Башкирии // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки*. 2011. № 9 (104), вып. 15 (1). С. 188–193.
14. Борисова С. З., Данилова Н. С. Эколого-биологическая характеристика редкого для Якутии вида *Heimerocallis minor* (Heimerocallidaceae) // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2017. № 39. С. 44–57. <https://doi.org/10.17223/19988591/39/3>
15. Тростенюк Н. Н., Святковская Е. А., Салтан Н. В. Интродукционные исследования рода *Heimerocallis* L. в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте // *Известия Самарского НЦ РАН*. 2019. Т. 21, № 2. С. 142–146.
16. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1974. 156 с.
17. Зайцев Г. Н. Фенология травянистых многолетников. М. : Наука, 1978. 149 с.
18. Лучицкая И. О., Белая Н. И., Арбузов С. А. Климат Новосибирска и его изменения. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2014. 224 с.
19. Тихонова В. Л. Ресурсы внутривидовой изменчивости дикорастущих травянистых растений, их изучение, сохранение и использование (на примере охраняемых и лекарственных видов) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1992. 40 с.
20. Westerband A. C., Funk J. L., Barton K. E. Review: Intraspecific trait variation in plants: A renewed focus on its role in ecological processes // *Annals of Botany*. 2021. Vol. 127. P. 397–410. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab011>



References

1. Viktorov V. P. *Vnutrividovaya izmenchivost' rastenij* [Intraspecific variability of plants]. Moscow, Moscow State Pedagogical University Publ., 2016. 172 p. (in Russian).
2. Preite V., Stöcklin J., Armbruster G. F. J., Scheepens J. F. Adaptation of flowering phenology and fitness-related traits across environmental gradients in the widespread *Campanula Rotundifolia*. *Evolutionary Ecology*, 2015, vol. 29, pp. 249–267. <https://doi.org/10.1007/s10682-015-9754-y>
3. Zhmylev P. Yu., Zhmyleva A. P., Karpukhina E. A., Titovets A. V. Possible reasons of change in seasonal plant development in connection with climate warming. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 2001, no. 9, pp. 98–103 (in Russian).
4. Skvortsov A. K. Intraspecific variation and new approaches to plant introduction. *Bulletin of the Main Botanical Garden*, 1986, iss. 140, pp. 18–25 (in Russian).
5. Zhao N., Zhang L. H., Zhao T. T., Mo L., Zhang J. L., Gao Y. B., Wang J. L. Trait differentiation among *Stipa krylovii* populations in the Inner Mongolia Steppe region. *FLORA*, 2016, vol. 223, pp. 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.05.004>
6. Cioanca O., Mircea C., Iancu C., Gille E., Hancianu M. Intraspecific variability of *Origanum* crop varieties depending on growing conditions: Secondary metabolites accumulation. In: *Proceedings of the 13th SGEM GeoConference on Nano, Bio and Green – Technologies for a Sustainable Future*, 2013, pp. 177–184. <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BF6/S25.015>
7. Bączek K., Kosakowska O., Boczkowska M., Bolc P., Chmielecki R., Pióro-Jabrucka E., Raj K., Węglarz Z. Intraspecific variability of wild thyme (*Thymus serpyllum* L.) occurring in Poland. *J. of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2019, vol. 12, pp. 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.001>
8. Scariot V., Seglie L., Gaiano W., Devecchi M. Evaluation of european native bluebells for sustainable floriculture. *Acta Horticulturae*, 2012, vol. 937, pp. 273–279. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.937.33>
9. Fomina T. I., Fomin E. S. Ecogeographical variability of the phenology of herbaceous perennial plants *ex situ*. *Contemporary Problems of Ecology*, 2025, vol. 18, no. 6, pp. 894–907. <https://doi.org/10.1134/S1995425525700441>
10. Gulia S. K., Singh B. P., Garter J., Griesbach R. J. Daylily: Botany, propagation, breeding. *Horticultural Reviews*, 2009, vol. 35, pp. 193–220. <https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch3>
11. WFO (2025): *World Flora Online*. Available at: <http://www.worldfloraonline.org> (accessed December 22, 2025).
12. *Introduktsiya redkikh i ischezayushchikh vidov rasteniy Sibiri i Dalnego vostoka*. *Nauch. red. T. V. Elisafenko, A. N. Kupriyanov* [Elisafenko T. V., Kupriyanov A. N., sci. eds. Introduction of rare and endangered plant species of Siberia and the Far East]. Novosibirsk, Siberian Branch of the RAS Publ., 2024. 808 p. (in Russian). <https://doi.org/10.53954/9785605250128>
13. Zainetdinova G. S., Mironova L. N. Short results of the introduction of daylilies in Bashkiria. *Belgorod State University. Scientific Bulletin. Natural Sciences*, 2011, no. 9 (104), iss. 15 (1), pp. 186–191 (in Russian).
14. Borisova S. Z., Danilova N. S. Ecological and biological characteristics of *Hemerocallis minor* (Hemerocallidaceae) species, rare for Yakutia. *Tomsk State University Journal of Biology*, 2017, no. 39, pp. 44–57 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/39/3>
15. Trostenyuk N. N., Svyatkovskaya E. A., Saltan N. V. Introduction studies of the genus *Hemerocallis* L. in the Polar Alpine botanical garden and institute. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 142–146 (in Russian).
16. Beideman I. N. *Metodika izucheniya fenologii rasteniy i rastitel'nykh soobshchestv* [Methodology of studying the phenology of plants and plant communities]. Novosibirsk, Nauka. Sibirskoe otdelenie, 1974. 156 p. (in Russian).
17. Zaytsev G. N. *Fenologiya travyanistykh mnogoletnikov* [Phenology of herbaceous perennials]. Moscow, Nauka, 1978. 149 p. (in Russian).
18. Luchitskaya I. O., Belaya N. I., Arbuzov S. A. *Klimat Novosibirska i ego izmeneniya* [Novosibirsk climate and its changes]. Novosibirsk, Siberian Branch of the RAS Publ., 2014. 224 p. (in Russian).
19. Tikhonova V. L. *The Resources of Intraspecific Variation of Wild Grasses, Their Study, Conservation, and Use (Case Study of Protected and Medicinal Species)*. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). St. Petersburg, 1992. 40 p. (in Russian).
20. Westerband A. C., Funk J. L., Barton K. E. Review: Intraspecific trait variation in plants: A renewed focus on its role in ecological processes. *Annals of Botany*, 2021, vol. 127, pp. 397–410. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab011>

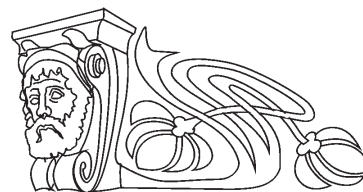
Поступила в редакцию 13.01.2026; одобрена после рецензирования 05.03.2026; принята к публикации 15.03.2026
The article was submitted 13.01.2026; approved after reviewing 05.03.2026; accepted for publication 15.03.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 186–195
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 186–195
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-186-195>, EDN: MUPWLF

Научная статья
УДК 591.54:598.28.29

Особенности протекания постювенальной и послебрачной линьки у камышовой овсянки *Schoeniclus schoeniclus* и пеночки-веснички *Phylloscopus trochilus* на стационаре «Остров Варлама» (Мурманская область)



Е. А. Слесарева¹, Е. Ю. Мельников¹✉, Д. С. Смолякова¹, Н. В. Поликарпова²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Государственный природный заповедник «Пасвик», Россия, 184421, Мурманская область, Печенгский р-н, пгт Никель, пр. Гвардейский, д. 43Б

Слесарева Елизавета Александровна, лаборант зоологического музея, sl36lis937@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-3397-2475>

Мельников Евгений Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии и экологии животных, skylark88@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3597-6321>

Смолякова Дарья Сергеевна, лаборант зоологического музея, smolakovadasha@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4177-0837>

Поликарпова Наталья Владимировна, кандидат географических наук, директор, polikarpova-pasvik@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3332-035X>

Аннотация. Представлены результаты сравнительного анализа постювенальной линьки двух массовых видов воробьиных птиц – пеночки-веснички (*Phylloscopus trochilus*) и камышовой овсянки (*Schoeniclus schoeniclus*) – в условиях Крайнего Севера (заповедник «Пасвик», Мурманская область). Работы выполнялись на стационаре «Остров Варлама» в 2022–2024 гг. Использовались отловы птиц с помощью паутинных сетей с последующим прижизненным описанием. Стадии постювенальной и послебрачной линьки описывались по состоянию оперения на отдельных перьях по стандартным методикам, отдельно для молодых и взрослых особей. У птиц-первогодков состояние смены оперения оценивалось по стадиям, описанным в литературе. У взрослых особей стадии выделялись в зависимости от степени замены маховых перьев. Исследование выявило существенные межвидовые различия в динамике и продолжительности линьки, связанные с их миграционными стратегиями. У пеночки-веснички отмечен синхронный и концентрированный характер смены оперения (пик активности 6–11 августа, продолжительность ~15 дней), тогда как у камышовой овсянки процесс протекал более растянуто (28 июля – 29 августа, ~25–30 дней) с признаками бифазности. Установлено, что северные популяции обоих видов демонстрируют специфические адаптации: сокращение полноты линьки, более раннее начало процесса и его частичное совмещение с заключительными стадиями гнездования. Статус ближнего мигранта и семеноядность позволяют камышовой овсянке более гибко регулировать подготовку к миграции, в то время как весничка, будучи дальним мигрантом, быстрее сменяет оперение в условиях завершающегося полярного лета. Полученные данные расширяют понимание фенологических адаптаций птиц к экстремальным широтам и имеют значение для прогнозирования их реакций на климатические изменения.

Ключевые слова: заповедник «Пасвик», остров Варлама, пеночка-весничка, камышовая овсянка, линька

Источники финансирования. Исследования выполнялись в рамках государственного задания ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик» и многолетней программы мониторинга биологического разнообразия в Печенгском районе при поддержке АО «Кольская ГМК».

Для цитирования: Слесарева Е. А., Мельников Е. Ю., Смолякова Д. С., Поликарпова Н. В. Особенности протекания постювенальной и послебрачной линьки у камышовой овсянки *Schoeniclus schoeniclus* и пеночки-веснички *Phylloscopus trochilus* на стационаре «Остров Варлама» (Мурманская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 186–195. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-186-195>, EDN: MUPWLF

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Patterns of post-juvenile and post-breeding molt of Reed Bunting (*Schoeniclus schoeniclus*) and Willow Warbler (*Phylloscopus trochilus*) at the Varlam Island Station (Murmansk region)

E. A. Slesareva¹, E. Yu. Melnikov¹✉, D. S. Smolyakova¹, N. V. Polikarpova²



¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Pasvik State Nature Reserve, 43B Gvardeysky Ave., vts Nikel, Pechenga district, Murmansk region 184421, Russia

Elizaveta A. Slesareva, sl36lis937@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-3397-2475>

Evgeniy Yu. Melnikov, skylark88@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3597-6321>

Daria S. Smolyakova, smolakovadasha@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4177-0837>

Natalia V. Polikarpova, polikarpova-pasvik@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3332-035X>

Abstract. The article presents the results of a comparative analysis of post-juvenile molt in two widespread passerine species – the Willow Warbler (*Phylloscopus trochilus*) and the Reed Bunting (*Schoeniclus schoeniclus*) – in the conditions of the extreme North (Pasvik Nature Reserve, Murmansk region). The study was conducted at the Varlam Island research station in 2022–2024. Birds were captured using mist nets, followed by in vivo description. The stages of post-juvenile and post-breeding molt were assessed based on plumage condition in individual pteryla using standard methods, separately for young and adult individuals. In first-year birds, feather replacement was evaluated according to stages described in the literature. In adults, stages were distinguished based on the degree of flight feather replacement. The study revealed significant interspecific differences in molt dynamics and duration, linked to their migratory strategies. The Willow Warbler exhibited a synchronous and concentrated pattern of feather replacement (peak activity August 6–11, duration ~15 days), whereas the Reed Bunting underwent a more prolonged process (July 28 – August 29, ~25–30 days) with signs of bifidity. It was found that northern populations of both species display specific adaptations: reduced molt completeness, earlier onset of the process, and partial overlap with the final stages of nesting. The Reed Bunting's status as a short-distance migrant and granivorous diet allows for more flexible regulation of pre-migratory preparation, whereas the Willow Warbler, being a long-distance migrant, replaces its plumage more rapidly under the constraints of the waning polar summer. The obtained data enhance the understanding of avian phenological adaptations to extreme latitudes and are relevant for predicting their responses to climate change.

Keywords: Pasvik Nature Reserve, Varlama Island, Willow Warbler, Reed Bunting, molt

Funding. The study was carried out within the framework of the state assignment for Pasvik Nature Reserve and a multi-year program aimed at biodiversity monitoring in the Pechenga District with the support of Kola Mining and Metallurgical Company JSC.

For citation: Slesareva E. A., Melnikov E. Yu., Smolyakova D. S., Polikarpova N. V. Patterns of post-juvenile and post-breeding molt of Reed Bunting (*Schoeniclus schoeniclus*) and Willow Warbler (*Phylloscopus trochilus*) at the Varlam Island Station (Murmansk region). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 186–195 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-186-195>, EDN: MUPWLF

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Линька в жизненном цикле птиц непосредственно влияет на их выживаемость и репродуктивную эффективность [1]. Этот энергетически затратный физиологический процесс тесно связан с другими этапами годового цикла, включая размножение и миграцию [2, 3]. У представителей отряда Воробьинообразные постювенальная и послебрачная смена оперения обычно приурочена к ограниченному временному промежутку между окончанием гнездования и началом миграции.

Продолжительность и ход линьки у птиц определяются совокупностью внешних и внутренних факторов, среди которых ключевую роль играет фотопериод как один из основных экзогенных регуляторов, задающий темпы смены оперения: сокращение светового дня, как правило, ускоряет линьку, тогда как длительный фотопериод может её растягивать. При этом у многих видов возраст начала постювенальной линьки контролируется эндогенными, генетически обусловленными ритмами и может быть относительно независим от условий освещения [4].

Существенное влияние на смену оперения оказывает и ряд других факторов: сроки размножения, географическая широта гнездования, миграционная стратегия вида. Эффектами воздействия могут быть изменения темпов линьки, сокращение её объема или же совмещение с другими фазами годового цикла [1]. В ряде случаев ход линьки обуславливается доступностью кормовых ресурсов, способной опосредованно влиять на распределение энергетических ресурсов организма между миграцией, размножением и сменой оперения [5].

В северных широтах, где сезон гнездования особенно короток, линька протекает в сжатые сроки. Нарушение ее временных параметров может ухудшить качество оперения, что негативно отражается на миграционной способности и терморегуляции [2]. Вследствие этого изучение особенностей линьки помогает оценить адаптационный потенциал видов в различных зонах ареала, в частности, выявить адаптационные механизмы [6, 7], проследить динамику ареалов [8].

На территории заповедника «Пасвик» в долине р. Паз находится один из самых северных



пунктов мониторинга миграций воробьиных в Европе [9, 10]. Анализ массовых видов птиц позволяет выявить общие закономерности жизненных циклов, адаптаций к среде и реакций на климатические изменения, что важно для понимания экологических процессов на популяционном и биоценотическом уровнях. Целью нашей работы стало изучение личиных стратегий двух модельных массовых видов с разными миграционными стратегиями: пеночка-весничка (*Phylloscopus trochilus*) – дальний трансконтинентальный мигрант, и камышовая овсянка (*Schoeniclus schoeniclus*) – вид с более короткими миграционными перелетами.

Выбор модельных видов определялся их многочисленностью и распространенностью как в самом заповеднике, так и в отловах стационара за весь период работ [9]. Степень изученности жизненного цикла камышовой овсянки и пеночки-веснички существенно варьирует по широтам ареала: для северо-западных и северных регионов Европы и России (60° с.ш.) накоплен крупный массив данных по размножению, линьке и миграциям [11–13]. Южные популяции обоих видов, обитающие в Восточной Европе и на Балканах (около 45–50° с.ш.), изучены заметно слабее [14]. При этом имеющиеся исследования указывают на более растянутые сроки линьки и повышенную вариабельность начала миграций, вероятно, обусловленные региональными климатическими условиями и фотопериодом, как у камышовой овсянки [15, 16], так и у пеночки-веснички [1, 14]. Учитывая эти факты, следует предположить не менее заметные сдвиги в сроках линьки и продолжительности её стадий у обоих видов и в условиях заполярных широт, где располагается заповедник.

Материал и методы

Исследования проводились в 2022–2024 гг. на стационаре «Остров Варлама» (69°08'N, 29°15'E) в заповеднике «Пасвик», территория которого расположена на крайнем северо-западе Мурманской области, примерно в 300 км к северу от Полярного круга и в 50 км южнее берега Баренцева моря. Температурные показатели территории характеризуются средними значениями в июле +12...+14°C и вегетационным периодом всего 80–90 дней. Климатические условия района определяются его положени-

ем в умеренном поясе атлантико-арктической области, где близость теплого Северо-Атлантического течения смягчает субарктический климат. Район отличается высокой влажностью воздуха и большим количеством дней с осадками. Среднегодовая сумма осадков составляет 500–550 мм. Из-за расположения в высоких широтах в Пасвике наблюдаются круглосуточные полярные дни летом и продолжительные ночи с короткими полуденными сумерками зимой. Полярный день начинается в конце мая и продолжается до середины июля, средние даты – с 22 мая по 22 июля [10].

Материал собран в период активной линьки (20.07–02.09) с использованием шести паутинных сетей, установленных в различных биотопах: пойменном ивняке, разнотравной луговине и смешанном сосново-березовом лесу. Для повышения эффективности отлова применяли акустические манки [17]. Работы проводили с 3:00 до 17:00 при благоприятных погодных условиях (сети сворачивались при сильных дождях и порывистом ветре), с интервалами проверки сетей не менее 1 часа. Всего обработано 1073 особи: 960 пеночек-весничек и 113 камышовых овсянок. При этом повторные отловы в данном исследовании не учитывались.

Каждую особь метили алюминиевым кольцом с индивидуальным номером. Прижизненное обследование включало определение вида, пола, возраста и стадии линьки [18]. Стадию постювенальной и послебрачной линьки оценивали по оценке оперения на различных птерилиях с использованием стандартной методики [19]. Стадии постювенальной линьки определяются по перелиниванию конкретных птерилий. Так, для пеночки-веснички по Н. В. Виноградовой с соавторами [20] определяется 6 стадий: 1-я стадия – линяют низ, спина, 2-я стадия – начало линьки головы и шеи, 3-я – начинает линять ухо, 4-я – у 40–60% особей линяют верхние и нижние кроющие хвоста, у остальных все на стадиях трубочек и кисточек, 5-я – закончили линьку ноги и анус, 6 –заканчивается линька спины, низа, плеча, бедра, возможно, головы, последним долинивает ухо. У камышовой овсянки выделено 8 стадий: 1-я – начал линять низ, 2-я – линяет плечо, 3-я – линяет межчелюстной отдел, 4-я – линяет первая половина средних и больших верхних кроющих второстепенных маховых, 5-я – линяет вторая половина средних и больших верхних кроющих второстепенных



маховых, 6-я – закончило линять крыло, линяет анус, нога и кроющие хвоста, 7-я – закончили линять кроющие хвоста, кроме спины, бедра и уха, линяют другие участки, 8-я – закончили линьку спина, ухо, низ, бедро.

У взрослых птиц последовательности смены перьевых групп, с особым вниманием к маховым (первостепенным и второстепенным) и рулевым перьям, имеют ключевой критерий – наличие растущих перьев («трубочек») и их расположение. Для стандартизации используется нумерация стадий от I (начало) до XI (полное завершение) [21].

Полученные данные систематизировали в электронных таблицах MS Excel. Для анализа временной динамики линьки построили гистограммы распределения особей по стадиям личного процесса. Для каждого вида рас-

считывались медианные даты прохождения ключевых стадий линьки. Для количественной оценки темпа линьки использовали описательную линейную регрессию, в которой стадия линьки рассматривалась как функция календарной даты отлова, выраженной в днях года. Подсчеты велись в среде R.

Результаты и их обсуждение

Пеночка-весничка – это самый многочисленный вид в отловах, составляющий 52,1% от общего числа отловленных птиц. При этом возрастная структура выборки показала преобладание молодых особей над взрослыми (9:1). Распределение стадий линьки у молодых особей ($n = 915$) представлено на гистограмме (рис. 1).

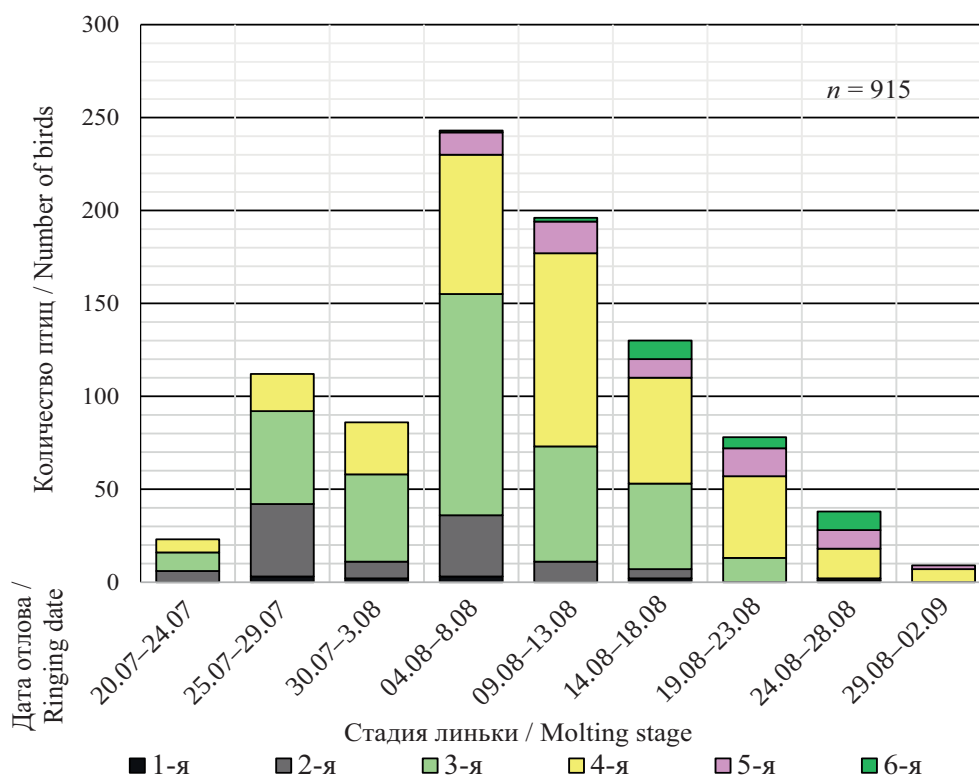


Рис. 1. Распределение стадий пост-ювенальной линьки пеночки-веснички по пентадам (цвет онлайн)

Fig. 1. Distribution of post-juvenile molt stages in Willow Warblers by pentads (color online)

Полученные данные свидетельствуют о том, что активная линька у весничек начинается в первых числах августа, достигая пика на 3–4-х стадиях к середине месяца. Большинство особей улетают в первой пятидневке сентября

на 5–6-х стадиях, завершая смену оперения уже во время миграции.

Анализ медианных дат стадий линьки у пеночки-веснички выявил несколько ключевых закономерностей в динамике этого процесса.



Начальные стадии линьки (1-я и 2-я) демонстрируют необычно близкие медианные даты – 4 и 3 августа соответственно, что может указывать на быстрое прохождение первых этапов смены оперения. При этом крайне низкое количество особей на 1-й стадии ($n = 10$) свидетельствует либо о кратковременности этой фазы, либо о трудностях отлова птиц в самый начальный период линьки [22]. Данная закономерность ранее была выявлена для северных популяций птиц [11, 13].

Максимальная интенсивность линьки наблюдается 6–11 августа, когда 70% особей синхронно проходят 3–4-е стадии. Переход к завершающим стадиям (5–6-м) занимает больше времени (медианные даты 17 и 19 августа соответственно), что связано с энергетической затратностью конечных этапов. Общая продолжительность линьки составляет около 15 дней. Данные сроки выглядят значительно меньше,

чем результаты, полученные для сибирской популяции [23]. Полученный интервал отражает фенологические границы процесса в пределах стационара и в течение указанного выше периода (2022–2024 гг.). Индивидуальная продолжительность линьки, которая может достигать более высоких значений [24], может проявлять изменчивость в пределах до одной недели.

Резкое сокращение числа особей на завершающих стадиях ($n = 66$ на 5-й и $n = 29$ на 6-й) свидетельствует как о естественном окончании линьки, так и о начале миграции части популяции. Полученные данные согласуются с литературными сведениями о сокращении сроков линьки у северных популяций, что позволяет рассматривать этот процесс как важную адаптацию к короткому субарктическому лету [6]. Обобщение данных показывает, что средняя скорость линьки у молодых пеночек составляет около 0,057 стадии в сутки (рис. 2).

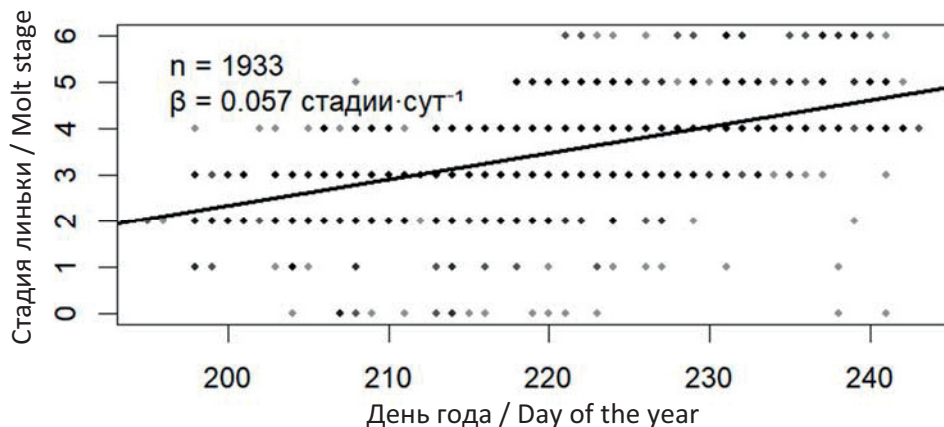


Рис. 2. Связь между стадией линьки с календарной датой у молодых пеночек-весничек. Линия соответствует линейной регрессии ($\beta = 0,0569 \pm 0,0021$ стадий·сут⁻¹; $t = 26,7$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,27$)

Fig. 2. Relationship between molt stage and calendar date in juvenile Willow Warblers. The line represents the linear regression ($\beta = 0.0569 \pm 0.0021$ stages·day⁻¹; $t = 26.7$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.27$)

Анализ взрослых особей ($n = 45$) выявил классический паттерн прерванной линьки [13] с четким временным градиентом: в июле преобладали ранние стадии (IV–IX), к середине августа большинство достигало стадий VIII–XI. Самцы демонстрировали более продвинутые стадии линьки (IX–XI) по сравнению с самками (IV–XI), что согласуется с типичной для воробьиных более ранней линькой самцов после гнездования.

Камышовая овсянка демонстрирует более растянутый годовой цикл по сравнению с пеночкой-весничкой (рис. 3). Среди молодых особей

($n = 105$) наблюдается значительный разброс стадий линьки на протяжении всего сезона. Первые особи начинают линьку уже 28 июля, при этом начальные стадии (1–2-я) растянуты на 4 дня, что свидетельствует о несинхронном старте процесса. Пик линичной активности отмечается 10 августа (4-я стадия), после чего следует необычно быстрое прохождение последующих этапов.

Динамика линьки имеет несколько особенностей: резкий 8-дневный скачок между 2-й и 3-й стадиями (1–9 августа) может указывать на физиологическую паузу или методические

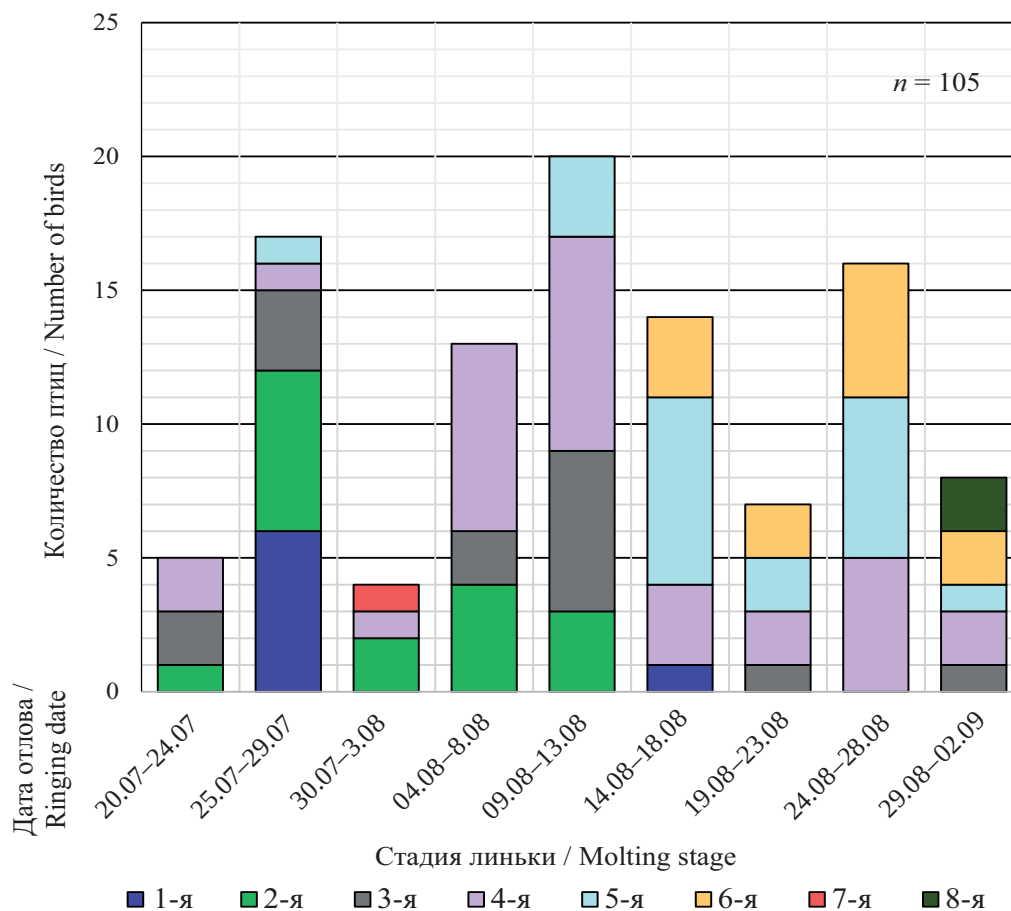


Рис. 3. Распределение стадий постювенальной линьки камышовой овсянки по пентадам (цвет онлайн)

Fig. 3. Distribution of post-juvenile molt stages in Reed Bunting by pentads (color online)

сложности в оценке ранних стадий. Завершающие стадии демонстрируют противоречивую картину с аномальным возвратом даты 7-й стадии. Истинное окончание линьки происходит около 29 августа (8-я стадия), хотя малое количество особей на поздних этапах затрудняет точную оценку.

Общая продолжительность линьки составляет около 30 дней – почти вдвое дольше, чем у пеночки-веснички. Такие различия отражают адаптационные стратегии вида: растянутый личинный период камышовой овсянки обуславливается не только фотопериодическим контролем, но и её трофической специализацией: возможностью питаться как животной, так и растительной пищей. По данным исследований, проведенных в разных частях ареала, камышовые овсянки питаются как летающими, так и ползающими насекомыми, могут склевывать личинок и куколок, а также потребляют семена и зеленые части растений [25–28]. Это позволяет

птицам дольше находиться в подходящих кормных местообитаниях, в том числе и на участке заповедника, перелинивая ещё задолго до прибытия на места зимовки.

Немаловажным является и факт того, что камышовая овсянка имеет статус ближнего мигранта. По данным возвратов окольцованных особей со Скандинавского полуострова, и в частности с норвежской стороны р. Паз, места зимовок овсянки располагаются в центральной Европе: во Франции, Португалии, Испании [29]. Эти особенности позволяют более гибко, в сравнении с дальними мигрантами, регулировать сроки линьки и подготовки к миграции [12, 30].

Обобщение данных показывает, что средняя скорость линьки у молодых камышовых овсянок составляет около 0,089 стадии в сутки (рис. 4). Такое значение указывает на выраженную сезонную динамику процесса и отражает достаточно интенсивное продвижение линьки по мере увеличения календарной даты.

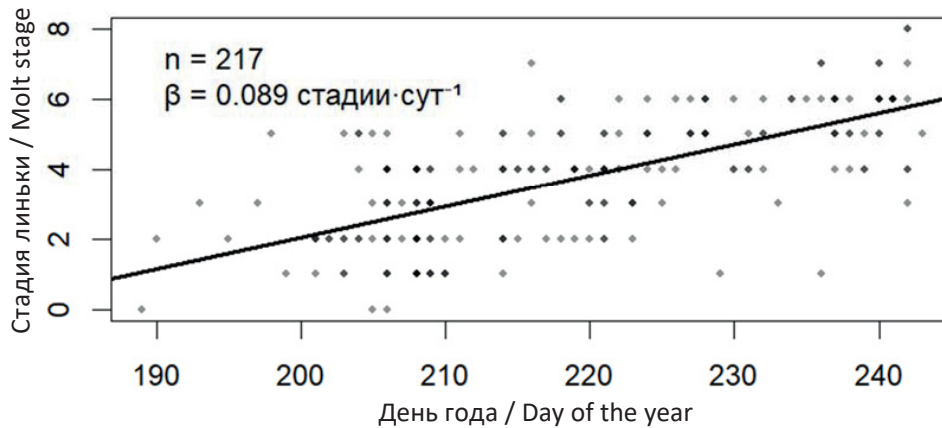


Рис. 4. Связь между стадией линьки и календарной датой у молодых камышовых овсянок. Линия соответствует линейной регрессии ($\beta = 0,089 \pm 0,007$ стадии·сут⁻¹; $F_{1,215} = 179,2$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,455$)

Fig. 4. Relationship between moult stage and calendar date in juvenile Reed Buntings. The line represents the linear regression ($\beta = 0.089 \pm 0.007$ stages·day⁻¹; $F_{1,215} = 179.2$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.455$)

Полученные данные подчеркивают значительную внутривидовую вариабельность скорости линьки у камышовой овсянки, что особенно выражено в условиях Крайнего Севера [30]. Наблюдаемые особенности требуют дальнейших исследований с увеличением выборки, особенно по поздним стадиям линьки [31].

Результаты обследования взрослых особей выявили ограниченную выборку: за двухлетний период исследований удалось детально описать оперение лишь восьми птиц, находившихся на различных стадиях послелебачной линьки. Особый интерес представляет самец, отловленный 5 августа, который ещё не приступил к линьке, в то время как другие взрослые особи, пойманные в этот же период, уже достигли VII и IX стадий смены оперения. Это наблюдение свидетельствует о значительной индивидуальной вариабельности сроков начала линьки в популяции [32].

Заключение

Анализ процесса линьки позволил отследить значительные межвидовые различия в его динамике. У пеночки-веснички наблюдалась синхронная и интенсивная смена оперения с выраженным пиком активности в период 6–11 августа. В отличие от этого, у камышовой овсянки линька протекала более продолжительно (с 28 июля по 29 августа) и, вероятно, имела бифазный характер. Сравни-

тельные данные показали, что у пеночки-веснички продолжительность линьки в среднем на 35–40% короче (15 суток против 25–30 суток у овсянки), что согласуется с различиями в их миграционных стратегиях. Исследование адаптаций к северным условиям выявило несколько ключевых особенностей: сокращенный объем линьки, более ранние сроки ее начала и частичное перекрытие с завершающими этапами гнездового периода. Оба вида характеризуются ускоренными темпами смены оперения по сравнению с популяциями из южных регионов. Подобные физиологические механизмы служат компенсацией временного дефицита, характерного для высоких широт, и обеспечивают своевременное завершение линьки перед миграцией.

Список литературы

1. Newton I. The Migration Ecology of Birds. London : Academic Press, 2008. 976 p.
2. Murph M. E. Energetics and nutrition of molt // Avian Energetics and Nutritional Ecology: Proc. 22 Int. Ornithol. Congr. Durban, 1990. P. 527–535.
3. Миграции птиц Северо-Запада России. Воробьиные / под ред. Г. А. Носкова, Т. А. Рымкевич, А. З. Гагинской. СПб. : Реноме, 2020. 532 с.
4. Gu Z., Dixon A., Zhan X. Genetics and evolution of bird migration // Annual Review of Animal Biosciences. 2024. Vol. 12. P. 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021122-092239>
5. Чернецов Н. С. Миграция воробьиных птиц: остановки и полёт. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. 173 с.



6. Зимин В. Б., Артемьев А. В., Лапшин Н. В., Хохлова Т. Ю. Адаптивные особенности годовых циклов птиц, обитающих у северных границ ареала // Изучение и охрана птиц в экосистемах Севера : сб. науч. тр. / отв. ред. А. В. Андреев, А. Я. Кондратьев. Владивосток : ДВО АН СССР, 1988. С. 60–67.
7. Данилов Н. Н. Пути приспособления наземных позвоночных животных к условиям существования в Субарктике. 2. Птицы // Тр. ин-та биол. Урал. ун-та. 1966. Вып. 56. С. 1–148.
8. Salewski V., Bairlein F., Leisler B. Different wintering strategies of two Palearctic migrants in West Africa – a consequence of foraging strategies? // Ibis. 2002. Vol. 144, № 1. P. 85–93.
9. Мельников Е. Ю., Слесарева Е. А., Смолякова Д. С., Кожухина П. В., Валова Е. В., Большаков А. А., Шаврина У. Ю., Поликарпова Н. В. Орнитологический стационар «Остров Варлама»: некоторые итоги семилетних работ // Научные труды Национального парка «Хвалынский»: сб. науч. ст. по материалам XI Междунар. науч.-практ. конф. «Особо охраняемые природные территории: прошлое, настоящее, будущее» (17–20 октября 2024 г.). Саратов ; Хвалынский : Амирит, 2024. Вып. 16. С. 30–35.
10. Хлебосолов Е. И., Макарова О. А., Хлебосолова О. А., Поликарпова Н. В., Зацаринный И. В. Птицы Пасвика. Рязань : НП «Голос губернии», 2007. 176 с.
11. Лапшин Н. В. Изучение годовых циклов дальних трансконтинентальных мигрантов Палеарктики (на примере пеночек рода *Phylloscopus* Карелии) // Достижения и проблемы орнитологии Северной Евразии на рубеже веков: труды Международной конференции «Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии». Казань : Магариф, 2001. С. 394–412.
12. Рыжановский В. Н. Экология и годовые циклы овсянковых (Emberizidae, Aves) Северо-Западной Сибири как отражение адаптаций к условиям Субарктики и Арктики // Зоол. журн. 2023. Т. 102, № 10. С. 1139–1151. <https://doi.org/10.31857/S0044513423100082>
13. Tiainen J. Nestling growth in three *Phylloscopus* warblers in Finland // Ornis Fennica. 1978. Vol. 55, № 1. P. 1–15.
14. Cramp S. The breeding of the Willow Warblers // Bird Study. 1955. Vol. 2, № 3. P. 121–135.
15. Рымкевич Т. А. Камышовая овсянка – *Emberiza schoeniclus* (L.) // Линька воробьиных птиц Северо-Запада СССР / под ред. Т. А. Рымкевич. Л. : Изд-во ЛГУ, 1990. С. 198–291.
16. Bell B. D. Molt in the Red Bunting – a preliminary analysis // Bird Study. 1970. Vol. 17. P. 269–281.
17. Стариков Д. А. Опыт использования звуковых приманок для отлова птиц на Ладожской орнитологической станции // Русский орнитологический журнал. 2009. Т. 18, № 533. С. 2205–2212.
18. Svensson L. Identification Guide to European Passerines. Stockholm : Fingraf AB, 1992. 368 p.
19. Гагинская А. Р., Рымкевич Т. А. Методические указания к прижизненной обработке птиц // Материалы V заседания Межсекционной рабочей группы по проблеме «Исследование продуктивности вида в пределах ареала». Вильнюс : Ин-т зоологии и паразитологии АН Лит ССР, 1973. С. 155–166.
20. Виноградова Н. В., Дольник В. Р., Ефремов В. Д., Паевский В. А. Определение пола и возраста воробьиных птиц фауны СССР : справочник. М. : Наука, 1976. 191 с.
21. Линька воробьиных птиц северо-запада СССР / под ред. Т. А. Рымкевич. Л. : Изд-во ЛГУ, 1990. 304 с.
22. Лапшин Н. В. Сезонные миграции пеночки-веснички *Phylloscopus trochilus* в Европейской части СССР по данным кольцевания // Результаты кольцевания и мечения птиц; 1985 г. : сб. ст. / отв. ред. В. Е. Соколов. М. : Наука, 1991. С. 42–58.
23. Рыжановский В. Н. Экология послегнездового периода жизни воробьиных птиц Субарктики. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997. 288 с.
24. Рыжановский В. Н. Адаптивные особенности экологии и годового цикла пеночки-веснички (*Phylloscopus trochilus* L.) на северном пределе сибирской части ареала // Известия РАН. Серия биологическая. 2014. № 6. С. 605–615.
25. Neto J. M., de Oliveira Gordinho L., Vollot B., Marín M., Monrós J. S., Newton J. Stable isotopes reveal differences in diet among reed bunting subspecies that vary in bill size // Journal of Avian Biology. 2017. Vol. 48, № 2. P. 284–294.
26. Orłowski G., Karg J., Czarnecka J. Substantial contribution of invertebrates to the diet of a winter seed-eater, the reed bunting *Emberiza schoeniclus*, wintering in a sewage farm in south-western Poland // Biological Journal of the Linnean Society. 2013. Vol. 108, № 2. P. 429–433.
27. Барановский А. В., Иванов Е. С. Экологический анализ птенцовой трофики обыкновенной и камышовой овсянок в окрестностях г. Рязани // Вестник КрасГАУ. 2014. № 1 (88). С. 104–109.
28. Барановский А. В. Питание птиц луговых угодий в окрестностях города Рязани // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2011. № 4 (12). С. 3–7.
29. Migration Atlas. Reed Bunting (*Emberiza schoeniclus*): Migration statistics. URL: <https://migrationatlas.org/node/1807#stats> (дата обращения: 11.02.2026).
30. Haukioja E. Short-distance dispersal in the Reed Bunting *Emberiza schoeniclus* // Ornis fenn. 1971. Vol. 48, № 2. P. 45–67.
31. Sondell J. Savsparvens *Emberiza schoeniclus* ruggning i Kvismaren // Vår Fågelvärld. 1977. Vol. 36, № 2. P. 174–184.
32. Слесарева Е. А., Мельников Е. Ю., Смолякова Д. С., Поликарпова Н. В. Стадии постювенальной и по-



слебращной линьки у камышовой овсянки и пеночки-веснички на острове Варлама (Мурманская область) // Исследования молодых ученых в биологии и экологии : сб. науч. ст. / под ред. О. И. Юдаковой [Электронное издание сетевого распространения]. Саратов : СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 2025. С. 127–129.

References

1. Newton I. *The Migration Ecology of Birds*. London, Academic Press, 2008. 976 p.
2. Murphy M. E. Energetics and nutrition of molt. *Avian Energetics and Nutritional Ecology: Proc. 22 Int. Ornithol. Congr.* Durban, 1990, pp. 527–535.
3. *Migratsii ptits Severo-Zapada Rossii. Vorob'inye. Pod red. T. A. Rymkevich* [Rymkevich T. A., ed. Bird migrations in Northwest Russia. Passerines]. St. Petersburg, Renome, 2020. 532 p. (in Russian).
4. Gu Z., Dixon A., Zhan X. Genetics and evolution of bird migration. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2024, vol. 12, pp. 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021122-092239>
5. Chernetsov N. S. *Migratsiya vorob'inykh ptits: ostanovki i polet* [Migration of passerine birds: Stopovers and flight]. Moscow, KMK Scientific Press, 2010. 173 p. (in Russian).
6. Zimin V. B., Artemiev A. V., Lapshin N. V., Khokhlova T. Yu. Adaptive features of annual cycles in birds inhabiting northern range boundaries. In: *Izuchenie i okhrana ptits v ekosistemakh Severa: sb. nauch. tr. Otv. red. A. A. Andreev, A. Ya. Kondratiev* [Andreev A. A., Kondratiev A. Ya., eds. Study and conservation of birds in northern ecosystems: Coll. of sci. works]. Vladivostok, Far Eastern Branch of USSR Academy of Sciences Publ., 1988, pp. 60–67 (in Russian).
7. Danilov N. N. Adaptation pathways of terrestrial vertebrates to Subarctic conditions. 2. Birds. *Trudy Instituta biologii Ural'skogo universiteta*, 1966, iss. 56, pp. 1–148 (in Russian).
8. Salewski V., Bairlein F., Leisler B. Different wintering strategies of two Palearctic migrants in West Africa – a consequence of foraging strategies? *Ibis*, 2002, vol. 144, no. 1, pp. 85–93.
9. Mel'nikov E. Yu., Slesareva E. A., Smolyakova D. S., Kozhukhina P. V., Valova E. V., Bol'shakov A. A., Shavrina U. Yu., Polikarpova N. V. Ornithological station “Varlam Island”: Some results of seven-year studies. *Scientific Papers of Khvalynsky National Park: Coll. of sci. papers of materials from the XI Intern. sci. and pract. conf. “Protected Natural Areas: Past, Present and Future” (October 17–20, 2024)*. Saratov, Khvalynsk, Amirit, 2024, iss. 16, pp. 30–35 (in Russian).
10. Khlebosolov E. I., Makarova O. A., Khlebosolova O. A. *Ptitsy Pasvika* [Birds of Pasvik]. Ryazan', NP “Golos gubernii”, 2007. 176 p. (in Russian).
11. Lapshin N. V. Study of annual cycles of long-distance transcontinental migrants of the Palearctic (on the example of *Phylloscopus* warblers in Karelia). *Dostizheniya i problemy ornitologii Severnoj Evrazii na rubezhe vekov: trudy mezhdunar. konf. “Aktual'nye problemy izucheniya i okhrany ptits Vostochnoj Evropy i Severnoj Azii”* [Achievements and Problems of Ornithology of Northern Eurasia on a Boundary of Centuries: The works of the International conference “Urgent problems of birds’ study and protection in East Europe and Northern Asia”]. Kazan', Magarif, 2001, pp. 394–412 (in Russian).
12. Ryzhanovskii V. N. Ecology and annual cycles of buntings (Emberizidae, Aves) of Northwestern Siberia as a reflection of adaptations to Subarctic and Arctic conditions. *Zoologicheskii zhurnal*, 2023, vol. 102, no. 10, pp. 1139–1151 (in Russian).
13. Tiainen J. Nestling growth in three *Phylloscopus* warblers in Finland. *Ornis Fennica*, 1978, vol. 55, no. 1, pp. 1–15.
14. Cramp S. The breeding of the Willow Warblers. *Bird Study*, 1955, vol. 2, no. 3, pp. 121–135.
15. Rymkevich T. A. Reed Bunting – *Emberiza schoeniclus* (L.). *Lin'ka vorob'inykh ptits Severo-Zapada SSSR. Pod red. T. A. Rymkevich* [Rymkevich T. A., ed. Molt of passerine birds of Northwest USSR]. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1990, pp. 198–291 (in Russian).
16. Bell B. D. Molt in the Red Bunting – a preliminary analysis. *Bird Study*, 1970, vol. 17, pp. 269–281.
17. Starikov D. A. Experience of using sound lures for bird trapping at the Ladoga Ornithological Station. *Russkii ornitologicheskii zhurnal*, 2009, vol. 18, no. 533, pp. 2205–2212 (in Russian).
18. Svensson L. *Identification Guide to European Passerines*. Stockholm, Fingraf AB, 1992. 368 p.
19. Gaginskaya A. R., Rymkevich T. A. Guidelines for live bird processing. *Materialy V zasedaniya Mezhspektionnoi rabochei gruppy po probleme “Issledovanie produktivnosti vida v predelakh areala”* [Proceedings of the V meeting of the inter-sectional working group on the problem “Studying the productivity of species within their range”]. Vilnius, Institute of Zoology and Parasitology of the Academy of Sciences of the Lith SSR Publ., 1973, pp. 155–166 (in Russian).
20. Vinogradova N. V., Dol'nik V. R., Efremov V. D., Paevskii V. A. *Opredelenie pola i vozrasta vorob'inykh ptits fauny SSSR: spravochnik* [Sex and age determination of passerine birds of the USSR fauna: Directory]. Moscow, Nauka, 1976. 191 p. (in Russian).
21. *Lin'ka vorob'inykh ptits severo-zapada SSSR. Pod red. T. A. Rymkevich* [Rymkevich T. A., ed. Molt of passerine birds of Northwest USSR]. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1990. 304 p. (in Russian).
22. Lapshin N. V. Seasonal migrations of the Willow Warbler *Phylloscopus trochilus* in the European part of the USSR according to ringing data. In: *Rezultaty*



- kol'tsevaniya i mecheniya ptits: 1985 g.: sb. st. Otv. red. V. E. Sokolov* [Sokolov V. E., ed. Results of ringing and marked birds: 1985: Coll. of arts]. Moscow, Nauka, 1991, pp. 42–58 (in Russian).
23. Ryzhanovskij V. N. *Ekologiya poslegnezhdovogo perioda zhizni vorob'inykh ptits Subarktiki* [Ecology of the Post-Nuptial Period of Passerine Birds in the Subarctic]. Ekaterinburg, Ural State University Publ., 1997. 288 p. (in Russian).
24. Ryzhanovskij V. N. Adaptive features of the ecology and annual cycle of the willow warbler (*Phylloscopus trochilus* L.) at the Northern Boundary of the Siberian Part of the Range. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*, 2014, no. 6, pp. 605–615 (in Russian).
25. Neto J. M., de Oliveira Gordinho, L., Vollot B., Marín M., Monrós J. S., Newton J. Stable isotopes reveal differences in diet among reed bunting subspecies that vary in bill size. *Journal of Avian Biology*, 2017, vol. 48, no. 2, pp. 284–294.
26. Orłowski G., Karg J., Czarnecka J. Substantial contribution of invertebrates to the diet of a winter seed-eater, the reed bunting *Emberiza schoeniclus*, wintering in a sewage farm in south-western Poland. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2013, vol. 108, no. 2, pp. 429–433.
27. Baranovskii A. V., Ivanov E. S. Ecological analysis of nestling diet of the Yellowhammer and Reed Bunting in the vicinity of Ryazan. *Bulletin KSAU*, 2014, no. 1 (88), pp. 104–109 (in Russian).
28. Baranovskii A. V. Diet of birds of meadow habitats in the vicinity of Ryazan. *Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*, 2011, no. 4 (12), pp. 3–7 (in Russian).
29. *Migration Atlas. Reed Bunting (Emberiza schoeniclus): migration statistics*. Available at: <https://migrationatlas.org/node/1807#stats> (accessed February 11, 2026).
30. Haukioja E. Short-distance dispersal in the Reed Bunting *Emberiza schoeniclus*. *Ornis Fennica*, 1971, vol. 48, no. 2, pp. 45–67.
31. Sondell J. Molt of the Reed Bunting *Emberiza schoeniclus* in Kvismaren. *Vår Fågelvärld*, 1977, vol. 36, no. 2, pp. 174–184.
32. Slesareva E. A., Mel'nikov E. Yu., Smolyakova D. S., Polikarpova N. V. Stages of post-juvenile and post-breeding molt in the Reed Bunting and Willow Warbler on Varlam Island (Murmansk Region). In: *Issledovaniya molodykh uchenykh v biologii i ekologii – 2025: sbornik nauchnykh statei. Pod red. O. I. Yudakovoy (Elektronnoe izdanie setevogo rasprostraneniya)* [Yudakova O. I., ed. Research of young scientists in biology and ecology – 2025: Collection of sci. arts. (Electronic publication of online distribution)]. Saratov, Saratov State University Publ., 2025, pp. 127–129 (in Russian).

Поступила в редакцию 15.12.2025; одобрена после рецензирования 06.03.2026; принята к публикации 16.03.2026
The article was submitted 15.12.2025; approved after reviewing 06.03.2026; accepted for publication 16.03.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 196–207

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 196–207

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-196-207>, EDN: OWDQWI

Научная статья

УДК 581.9



О находке *Orobanche kelleri* Novopokr. (Orobanchaceae) в Саратовской области

И. В. Шилова¹, Л. А. Серова¹✉, Н. А. Петрова²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Россия, 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3

Шилова Ирина Васильевна, кандидат биологических наук, ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад», schiva1952@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9828-4229>

Серова Людмила Александровна, заведующий отделом флоры и растительности УНЦ «Ботанический сад», laserova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3086-0496>

Петрова Надежда Андреевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ботаника и экология», nasch-1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1969-2783>

Аннотация. В статье сообщается об обнаружении в Саратовской области заразики Келлера (*Orobanche kelleri* Novopokr., Orobanchaceae), вида, имеющего достаточно протяженный ареал, но с крайне эпизодической встречаемостью. Приводятся сведения о распространении вида в Европе и Центральной Азии. Ближайшие находки данного вида известны из Ростовской и Волгоградской областей. *O. kelleri* включена в Красную книгу Волгоградской области с категорией 3г – редкий вид, имеющий значительный общий ареал, но находящийся в пределах Волгоградской области на границе распространения. Растения были собраны сотрудниками Учебно-научного центра «Ботанический сад» СГУ в 2006 г. в Красноармейском районе Саратовской области на участке меловой степи в окр. с. Белогорское. Образцы хранятся в Гербарии Ботанического сада Саратовского государственного университета (SARBG, г. Саратов). Обсуждаются морфологические особенности данного вида и его отличия от близких видов, а также сопоставляются морфологические описания вида, сделанные разными авторами. Обоснована необходимость дальнейшего поиска новых популяций *O. kelleri* в Саратовской области, выяснение их численности и приуроченности растений данного вида к определенным экотопам и растениям-хозяевам.

Ключевые слова: *Orobanche kelleri* Novopokr., заразики Келлера, флористические находки, Саратовская область, редкие виды

Для цитирования: Шилова И. В., Серова Л. А., Петрова Н. А. О находке *Orobanche kelleri* Novopokr. (Orobanchaceae) в Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 196–207. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-196-207>, EDN: OWDQWI

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

About the discovery of *Orobanche kelleri* Novopokr. (Orobanchaceae) in the Saratov region

I. V. Shilova¹, L. A. Serova¹✉, N. A. Petrova²

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, 3 Struct., 4 Build. Peter Stolypin Ave., Saratov 410012, Russia

Irina V. Shilova, schiva1952@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9828-4229>

Luydmila A. Serova, laserova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3086-0496>

Nadezhda A. Petrova, nasch-1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1969-2783>

Abstract. The article reports on the discovery of Keller's broomrape (*Orobanche kelleri* Novopokr., Orobanchaceae) in the Saratov region, a species with a fairly extensive range but extremely sporadic occurrence. Information on the distribution of the species in Europe and Central Asia is provided. The nearest known occurrences of this species are from the Rostov and Volgograd regions. *O. kelleri* is included in the Red Book of the Volgograd region with category 3g – a rare species with a significant overall range, but located within the Volgograd region at the edge of its distribution. The plants were collected by employees of the Educational and Scientific Center 'Botanical Garden' of SSU in 2006 in the Krasnoarmeysky District of the Saratov Region in a chalk steppe area near the village of Belogorskoye. The specimens are kept in the Herbarium of the Botanical Garden of Saratov



State University (SARBG, Saratov). The morphological features of this species and its differences from related species are discussed, as well as the morphological descriptions of the species made by different authors are compared. The need for further search for new populations of *O. kelleri* in the Saratov region, as well as the determination of their abundance and the association of plants of this species with certain ecotopes and host plants, is justified.

Keywords: *Orobanche kelleri* Novopokr., floristic finds, Saratov region, rare species

For citation: Shilova I. V., Serova L. A., Petrova N. A. About the discovery of *Orobanche kelleri* Novopokr. (Orobanchaceae) in the Saratov region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 196–207 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-196-207>, EDN: OWDQWI

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Orobanche kelleri Novopokr. (*Phelipanche kelleri* (Novopokr.) Sojak.) – поволжско-казахстанский вид, ареал которого приурочен к степям Нижней Волги и Казахстана, известен в Закавказье [1–3]. Вид был описан И. В. Новопокровским в 1950 г. [4] по материалам Б. А. Келлера, с указанием, что сходное растение было собрано Н. В. Шипчинским в Талды-Курганском районе, между рекой Каратал и озером Уч-куль (Восточный Казахстан) 17.06.1928. Тип в LE: окрестности озера Зайсан, Кальджирская долина, Чиганчий (Восточный Казахстан), сланцевые горы, 22-23.06.1908, Б. А. Келлер. В качестве мест обитания вида указываются полупустынные сообщества на светло-каштановых почвах с пятнами солонцов, нередко меловые обнажения [5]. Питающее растение по Н. В. Шипчинскому «быть может *Kochia prostrata* Schrad.?» [4], возможно, также на *Calligonum polygonoides* L. [5] и на видах степных полыней (*Artemisia austriaca* Jacq., *A. lercheana* Weber ex Stechm.) [6].

Общее распространение вида: Кавказ, Средняя Азия, Западная Сибирь, Иран и Западный Китай [1–3, 5, 7]. По данным POWO¹, современный ареал этого вида простирается от Турции до Кавказа, от Казахстана до Южного Синьцзяна. Указывается для флоры Китая [8].

В GBIF² имеются сведения о гербарных сборах *O. kelleri* из Турции и Армении.

Известна находка заразики Келлера из Ростовской области: Верхнедонской р-н: «Меловые горы на правом берегу Дона в окр. стан. Мигулинской, 12.06.1903. В. Дубянский», паразитирует на *Kochia prostrata* [2, 9].

В Волгоградской области отмечена только на Среднем Дону: Иловлинский р-н, полынная степь у подножия меловых склонов у

бывшего хутора Караицкого и Подгорного по правобережью Дона восточнее хут. Хмелевского [6]. В Волгоградской области, по мнению В. А. Сагалаева, проходит западная граница ареала вида [6].

O. kelleri занесена в Красную книгу Волгоградской области с категорией Зг – редкий вид, имеющий значительный общий ареал, но находящийся в пределах Волгоградской области на границе распространения. Упомянуто, что вид редок по всему своему ареалу. Виды этой группы имеют достаточно протяженные ареалы, но повсеместно редкие, с крайне эпизодической встречаемостью, которая определяется разными биологическими, экологическими и историческими причинами [6].

Материалы и методы

В ходе инвентаризации гербария Учебно-научного центра «Ботанический сад» СГУ им. Н. Г. Чернышевского (SARBG) обнаружен экземпляр, отнесенный авторами к *O. kelleri*: *Phelipanche kelleri* (Novopokr.) Sojak. Саратовская область, Красноармейский район. Окр. с. Белогорское. Legit: И. В. Шилова и др. 20.06.2006 г. Determ: И. В. Шилова, Л. А. Серова, Н. А. Петрова, 9.02.2026 г. (рис. 1–5). Указаний этого вида для Саратовской области в литературных источниках нами не обнаружено [10]. В связи с тем что представители рода *Orobanche* L. очень близки по внешнему облику, важным является вопрос правильного определения этого вида. Сравнение описания *O. kelleri* в литературных источниках и экземпляров из Саратовской области приводится в таблице.

Результаты и их обсуждение

Новопокровский (1950), описывая данный вид, относил его к секции *Holoclada* Novopokr.: «стебель, как правило, не ветвистый» [4]. В некоторых ключах для определения, чтобы прийти к данному виду, нужно выбрать «стебель простой, не ветвящийся» [7, 9]. Однако одно из четырех

¹ Powo.org Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens, Kew. URL: <https://powo.science.kew.org/> (дата обращения: 26.02.2026).

² GBIF (Global biodiversity Information Facility). URL: <https://www.gbif.org/> (дата обращения: 26.02.2026).



Рис. 1. Общий вид гербарного листа с *O. kelleri* (SARBG)
Fig. 1. General view of the herbarium sheet with *O. kelleri* (SARBG)

собранных в Саратовской области растений имеет разветвленный стебель. На изображении в Красной книге Волгоградской области растение также показано с одним боковым побегом [6].

От близкой *O. uralensis* G. Beck отличается желтоватым или бледно-синим (а не синим) цветом венчика и рыльца, более короткими кроющими чешуями, более короткими и широкими зубцами чашечки, голыми нитями тычинок и голым столбиком, более высоко прикрепленными тычинками [4].

Н. Н. Цвелев (2015), описывая *O. kelleri*, указывает, что от близких видов она отличается

совершенно голыми складками нижней губы. Вид обычно приурочен к обнажениям мела и известняка, но заходит и на солонцеватые степные участки [2, 3]. В. А. Сагалаев (2017) отмечает, что внешне растение несколько напоминает *O. purpurea* Jacq., отличаясь от последней бледным венчиком и отсутствием опушения в складках его нижней губы [6].

Uhlich H. и Rätzel S. (2024) при описании лектотипа указывают на пыльники (мохнатые) с хохолком [11]. У растений из Саратовской области на некоторых пыльниках видны немногочисленные скрученные волоски.

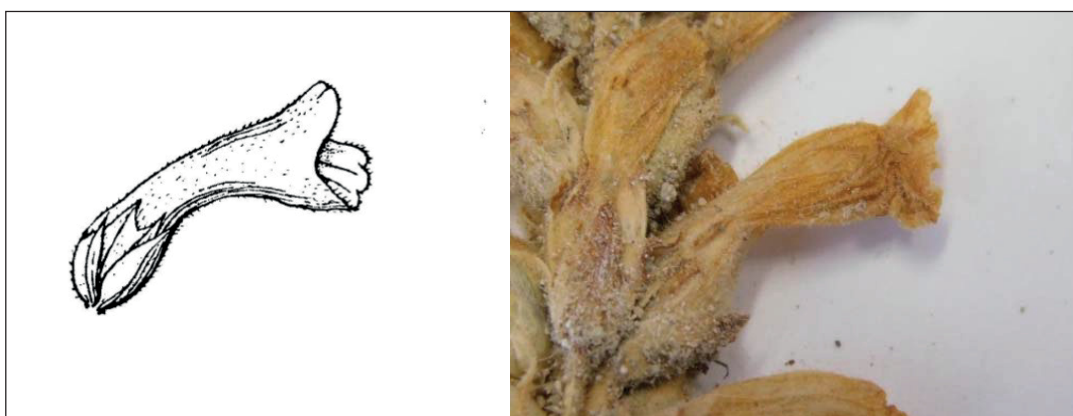


a/a



б/б

Рис. 2. Соцветие (а) и побег (б) *O. kelleri* (SARBG)
Fig. 2. Inflorescence (a) and shoot (b) of *O. kelleri* (SARBG)



a/a

б/б

Рис. 3. Цветок *O. kelleri*: а – во Флоре СССР [1]; б – у гербарного образца из SARBG
Fig. 3. Flower *O. kelleri*: а – in the Flora of the USSR [1]; б – from the herbarium specimen in SARBG

Как видно из таблицы, *O. kelleri* проявляет некоторую морфологическую изменчивость, что свойственно и другим представителям рода *Orobanche* L. Однако данный таксон всегда имел статус самостоятельного вида и никогда не указывался в качестве подвида или синонима. Устойчивыми признаками являются короткое железистое опушение, короткие зубцы чашечки, короткие прицветнички (короче чашечки), голые нити тычинок и столбик. Существенным отличием является отсутствие на складках нижней губы в зеве густого шерстистого опушения. Авторы Флоры СССР отмечают следующее:

«Несмотря на значительный (но, вероятно, лишь кажущийся из-за недостатка гербарного материала) разрыв ареала, тождество экземпляров этого вида из Закавказья и Казахстана не вызывает сомнений. Кроме того, оно подтверждается одним и тем же питающим растением» [1, с. 57].

Заключение

Таким образом, находка в Саратовской области дополняет малочисленные сведения о распространении *O. kelleri* в Поволжье. До сих пор малоизученным остается как ареал этого

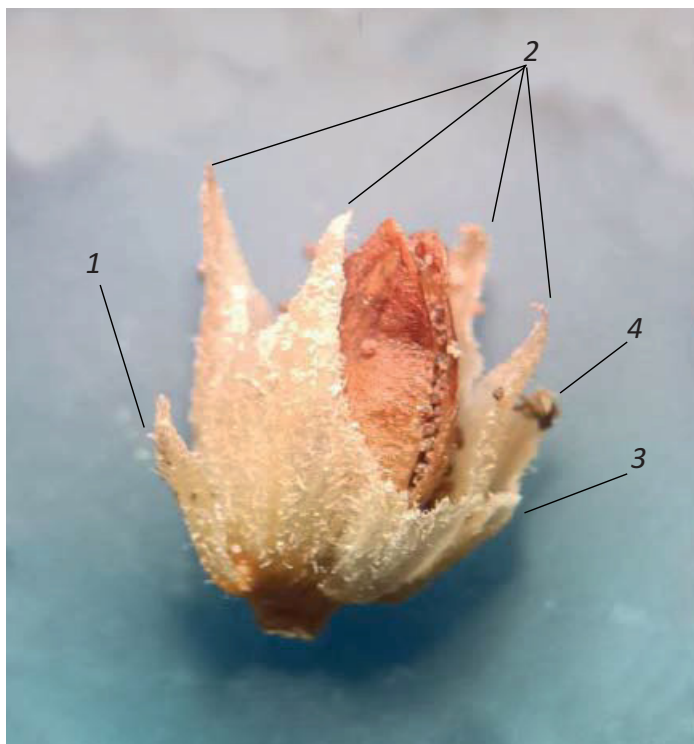


Рис. 4. Околоцветник, прицветник и прицветничек (венчик удалён) *O. kelleri*(SARBG): 1 – прицветничек, 2 – четыре зубца чашечки, 3 – пятый тупой зубец чашечки, 4 – прицветник

Fig. 4. Perianth, bract, and bracteole (corolla removed) *O. kelleri* (SARBG): 1 – bracteole, 2 – four teeth of the calyx, 3 – the fifth blunt tooth of the calyx, 4 – bract



а/а



б/б

Рис. 5. Столбики и тычинки *O. kelleri* (SARBG): а – столбики почти голые, рыльца желтые; б – пыльники белые, нити тычинок голые

Fig. 5. Pistils and stamens of *O. kelleri* (SARBG): а – pistils almost bare, stigmas yellow; б – anthers white, filament soft hestamens bare



Характеристика морфологических признаков *O. kelleri*
Table. Characteristics of the morphological features of *O. kelleri*

Характеристика признаков, данная разными авторами / Description of features given by different authors		Признаки у образца из SARBG / Signs in the sample from SARBG					
И. В. Новопокровский [4] / I. V. Novopokrovsky	(И. В. Новопокровский*), Н. Н. Цвелёв [1] / (I. V. Novopokrovsky), N. N. Tsvelyov	Н. Н. Цвелёв [2] / N. N. Tsvelyov	А. Оразова [7] / A. Orazova	Т. И. Абрамова [9] / T. I. Abramova	В. А. Сагалаев [6] / V. A. Sagalaev	Н. Уһлич, S. Rätzel [11]	
1	2	3	4	5	6	7	8
Опушение растения / Plant pubescence							
Коротко железисто-пушистое / Short, glandular-pubescent	Коротко железистоволосистое; к основанию часто почти голое / Short gland-hairy; often almost bare at the base	Короткие железистые волоски / Short glandular hairs	Коротко железистоволосистое; к основанию почти голое / Short glandular-hairy; almost bare at the base	Короткие малозаметные железистые волоски; в соцветии нет длинных спутанных волосков / Short inconspicuous glandular hairs; there are no long tangled hairs in the inflorescence	Короткие железистые волоски; к основанию волосков меньше / Short glandular hairs; narrower at the base of the hairs		
Стебли / Stems							
6–7 мм диаметром в средней части и около 4 мм под соцветием, темновато-бурые / 6–7 mm in diameter in the middle part and about 4 mm under the inflorescence, dark brown	3–8 мм толщиной в средней части, у основания слабо утолщены, желтовато-бурые / 3–8 mm thick in the middle part, slightly thickened at the base, yellowish-brown	Не разветвленные / Unbranched	3–9 мм толщиной в средней части, у основания слабо утолщенные, желтовато-бурые / 3–9 mm thick in the middle part, slightly thickened at the base, yellowish-brown	Простые / Simple	Простые или разветвленные, в основании булавовидно утолщенные, желтоватые / Simple or branched, thickened like a club at the base, yellowish		6 мм диаметром в средней части, 4 мм диаметром под соцветием, желтовато-бурые, простые (у одного растения разветвленный стебель) / 6 mm in diameter in the middle part, 4 mm in diameter under the inflorescence, yellowish-brown, simple (with a branched stem on one plant)

*Предисловие: Семейство Заразиховых, первоначально написано покойным И. В. Новопокровским, по просьбе редакции было несколько переработано Н. Н. Цвелёвым.



Продолжение таблицы / Continuation of the Table

1	2	3	4	5	6	7	8
Чешуи стебля / Stem scales							
Немногие, треугольно-яйцевидные, около 8 мм длиной / A few are triangular-ovate, about 8 mm long	Немногие, треугольно-яйцевидные или широколанцетные, до 8–11 мм длиной / Few are triangular-ovate or broadly lanceolate, up to 8–11 mm long	-	Немногие, треугольно-яйцевидные или широколанцетные, до 8–10 мм длиной / Few are triangular-ovate or broadly lanceolate, up to 8–10 mm long	Густо расположенные / Densely spaced large	Нижние овальные, почти голые, верхние ланцетные, к основанию часто вырезные или пильчатые, вверх направленные, железисто-волосистые / Lower ones are oval, almost bare, upper ones are lanceolate, often notched or serrated at the base, directed upwards, glandular-hairy	-	Треугольно-яйцевидные или ланцетные, 6–8 мм длиной, покрыты железистыми волосками / Triangular-ovate or lanceolate, 6–8 mm long, covered with glandular hairs
Соцветие / Inflorescence							
Довольно густое, многоцветковое, цилиндрическое, на верхушке с холмом из прицветников, островатое, около 15 см длиной, в полтора раза длиннее стебля / Fairly dense, many-flowered, cylindrical, with a tuft of bracts at the top, hoary, about 15 cm long, one and a half times longer than the stem	Коротко цилиндрическое, реже цилиндрическое или овальное, довольно густое, многоцветковое, почти равное по длине остальной части стебля, до 14 см длиной / Shortly cylindrical, less often cylindrical or oval, rather dense, many-flowered, almost equal in length to the stem, up to 14 cm long	Густое, обычно почти равное по длине остальной части стебля / Thick, usually almost equal in length to the rest of the stem	Коротко-цилиндрическое, реже яйцевидное, до 14 см длиной, густое, многоцветковое, почти равно остальной части стебля / Short-cylindrical, more rarely ovoid, up to 14 cm long, dense, many-flowered, almost equal to the rest of the stem	Густое / Dense	Колосовидное, густое, обычно почти равное по длине остальной части стебля / Spikelike, dense, usually almost equal in length to the rest of the stem	-	Густое, короче стебля, около 6 см длиной, но растения собраны в начале цветения / Thick, shorter than the stem, about 6 cm long, but the plants are collected at the beginning of flowering



Продолжение таблицы / Continuation of the Table

1	2	3	4	5	6	7	8
Прицветники / Bracts							
Короткие, яйцевидные, островатые, почти вдвое короче чашечки, на спинке коротко железисто-пушистые / Short, ovate, pointed, almost half the length of the calyx, on the back shortly glandular-pubescent	Яйцевидные, на вершухе оттянутые в короткое, ланцетное окончание или без него, короткие, 6–9 мм длиной, почти равные чашечке, коротко железисто-волосистые / Ovate, at the top drawn into a short, lanceolate tip or without it, short, 6–9 mm long, almost equal to the calyx, shortly glandular-hairy	Покрывы только короткими железистыми волосками / Covered only with short glandular hairs	Яйцевидные, 6–9 мм длиной, на вершухе оттянутые в короткое ланцетное окончание или без него, коротко железисто-волосистые / Ovate, 6–9 mm long, at the apex drawn out into a short lanceolate tip or without it, shortly glandular-hairy	–	Равны, реже длиннее чашечки, прижатые к ней, коротко железисто-волосистые / Equal, rarely longer than the cup, pressed against it, shortly glandular-hairy	Короче чашечки / Shorter cups	Яйцевидные, короче чашечки, коротко железисто-волосистые / Ovoid, shorter than the cup, shortly glandular-hairy
Прицветники / Bracteoles							
Линейно-ланцетные, почти вдвое короче чашечки / Linear-lanceolate, almost twice as short as the calyx	Линейно-шиловидные, короче чашечки / Linear-lanceolate, shorter than the calyx	–	Линейно-шиловидные, короче чашечки / Linear-lanceolate, shorter than the calyx	–	Ланцетные, длиннее трубки чашечки / Lanceolate, longer than the calyx tube	–	Линейно ланцетные, немного короче чашечки / Linear-lanceolate, slightly shorter than the calyx
Чашечка / Calyx							
(Широко) колокольчатая, несколько больше, чем вдвое короче венчика, коротко железисто-пушистая, жилковатая / Bell-shaped, somewhat more than twice shorter than the corolla, shortly glandular pubescent, veined	8–11 мм длиной, при плодах несколько вздутая, со слабо заметными жилками, коротко железисто-волосистая / 8–11 mm long, in fruits somewhat swollen, light brown, with faintly noticeable veins, shortly glandular-hairy	8–11 мм длиной, зубцы ее короче трубки / 8–11 mm long, its teeth are shorter than the tube	8–11 мм длиной, светло-бурая, при плодах несколько вздутая, коротко железисто-волосистая / 8–11 mm long, light brown, somewhat swollen at the fruits, shortly glandular-hairy	–	8–11 мм длиной / 8–11 mm long	–	8–9 мм длиной, короче венчика, покрыта короткими железистыми волосками, с хорошо заметными жилками / 8–9 mm long, shorter than the corolla, covered with short glandular hairs, with clearly visible veins



Продолжение таблицы / Continuation of the Table

1	2	3	4	5	6	7	8
<p>Четыре широко треугольных или треугольно-ланцетных, или (верхние) из более широкого основания почти шловидных, пятый (задний) малозаметный, очень короткий, тупой яйцевидный, остальные 4 зуба равны по длине трубке чашечки / Four broadly triangular or triangular-lanceolate, or (upper) from a wider base almost awl-shaped, the fifth (posterior) is barely noticeable, very short, bluntly ovate, the other 4 teeth are equal in length to the calyx tube</p>	<p>Из треугольного основания коротко шловидные, часто отогнутые при плодах, обычно короче трубки чашечки (иногда почти вдвое) / From the triangular base, short awl-shaped, often bent back in fruits, usually shorter than the calyx tube (sometimes almost twice as short)</p>		<p>Из треугольного основания шловидные, часто при плодах отогнутые / From the triangular base, acuminate, often bent back in fruits</p>	<p>Короче трубки чашечки / Shorter tube of the cup</p>	<p>Короче трубки чашечки / Shorter tube of the cup</p>	<p>Почти равны трубке чашечки / Almost equal to the tube of the cup</p>	<p>Четыре зубца треугольно-ланцетные, равны или немного короче трубки чашечки, пятый зубец – тупой короткий яйцевидный / Four teeth are triangular-lanceolate, equal or slightly shorter than the tube of the calyx, the fifth tooth is a blunt short ovate</p>



Продолжение таблицы / Continuation of the Table

1	2	3	4	5	6	7	8
Венчик / Corolla							
19–22–23 мм длиной, вперед согнут, желтоватый, внизу беловатый. Трубочатый, округ завязи расширенный, выше её – суженный, кверху заметно не расширенный, снаружи очень коротко железисто-пушистый / 19–22–23 mm long, bent forward, yellowish, whitish at the bottom. Tubular, broadened around the ovary, narrowed above it, noticeably not widened towards the top, externally very shortly glandular-pubescent	18–20 мм длиной, к отгибу мало расширенный, вперед согнутый, беловатый, в отгибе с синеватым оттенком, в сухом состоянии весь желтоватый. Складки коротко железисто-волосяные, снаружи голый (в том числе и складки нижней губы), реже с одиночными волосками на долях отгиба и в передней части складок / 18–20 mm long, slightly expanded at the bend, bent forward, whitish, with a bluish tint at the bend, often entirely yellowish when dry. Externally shortly glandular-hairy, internally bare (including the folds of the lower lip), more rarely with single hairs on the lobes of the bend and in the front part of the folds	18–20 мм длиной, в отгибе синеватый, к основанию беловатый или желтовато-белый. Складки нижней губы венчика (в зеве между лопастями губы) голые / 18–20 mm long, bluish in the bend, whitish or yellowish-white at the base. Folds of the lower lip of the corolla (in the throat between the lobes of the lip) are bare	18–20 мм длиной, в отгибе с синеватым оттенком, в сухом состоянии весь желтоватый. К отгибу малорасширенный, ясно вперед согнутый, внутри голый, реже на долях отгиба и в передней части складок с одиночными волосками / 18–20 mm long, whitish, with a bluish tint in the bending, entirely yellowish when dry. Slightly widened towards the bend, clearly bent forward, bare inside, more rarely on the lobes of the bend and in the front part of the folds with single hairs.	18–20 мм длиной, в отгибе синеватый. Складки нижней губы венчика голые / 18–20 mm long, bluish when bent. Folds of the lower lip of the corolla are bare	18–20 мм длиной, в отгибе синеватый, к основанию беловатый или желто-белый. Складки нижней губы венчика (в зеве между лопастями) голые / 18–20 mm long, bluish in the bend, whitish or yellowish toward the base. The folds of the lower lip of the corolla (in the throat between the lobes) are hairless	Около 25 мм длиной, цветки желтоватые / About 25 mm long, yellowish flowers	20–21 мм длиной, согнут вперед. Цвет в сухом состоянии – желто-бурый. Суженный выше завязи, трубочатый, снаружи коротко железисто опушенный, доли отгиба по краю реснитчатые. Имеются редкие одиночные волоски на отгибе нижней губы / 20–21 mm long, bent forward. Color in dry condition – yellowish-brown. Narrowed above the ovary, tubular, externally shortly glandular-pubescent, lobes of the limb ciliate at the edges. There are rare single hairs on the lower lip limb
Доли отгиба венчика / Lobes of the corolla							
Мало отклоненные, по краю реснитчатые, у верхней губы яйцевидные, тупые или слегка островатые, доли нижней губы тупые / Slightly turned out, ciliated on the edge, are ovate, blunt or slightly pointed, the lobes of the lower lip are blunt	По краю реснитчатые и почти цельнокрайние, мало отогнутые, у нижней губы широкоовальные, тупые / Along the edge fringed and almost entire, slightly reflexed, on the lower lip broadly ovate, blunt	–	По краю реснитчатые и почти цельнокрайние, мало отогнутые, у нижней губы широкоовальные, тупые / Along the edge fringed and almost entire, slightly reflexed, on the lower lip broadly ovate, blunt	–	Лопастни верхней губы больше частью заостренные, складки крупные, голые / The upper lip lobes are mostly pointed, the folds are large, bare	Островатые / Slightly acute	Тупые, яйцевидные, по краю реснитчатые / Blunt, egg-shaped, ciliate at the edge



Окончание таблицы / Continuation of the Table

1	2	3	4	5	6	7	8
Тычинки / Stamens							
Прикреплены на высоте 5–7 мм от основания венчика, их нити голые / Attached at a height of 5–7 mm from the base of the corolla, their filaments are naked	Нити голые или с немногими короткими волосками у основания / Threads bare or with few short hairs at the base	–	Нити голые или с немногими короткими волосками у основания / Threads bare or with few short hairs at the base	–	Нити голые или в нижней части слегка волосистые / Threads are bare or slightly hairy at the bottom	Нити голые / Threads are bare	Тычинки прикреплены на высоте 7 мм, нити тычинок голые / The stamens are attached at a height of 7 mm, the filaments of the stamens are naked
Пыльнички / Pollen sacs							
В сухом состоянии беловатые, при основании вдоль швов волосистые, на верху с коротким остроконечием / Whitish when dry, hairy along the seams at the base, with a short pointed tip at the top	У основания слабосистые, почти голые / At the base, sparsely hairy, almost bare	Голые или у основания слабо волосистые / Naked or sparsely hairy at the base	У основания слабосистые, почти голые / At the base, sparsely hairy, almost bare	–	Заостренные, голые, желтые / Pointed, bare, yellow	(Мохнатые) с холком / (Hairy) with a little tuft	Белые, с остроконечием, на некоторых пыльниках имеются скрученные волоски / White, pointed, on some anthers there are twisted hairs
Столбик / Pistil							
Голый, рыльце желтое / Bare, yellow snout	Голый или почти голый / Naked or almost naked	–	Голый или почти голый / Naked or almost naked	–	Рыльце 2-лопастное, покрытое сосочками / Style 2-lobed, covered with papillae	Почти голые, рыльца желтые / Almost naked, yellow snouts	Преимущественно голые (на одном столбике немного волосков), рыльце желтое / Predominantly bare (a few hairs on one pistil), stigma yellow
Коробочка / Calyx							
–	–	–	–	–	Короче чашечки / Shorter calyx	–	Равна чашечке / Equal to a calyx



вида-паразита, так и питающие его растения. Вызывают интерес биологические и экологические причины формирования мозаичного ареала данного вида.

Планируется поиск новых популяций *O. kelleri* в Саратовской области, для выяснения их численности, приуроченности растений данного вида к экотопам и растениям-хозяевам. Образцы хранятся в Гербарии Ботанического сада Саратовского государственного университета (SARBG, г. Саратов).

Список литературы

1. Новопокровский И. В., Цвелёв Н. Н. Сем. Заразиховые – Orobanchaceae Lindl. // Флора СССР / под ред. В. Л. Комарова. Т. 23. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1958. С. 19–117.
2. Цвелёв Н. Н. Сем. Orobanchaceae – Заразиховые // Флора европейской части СССР. Т. 5. Покрытосеменные. Двудольные / под ред. Ан. А. Федорова. Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1981. С. 317–336.
3. Цвелёв Н. Н. О роде заразиха (*Orobanche* L. sensu lato, Orobanchaceae) в России // Новости систематики высших растений. 2015. Т. 46. С. 189–215.
4. Новопокровский И. В. Новые виды рода *Orobanche* L. из СССР // Ботанические материалы гербария Ботанического института имени В. Л. Комарова Академии Наук СССР. 1950. Т. 13. С. 303–329.
5. Конспект флоры Восточной Европы. Т. 2, ч. 1 / под ред. Д. Г. Мельникова. СПб. ; М. : Т-во науч. изд. КМК, 2025. 598 с.
6. Сагалаев В. А. Заразиха Келлера – *Phelipanche kelleri* (Novopokr.) Sojak. (*Orobanche kelleri* Novopokr.) // Красная книга Волгоградской области / под ред. В. П. Белика. Волгоград : Издат-Принт, 2017. С. 173.
7. Сем. CXIV. Заразиховые – Orobanchaceae Lindl. // Флора Казахстана. Т. 8. / гл. ред. Н. В. Павлов. Алма-Ата : Изд-во АН Казах. ССР, 1965. С. 150–168.
8. Wu Z., Raven P. H. Flora of China. Science Press (Beijing) and Missouri Botanical Garden Press (St. Louis), 1998. Vol. 18. 449 p.
9. Сем. 106. Orobanchaceae Vent. – Заразиховые // Флора Нижнего Дона (определитель) / под ред. Г. М. Зозулина, В. В. Федяевой. Ч. 2. Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 1985. С. 41–44.
10. Еленевский А. Г., Буланый Ю. И., Радыгина В. И. Определитель сосудистых растений Саратовской области. Саратов : ИП Баженов, 2009. 248 с.
11. Uhlich H., Rätzel S. Lectotypifications and taxonomic changes in *Alectra*, *Boschniakia*, *Cistanche*, *Orobanche*, *Phelipanche* and *Phelypaea* (all Orobanchaceae) // Nordic Journal of Botany. 2024: Art. e04155. <https://doi.org/10.1111/njb.04155>

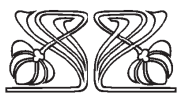
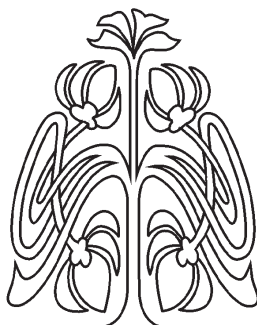
References

1. Novopokrovskij I. V., Tsvelyov N. N. Family Orobanchaceae – Orobanchaceae Lindl. *Flora SSSR. Pod red. V. L. Komarova. T. 23* [Komarov V. L., ed. Flora of the USSR. Vol. 23]. Moscow, Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1958, pp. 19–117 (in Russian).
2. Tsvelyov N. N. Fam. Orobanchaceae – Broomrape Family. *Flora evropejskoj chasti SSSR. T. 5. Pokrytosemennye. Dvudolnye. Pod red. An. A. Fedorova* [Flora of the European Part of the USSR. Fedorov An. A., ed. Vol. 5. Angiosperms. Dicotyledons]. Leningrad, Nauka, Leningr. otd-nie, 1981, pp. 317–336 (in Russian).
3. Tsvelev N. N. On the genus *Orobanche* (*Orobanche* L. sensu lato, Orobanchaceae) in Russia. *News of Higher Plant Systematics*, 2015, vol. 46, pp. 189–215 (in Russian).
4. Novopokrovskij I. V. New species of the genus *Orobanche* L. from the USSR. *Botanical Materials of the Herbarium of the V. L. Komarov Botanical Institute of the Academy of Sciences of the USSR*, 1950, vol. 13, pp. 303–329 (in Russian).
5. *Konspekt flory Vostochnoj Evropy. T. 2, ch. 1. Pod red. D. G. Melnikova* [Melnikov D. G., ed. Synopsis of the Flora of Eastern Europe. Vol. 2, part 1]. St. Peterburg, Moscow, KMK Scientific Press, 2025. 598 p. (in Russian).
6. Sagalaev V. A. Keller's Broomrape – *Phelipanche kelleri* (Novopokr.) Sojak. (*Orobanche kelleri* Novopokr. In: *Krasnaya kniga Volgogradskoj oblasti. Pod red. V. P. Belika* [Belik V. P., ed. Red Book of the Volgograd Region]. Volgograd, Izdat-Print, 2017, pp. 173 (in Russian).
7. Family Orobanchaceae – Orobanchaceae Lindl. In: *Flora Kazakhstana. T. 8. Gl. red. N. V. Pavlov* [Pavlov N. V., ed.-in-chief. Flora of Kazakhstan. Vol. 8]. Alma-Ata, Izd-vo AN Kazakh SSR, 1965, pp. 150–168 (in Russian).
8. Wu Z., Raven P. H. *Flora of China*. Science Press (Beijing) and Missouri Botanical Garden Press (St. Louis), 1998, vol. 18. 449 p.
9. Fam. 106. Orobanchaceae Vent. – Broomrape family. *Flora Nizhnego Dona (opredelitel')*. Ch. 2. *Pod red. G. M. Zozulina, V. V. Fedyaevoi* [Zozulin G. M., Fedyeva V. V. Flora of the Lower Don (identifier). Part 2]. Rostov-on-Don, Rostov State University Publ., 1985, pp. 41–44 (in Russian).
10. Elenevskij A. G., Bulanyj Yu. I., Radygina V. I. *Opre-delitel' sosudistykh rastenij Saratovskoj oblasti* [Guide to the Vascular Plants of the Saratov Region]. Saratov, IP Bazhenov, 2009. 248 p. (in Russian).
11. Uhlich H., Rätzel S. Lectotypifications and taxonomic changes in *Alectra*, *Boschniakia*, *Cistanche*, *Orobanche*, *Phelipanche* and *Phelypaea* (all Orobanchaceae). *Nordic Journal of Botany*, 2024, art. e04155. <https://doi.org/10.1111/njb.04155>

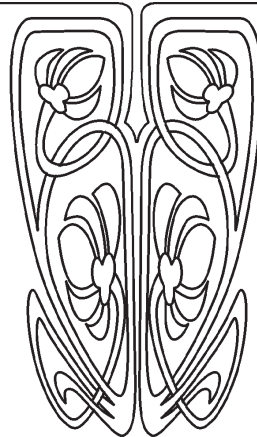
Поступила в редакцию 19.03.2026; одобрена после рецензирования 29.03.2026; принята к публикации 15.04.2026
The article was submitted 19.03.2026; approved after reviewing 29.03.2026; accepted for publication 15.04.2026



ЭКОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 208–216

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 208–216

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-208-216>

EDN: ROQCVF

Научная статья

УДК 579.266.6:504.53.054

Эколого-функциональные свойства углеводородоокисляющих бактерий, изолированных из почв города Когалыма

Е. В. Плешакова¹, Е. В. Глинская¹, А. С. Коробейникова¹,
Д. М. Голубев¹✉, Э. Д. Казакулов¹, М. В. Решетников²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», Россия, 628486, г. Когалым, ул. Центральная, д. 19/17

Плешакова Екатерина Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биохимии и биофизики, plekat@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3836-0258>

Коробейникова Анастасия Сергеевна, студент кафедры микробиологии и физиологии растений биологического факультета, korobeinikovaanastasija@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3157-693X>

Глинская Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, elenavg-2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1675-5438>

Голубев Дмитрий Михайлович, студент кафедры микробиологии и физиологии растений биологического факультета, dimagolubev2018@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9471-6066>

Казакулов Эдуард Даниялович, студент кафедры биохимии и биофизики биологического факультета, kazakuloved@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-4235-3663>

Решетников Михаил Владимирович, начальник отдела минералогических исследований Управления комплексных исследований ядра Центра исследования ядра и пластовых флюидов, rnmv85@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

Аннотация. Установлено, что городские почвы одного из основных нефтегазоносных регионов России, расположенного в районе Крайнего Севера (г. Когалым, ХМАО – Югра) являются источником бактерий-деструкторов нефти. Произведена количественная оценка деструктивной и эмульгирующей активности бактерий: *Bacillus alcalophilus* WS-3027B, *B. funiculus* LY-2403G, *B. halodurans* MH-3011N, *B. niacini* TC-8101S, *B. psychrodurans* LV-1106E и *Curtobacterium flaccumfaciens* AE-0851V по отношению к нефти. Максимальная степень деструкции нефти за 14 сут. обнаружена у бактерий: *B. niacini* TC-8101S (39,8%) и *B. halodurans* MH-3011N (36,0%). Максимальная эндогенная ($E_{24}=70,0$ и 53,0%; $E_{48}=68,7$ и 62,0%) и экзогенная ($E_{24}=74,0$ и 58,6%; $E_{48}=74,0$ и 54,0%) эмульгирующая активность выявлена у бактерий *B. alcalophilus* WS-3027B и *B. funiculus* LY-2403G. На основании обнаруженных у бактерий способностей к деструкции и эмульгации нефти, высоких адаптационных свойств к пониженной температуре, повышенной минерализации, щелочности среды рекомендовано использование данных бактерий для биоремедиации загрязненных почв в условиях Крайнего Севера.

Ключевые слова: нефть, углеводородоокисляющие бактерии, деструктивная активность, эмульгирующая активность, *Bacillus*, адаптационные свойства



Для цитирования: Плешакова Е. В., Глинская Е. В., Коробейникова А. С., Голубев Д. М., Казакулов Э. Д., Решетников М. В. Эколого-функциональные свойства углеводородокисляющих бактерий, изолированных из почв города Когалыма // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 208–216. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-208-216>, EDN: ROQCVP

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Ecological and functional properties of hydrocarbon-oxidizing bacteria isolated from the soils of Kogalym city

E. V. Pleshakova¹, E. V. Glinskaya¹, A. S. Korobeynikova¹, D. M. Golubev¹✉, E. D. Kazakulov¹, M. V. Reshetnikov²

¹ Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

² Branch of LUKOIL-Engineering LLC, PermNIPIneft, 19/17 Tsentralnaya St., Kogalym 628486, Russia

Ekaterina V. Pleshakova, plekat@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3836-0258>

Elena V. Glinskaya, elenavg-2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1675-5438>

Anastasia S. Korobeynikova, korobeinikovaanastasija@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3157-693X>

Dmitry M. Golubev, dimagolubev2018@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9471-6066>

Eduard D. Kazakulov, kazakuloved@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-4235-3663>

Mikhail V. Reshetnikov, rmv85@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

Abstract. It has been established that urban soils of one of the major oil-and-gas producing regions of Russia, located in the Far North (Kogalym, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra), serve as a source of oil-degrading bacteria. A quantitative assessment was made of the degradative and emulsifying activity of the bacteria *Bacillus alcalophilus* WS-3027B, *B. funiculus* LY-2403G, *B. halodurans* MH-3011N, *B. niacini* TC-8101S, *B. psychrodurans* LV-1106E, and *Curtobacterium flaccumfaciens* AE-0851V with respect to oil. The maximum degree of oil degradation over 14 days was observed in the bacteria *B. niacini* TC-8101S (39.8%) and *B. halodurans* MH-3011N (36.0%). The highest endogenous ($E_{24} = 70.0$ and 53.0%; $E_{48} = 68.7$ and 62.0%) and exogenous ($E_{24} = 74.0$ and 58.6%; $E_{48} = 74.0$ and 54.0%) emulsifying activity was detected in the bacteria *B. alcalophilus* WS-3027B and *B. funiculus* LY-2403G. Based on the observed abilities of these bacteria to degrade and emulsify oil, as well as their high adaptive properties to low temperature, increased salinity, and alkaline environment, the use of these bacteria is recommended for the bioremediation of contaminated soils under Far North conditions.

Keywords: oil, hydrocarbon-oxidizing bacteria, destructive activity, emulsifying activity, *Bacillus*, adaptive properties

For citation: Pleshakova E. V., Glinskaya E. V., Korobeynikova A. S., Golubev D. M., Kazakulov E. D., Reshetnikov M. V. Ecological and functional properties of hydrocarbon-oxidizing bacteria isolated from the soils of Kogalym city. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 208–216 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-208-216>, EDN: ROQCVP

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Нефтяные углеводороды, как известно, оказывают мощное негативное воздействие на почвы нефтегазоносных регионов [1, 2]. Одной из основных территорий в России по добыче нефти является Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО – Югра), относящийся к районам Крайнего Севера, в котором длительная эксплуатация нефтяных и газовых месторождений существенно повлияла на состояние природной среды [3, 4]. В то же время почвы нефтегазоносного региона можно рассматривать как природный резервуар углеводородокисляющих бактерий, обладающих вследствие постоянного селективного углеводородного прессинга высоким деструктивным потенциалом и адаптированных к природным и климатическим условиям [5].

Когалымское нефтяное месторождение, освоение которого началось в 1985 г., находится в 17 км северо-западнее быстроразвивающегося города Когалыма (ХМАО – Югра). Месторождение относится к Западно-Сибирской провинции – крупнейшему нефтегазоносному бассейну в мире. Основная отрасль промышленности г. Когалыма – нефтедобывающая, а также обработка и транспортировка углеводородной продукции.

В Западной Сибири в зоне умеренного и холодного климата самоочищение почвогрунтов от нефтяного загрязнения с помощью естественной микробиоты затруднено из-за неблагоприятных почвенно-климатических условий: низких среднегодовых температур, слабого влияния абиотических факторов деструкции углеводородов, повышенной концентрации соли, недостатка аэрации и др. В таких условиях наиболее эффективным приемом



очистки является внесение бактерий с необходимыми экологическими характеристиками, способных расти при низкой положительной температуре, приспособленных к повышенной солености почв и обладающих достаточной деструктивной активностью по отношению к загрязнителю. Интродукция таких бактерий позволит продлить период биоремедиации загрязненных почв на несколько месяцев. Поэтому представлялось перспективным использовать почвы нефтегазоносного региона в качестве источника выделения и селекции углеводородокисляющих бактерий, возможных составляющих препаратов для биоремедиации нефтезагрязненных почв в условиях Крайнего Севера. Ранее нами был изучен качественный и количественный состав почвенных микробценозов города Когалыма [6]. Было установлено, что углеводородокисляющие бактерии в почвенных микробценозах г. Когалыма представлены 5 видами, среди которых доминировали виды рода *Bacillus*: *B. alcalophilus*, *B. funiculus*, *B. halodurans*, *B. niacini*, *B. psychrodurans*. Кроме бактерий рода *Bacillus* выявлялись микроорганизмы вида *Curtobacterium flaccumfaciens*, частота встречаемости которых составляла 17%. В сообществах углеводородокисляющих бактерий наблюдалось незначительное преобладание *B. funiculus* (19%) и меньшее содержание *B. alcalophilus* (14%), остальные микроорганизмы были представлены в равных долях (16–17%) Доминирование бактерий рода *Bacillus* в группе углеводородокисляющих микроорганизмов, скорее всего, связано с их способностью к образованию эндоспор и выживанию в период высокой стрессовой нагрузки на окружающую среду. Известно об активном размножении бацилл в почвах и увеличении разнообразия видового состава спорообразующей микробиоты в условиях нефтяного загрязнения и других видов антропогенного воздействия [7, 8], а также о способности бактерий рода *Bacillus* деградировать нефтяные загрязнители. *Curtobacterium flaccumfaciens* описана [9] как бактерия, стимулирующая рост растений. Такие бактерии улучшают рост различных сельскохозяйственных культур и используются в качестве биопрепарата.

Цель настоящей работы состояла в изучении способности бактерий, выделенных из почв г. Когалыма (ХМАО – Югра), к эмульгации и деградации нефтяных углеводородов, оценке адаптационных свойств бактерий.

Материалы и методы

Объектами исследования служили 6 штаммов углеводородокисляющих бактерий, выделенных ранее из почв г. Когалыма: *Bacillus alcalophilus* WS-3027B, *B. funiculus* LY-2403G, *B. halodurans* MH-3011N, *B. niacini* TC-8101S, *B. psychrodurans* LV-1106E, *Curtobacterium flaccumfaciens* AE-0851V [6]. Бактерии были идентифицированы по совокупности изученных культурально-морфологических, физиолого-биохимических признаков и результатов исследования белковых профилей методом MALDI-ToF масс-спектрометрии на приборе MALDI масс-спектрометре серии microflex (Bruker Daltonics GmbH, Германия). В качестве матрицы использовали α -циано-4-гидроксикоричную кислоту (Bruker Daltonics GmbH, Германия). При идентификации применяли стандартную библиотеку спектров Biotyper компании Bruker Daltonics GmbH.

Для определения деструктивной активности бактерии культивировали в жидкой минеральной среде М9 с нефтью (1 % по весу) в качестве единственного источника углерода и энергии в течение 14 сут. при комнатной температуре в настольном шейкере-инкубаторе PSU-10i (BioSan, Латвия) при 160 об/мин. В экспериментах использовали нефть, полученную из скважины № 305 Красноярско-Кудинского месторождения. Соотношение нефтяных фракций в данной нефти было следующим, %: парафины и нафтены – 54,2; моно- и бициклические ароматические соединения – 16,7; ПАУ – 6,7; спирто-бензольные смолы – 22,4. Абиотическим контролем служила минеральная среда М9 с углеводородным субстратом без микроорганизмов. В качестве посевного материала использовали смыв суточной культуры бактерий с ГРМ-агара (ФБУН ГНЦ ПМБ, Оболенск, Россия) стерильным физиологическим раствором. Оптическая плотность посевной дозы составляла 1,0 ед. при длине волны 440 нм. Каждый вариант изучали в трех повторностях.

Степень деструкции нефти бактериями оценивали методом адсорбционной хроматографии с последующим гравиметрическим анализом, извлекая сумму неполярных и малополярных углеводородов из культуральной жидкости органическим растворителем (хлороформом) с одновременной очисткой элюата на окиси алюминия в хроматографической колонке. Элюаты собирали в предварительно



взвешенные стеклянные стаканы. После полного испарения растворителя стаканы взвешивали еще раз для определения количества собранных углеводов. По полученным результатам рассчитывали степень деструкции углеводов, которую выражали в процентах [10].

Эмульгирующую активность бактерий по отношению к нефти определяли методом Д. Купера с некоторыми модификациями. Бактерии выращивали в жидкой минеральной среде М9 с добавлением углеводородного субстрата в качестве единственного источника углерода и энергии (20 г/л – глицерина или вазелинового масла) в условиях аэрации при 160 об/мин и комнатной температуре в течение 2 сут. Для оценки экзогенной эмульгирующей активности бактериальные клетки отделяли от культуральной среды с помощью центрифугирования, на центрифуге MiniSpin Plus (Eppendorf, Германия) в течение 10 мин при 8 тыс. об/мин, среду затем дополнительно фильтровали через бумажные фильтры и исследовали супернатант. При измерении эндогенной эмульгирующей активности культуральную среду не центрифугировали. Далее культуральную среду с бактериальными клетками или без них смешивали с нефтью в соотношении 3:2 и интенсивно перемешивали на лабораторном электрическом встряхивателе Вортекс MSV-3500 Heidolf (Германия) при 1000 об/мин в течение 20 мин для получения стабильной эмульсии. После этого пробирки оставляли в вертикальном положении при

комнатной температуре, эмульгирующую активность выражали в процентах, рассчитывая ее как отношение объема эмульсии через 24 (E_{24}) и 48 (E_{48}) часов к общему объему жидкости, умноженное на 100 %. Каждый образец исследовали в трех повторностях.

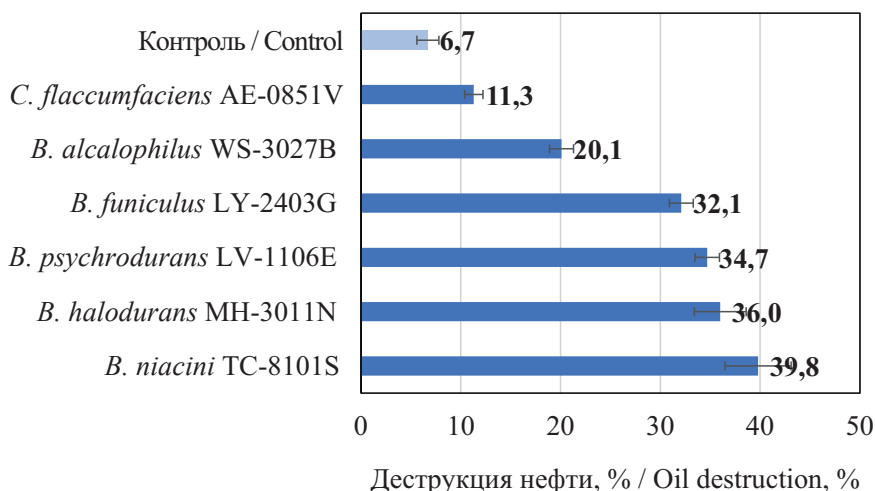
При изучении адаптационных свойств углеводородокисляющих бактерий оценивали их рост на питательной среде в диапазоне pH (2, 3, 4, 5, 9, 10), концентрации NaCl (2, 5, 7, 10, 15 %) и при пониженной температуре (+10 °C).

Полученные результаты были статистически обработаны, а именно определены основные статистические параметры и результаты проверены на нормальность распределения по критерию Колмогорова – Смирнова. Для обработки и анализа данных использовался пакет Statistica 13 и программное обеспечение Microsoft Excel 2007 (for Windows 10). При проверке статистических гипотез критический уровень показателя достоверности p принимали равным 0,05. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным данным, через 14 сут. культивирования в контроле (без бактерий) количество нефти снизилось на 6,7%, что связано с ее абиотической трансформацией [11].

У всех изученных бактерий обнаруживалась деструктивная активность по отношению к нефти (рисунок). По степени деструк-



Степень деструкции нефти углеводородокисляющими бактериями за 14 суток
Figure. The degree of destruction of oil by hydrocarbon-oxidizing bacteria in 14 days



ции нефти исследованные бактерии можно ранжировать следующим образом: *B. niacini* TC-8101S – 39,8% деструкции; *B. halodurans* MH-3011N – 36,0; *B. psychrodurans* LV-1106E – 34,7; *B. funiculus* LY-2403G – 32,1; *B. alcalophilus* WS-3027B – 20,1; *C. flaccumfaciens* AE-0851V – 11,3%. Максимальная деструктивная активность по отношению к нефти наблюдалась у бактерий *B. niacini* TC-8101S (39,8%) и *B. halodurans* MH-3011N (36,0%). Способность к деструкции нефтяных углеводородов у четырех изученных штаммов (>30 %) сравнима со способностью у известных бактерий-деструкторов углеводородов [12, 13].

В настоящих исследованиях мы определили деструктивную активность бактерий на основании остаточного содержания в среде культивирования общих нефтяных углеводородов согласно ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3:3.64-10 [10]. Ранее при изучении субстратного спектра было обнаружено, что *B. alcalophilus* WS-3027B, *B. psychrodurans* LV-1106E, *B. halodurans* MH-3011N и *B. funiculus* LY-2403G способны использовать в качестве единственного источника углерода и энергии индивидуальные углеводороды: гексан, гептан, декан, гексадиен и толуол. Бактерия *C. flaccumfaciens* AE-0851V использовала для роста только пре-

дельные углеводороды: гептан и гексан. Полученные результаты соответствуют известным данным о том, что бактерии-нефтедеструкторы легче и быстрее окисляют нормальные и изоалканы [14].

Известно, что нередко углеводородокисляющие бактерии способны к синтезу биосурфактантов, облегчающих поглощение углеводородов бактериями [15]. Бактерии рода *Bacillus* синтезируют биоэмульгаторы липопептидной природы, а именно сурфактин и итурин [16]. Эти биоПАВ эмульгируют нефть в широком диапазоне температур и при разных уровнях кислотности. Среди продуцентов биоПАВ бактерии рода *Bacillus* способны генерировать наиболее низкое межфазное натяжение между углеводородами и жидкой фазой, что нашло широкое применение в микробиологическом методе нефтеотдачи пластов [17].

У всех исследованных нами углеводородокисляющих бактерий рода *Bacillus*, выделенных из почв г. Когалыма, в ходе проведенных исследований была обнаружена экзо- и эндогенная эмульгирующая активность по отношению к нефти, образовавшиеся нефтяные эмульсии обладали достаточной стабильностью (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Эмульгирующая активность углеводородокисляющих бактерий
Emulsifying activity of hydrocarbon-oxidizing bacteria

Бактерии / Bacterium	Эмульгирующая активность по отношению к нефти, % / Emulsifying activity in relation to oil, %			
	Эндогенная / Endogenous		Экзогенная / Exogenous	
	E ₂₄	E ₄₈	E ₂₄	E ₄₈
<i>B. halodurans</i> MH-3011N	40,0±0,0	47,3±1,2	44,7±3,0	44,7±3,0
<i>B. alcalophilus</i> WS-3027B	70,0±2,6	68,7±1,1	74,0±2,8	74,0±2,8
<i>B. funiculus</i> LY-2403G	53,0±1,4	62,0±3,4	58,6±3,1	54,0±0,0
<i>B. niacini</i> TC-8101S	43,3±2,3	43,3±2,3	44,0±2,8	44,0±2,0
<i>B. psychrodurans</i> LV-1106E	42,7±1,1	44,0±2,0	43,0±2,8	43,0±1,4

У бактерий *B. alcalophilus* WS-3027B и *B. funiculus* LY-2403G обнаруживалась максимальная активность: через 24 ч эндогенная активность у них составила 70,0 и 53,0%, через 48 ч – 68,7 и 62,0%. Экзогенная эмульгирующая активность у данных бактерий через

24 ч составила 74,0 и 58,6%, через 48 ч – 74,0 и 54,0%. Проявленная этими бактериями высокая экзогенная эмульгирующая активность в отношении нефти свидетельствует о возможном синтезе ими биоПАВ. Эти результаты указывают на возможные преимущества данных



бактерий в процессах утилизации нефтяных углеводородов, так как биоэмульгирующая активность микроорганизмов в сочетании с биодеградирующей способностью сможет обеспечить большую биодоступность углеводородов в различных условиях окружающей среды.

Известны представители рода *Bacillus*, входящие в состав микробных композиций, рекомендованных для ремедиации нефтезагрязненных почв, например, бактерии *Bacillus megaterium* ВКМ В-396 и *Bacillus subtilis* ВКПМ В-5328 в препарате «Биоинит» [18]; *Bacillus vallismoris* ВКПМ В-11017 в консорциуме углеводородокисляющих микроорганизмов [19]. Кроме того, известны индивидуальные штаммы-нефтедеструкторы, относящиеся к роду *Bacillus*: *Bacillus subtilis* Колыма 7/2 [20], *Bacillus subtilis* DM-04 [21] и др. В лабораторных и полевых экспериментах ученые

изучают возможности использования бактерий-нефтедеструкторов для биоремедиации почв, в том числе для очистки северных территорий. При этом результаты исследований показывают, что в северных экосистемах с многолетнемерзлыми породами, небольшой мощностью гумусового горизонта, невысокой биологической активностью почв внесение используемых бактерий не всегда эффективно, требуются бактерии с широким диапазоном адаптивных свойств.

Результаты исследования адаптационных свойств углеводородокисляющих бактерий, выделенных из почв г. Когалыма, показали, что бактерии *B. niacini* TC-8101S и *B. psychrodurans* LV-1106E росли в максимально широком диапазоне pH: от 1 до 10 и при высоких концентрациях NaCl (15%) (табл. 2). Остальные 4 изученных бактериальных штамма росли при значениях pH от 4 до 10.

Таблица 2 / Table 2

Адаптационные свойства углеводородокисляющих бактерий
Adaptive properties of hydrocarbon- oxidizing bacteria

Условия роста / Growth conditions		Бактерии / Bacterium					
		<i>B. alcalophilus</i> WS- 3027B	<i>B. funiculus</i> LY- 2403G	<i>B. niacini</i> TC- 8101S	<i>B. psychrodurans</i> LV- 1106E	<i>B. halodurans</i> MH- 3011N	<i>C. flaccumfaciens</i> AE- 0851V
pH	1	-	-	+	+	-	-
	2	-	-	+	+	-	-
	3	-	-	+	+	-	-
	4	+	+	+	+	+	+
	5	+	+	+	+	+	+
	9	+	+	+	+	+	+
	10	+	+	+	+	+	+
NaCl, %	2	-	+	-	+	+	-
	5	+	+	+	+	+	+
	7	+	-	+	+	-	+
	10	-	-	+	+	-	+
	15	-	-	+	+	-	-
Температура, °C Temperature, °C	10	-	+	+	+	-	+



При 7%-ной концентрации NaCl был способен к росту бактериальный штамм *B. alcalophilus* WS-3027B, при 10%-ной – *C. flaccumfaciens* AE-0851V. При пониженной температуре (+10°C) хорошо росли 4 изученных штамма, за исключением *B. alcalophilus* WS-3027B и *B. halodurans* MH-3011N. Двум бактериальным штаммам (*B. niacini* TC-8101S и *B. psychrodurans* LV-1106E) была свойственна кислотолерантность, что согласуется с известными данными о повышенной кислотности почв Западной Сибири.

Заключение

В ходе проведенных исследований установлено, что все выделенные из почв г. Когалыма бактерии хорошо усваивали нефть в качестве единственного источника углерода и энергии, что может быть связано с источниками их выделения (почвы нефтегазоносного региона) и, как следствие, многолетней адаптацией к данному субстрату как источнику питания.

По мнению исследователей [22], микроорганизмы в составе бактериальных препаратов для биоремедиации нефтезагрязненных почв в условиях Крайнего Севера должны быть адаптированы к низкой температуре, повышенной концентрации соли, низкому содержанию питательных веществ. Как показали результаты наших экспериментов, каждый из изученных микроорганизмов обладал не только эмульгирующей и деструктивной активностью по отношению к нефтяным углеводородам, но и устойчивостью к различным неблагоприятным условиям среды (способностью к росту при пониженной температуре, повышенной минерализации и щелочности). Широкий спектр приспособленности играет важную роль для потенциального использования данных микробных штаммов в качестве основных составляющих препаратов для биоремедиации почв.

Выявленные характеристики углеводородокисляющих бактерий позволяют рассматривать их как потенциальных интродуцентов (как отдельно, так и в ассоциациях) для использования в технологиях очистки нефтезагрязненных объектов окружающей среды в условиях Крайнего Севера.

Список литературы

1. Геннадиев А. Н. Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2016. № 6. С. 30–39.
2. Тихомиров О. А., Тихомирова Е. А. Геоэкологические проблемы разработки месторождений и транспортировки нефти // Вестник ТвГУ. Серия «География и Геоэкология». 2019. № 1 (25). С. 50–61. <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2019-1-50-61>
3. Ересько А. А. Экологические проблемы, связанные с добычей нефти и газа в ХМАО // Modern Science. 2019. № 12, ч. 4. С. 24–27.
4. Максименко В. А. Экологические проблемы эксплуатации нефтяных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа-Югры // Международный научный журнал «Вестник науки». 2024. Т. 4, № 9 (78). С. 521–525.
5. Егорова Д. О., Бузмаков С. А., Санников П. Ю., Шестаков И. Е., Хотяновская Ю. В. Биоремедиационный потенциал природного микробиоценоза в условиях хронического нефтяного загрязнения // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 10. С. 60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-10-60-65>
6. Pleshakova Ye. V., Glinskaya E. V., Korobeinikova A. S., Sheudzhen A. Sh., Reshetnikov M. V. Ecological and microbiological features of the soils of the city of Kogalym // II International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2023). Conference Proceedings. Ekaterinburg : Institute of Digital Economics and Law LLC, 2024. P. 1230–1236.
7. Першина Е. В., Иванова Е. А., Нагиева А. Г. Жиенгалиев А. Т., Чирак Е. Л., Андронов Е. Е., Сергалиев Н. Х. Сравнительный анализ микробиомов природных и антропогенно-нарушенных почв северо-западного Казахстана // Почвоведение. 2016. № 6. С. 720–732. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16060095>
8. Фасхутдинова Е. Р., Осинцева М. А., Неверова О. А. Перспективы использования микробиома почв угольных отвалов с целью ремедиации антропогенно нарушенных экосистем // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 4. С. 883–904. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-883-904>
9. Phour M., Sehwat A., Sindhu S.S., Glick B. R. Interkingdom signaling in plant-rhizomicrobiome interactions for sustainable agriculture // Microbiol. Res. 2020. Vol. 241. Art. 126589. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126589>
10. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.64-10. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, отходов производства и потребления гравиметрическим методом. М. : ФГУ «ФЦАО», 2010. 18 с.
11. Perdigão R., Almeida C. M. R., Santos F., Carvalho M. F., Mucha A. P. Optimization of an autochthonous bacterial consortium obtained from beach sedi-



- ments for bioremediation of petroleum hydrocarbons // *Water*. 2021. Vol. 13. Art. 66. <https://doi.org/10.3390/w13010066>
12. Хабирова С. Р., Идиятов И. И., Шуралев Э. А., Тремасова А. М., Дорожкин В. И. Скрининг углеводородокисляющих микроорганизмов для биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2022. № 1 (41). С. 117–125. <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202201014>
 13. Liu X., Ji J., Zhang X., Chen Z., He L., Wang C. Microbial remediation of crude oil in saline conditions by oil-degrading bacterium *Priestia megaterium* FDU301 // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2024. Vol. 196. P. 2694–2712. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-04245-4>
 14. Dai X., Lv J., Fu P., Guo S. Microbial remediation of oil-contaminated shorelines: A review // *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30 (41). P. 1–28. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29151-y>
 15. Иваненко И. И., Новикова А. М., Лапатина Е. Я. Исследование микроорганизмов-деструкторов углеводородных загрязнений как способ интенсификации очистки воды // *Научно-практический журнал. Водное хозяйство России*. 2020. № 6. С. 121–132. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-6-7>
 16. Трефилов В. С., Лабанов В. А., Хренова М. Г., Панова Т. В., Родин В. А., Савицкая В. Ю., Кубарева Е. А., Зверева М. Э. Геномная характеристика бактерий *Bacillus subtilis* PY79 и NCIB 3610 как потенциальных продуцентов сурфактина // *Биотехнология*. 2023. Т. 39, № 5. С. 61–69. <https://doi.org/10.56304/S0234275823050125>
 17. Сарсенова А. С., Гуссейнов И. Ш., Нагметова Г. Ж., Аюпова А. Ж., Аипова Р., Кудайбергенов С. Е., Курманбаев А. А. Изучение влияния штамма *Bacillus subtilis* ж105-11, способного к синтезу БиоПАВ, на вытеснение нефти // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 10, ч. 2. С. 270–273.
 18. Пат. № 2571219 С2 Российская Федерация, МПК C12N 11/14, B09C 1/10, C02F 3/34. Препарат для биодegradации нефтепродуктов «Биоионит» и способ его получения, № 2013128882/10, заявл. 25.06.2013, опубл. 20.12.2015.
 19. Пат. № 2565549 С2 Российская Федерация, МПК B09C 1/10, B01J 20/16, C09K 17/40. Биопрепарат для биоремедиации нефтезагрязненных почв для климатических условий Крайнего Севера, № 2013155969/10, заявл. 17.12.2013, опубл. 20.10.2015.
 20. Пат. № 2446900 С2 Российская Федерация, МПК B09C 1/10. Способ очистки мерзлотных почв от нефти спорообразующими бактериями *Bacillus subtilis*, № 2010129158/13, заявл. 13.07.2010, опубл. 10.04.2012.
 21. Das K., Mukherjee A. K. Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India // *Bioresource Technology*. 2007. Vol. 98. P. 1339–1345. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.032>
 22. Коршунова Т. Ю., Четвериков С. П., Логинов О. Н. Перспективы использования консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки нефтезагрязнённой почвы Крайнего Севера // *Теоретическая и прикладная экология*. 2016. № 1. С. 88–94.

References

1. Gennadiev A. N. Oil and the environment. *Moscow University Bulletin. Series 5: Geography*, 2016, no. 6, pp. 30–39 (in Russian).
2. Tikhomirov O. A., Tikhomirova E. A. Geoecological problems of oil field development and oil transportation. *Bulletin of TvSU. Series “Geography and Geoecology”*, 2019, no. 1 (25), pp. 50–61 (in Russian). <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2019-1-50-61>
3. Eresko A. A. Environmental problems associated with oil and gas production in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. *Modern Science*, 2019, no. 12, part 4, pp. 24–27 (in Russian).
4. Maksimenko V. A. Environmental problems of oil field exploitation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. *International Scientific Journal “Bulletin of Science”*, 2024, vol. 4, no. 9 (78), pp. 521–525 (in Russian).
5. Egorova D. O., Buzmakov S. A., Sannikov P. Yu., Shestakov I. E., Khotyanovskaya Yu. V. Bioremediation potential of natural microbiocenosis under chronic oil contamination. *Ecology and Industry of Russia*, 2022, vol. 26, no. 10, pp. 60–65 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-10-60-65>
6. Pleshakova Ye. V., Glinskaya E. V., Korobeinikova A. S., Sheudzhen A. Sh., Reshetnikov M. V. Ecological and microbiological features of the soils of the city of Kogalym. *II International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2023). Conference Proceedings*. Ekaterinburg, Institute of Digital Economics and Law LLC, 2024, pp. 1230–1236.
7. Pershina E. V., Ivanova E. A., Nagieva A. G., Zhiengaliev A. T., Chirak E. L., Andronov E. E., Sergaliev N. Kh. Comparative analysis of microbiomes of natural and anthropogenically disturbed soils in Northwestern Kazakhstan. *Eurasian Soil Science*, 2016, no. 6, pp. 720–732 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229316060096>
8. Faskhutdinova E. R., Osintseva M. A., Neverova O. A. Prospects of using coal dump soil microbiome for remediation of anthropogenically disturbed ecosystems. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, vol. 51, no. 4, pp. 883–904 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-883-904>
9. Phour M., Sehwat A., Sindhu S. S., Glick B. R. Interkingdom signaling in plant-rhizomicrobiome interac-



- tions for sustainable agriculture. *Microbiol. Res.*, 2020, vol. 241, art. 126589. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126589>
10. PND F 16.1:2:2.2:3:3.64-10. *Procedure for measuring the mass fraction of petroleum products in samples of soils, grounds, bottom sediments, sludges, wastewater sludges, production and consumption wastes by the gravimetric method*. Moscow, Federal Center for Analysis and Assessment of Technogenic Impact, 2010. 18 p. (in Russian).
 11. Perdigão R., Almeida C. M. R., Santos F., Carvalho M. F., Mucha A. P. Optimization of an autochthonous bacterial consortium obtained from beach sediments for bioremediation of petroleum hydrocarbons. *Water*, 2021, vol. 13, art. 66. <https://doi.org/10.3390/w13010066>
 12. Khabirova S. R., Idiyatov I. I., Shuralev E. A., Tremasova A. M., Dorozhkin V. I. Screening of hydrocarbon-oxidizing microorganisms for bioremediation of soils contaminated with oil and petroleum products. *Russian Journal "Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology"*, 2022, no. 1 (41), pp. 117–125 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyг.ecol.202201014>
 13. Liu X., Ji J., Zhang X., Chen Z., He L., Wang C. Microbial remediation of crude oil in saline conditions by oil-degrading bacterium *Priestia megaterium* FDU301. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2024, vol. 196, pp. 2694–2712. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-04245-4>
 14. Dai X., Lv J., Fu P., Guo S. Microbial remediation of oil-contaminated shorelines: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30 (41), pp. 1–28. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29151-y>
 15. Ivanenko I. I., Novikova A. M., Lapatina E. Ya. Study of hydrocarbon-degrading microorganisms as a method for water treatment intensification. *Scientific and Practical Journal "Water Sector of Russia"*, 2020, no. 6, pp. 121–132 (in Russian). <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-6-7>
 16. Trefilov V. S., Labanov V. A., Khrenova M. G., Panova T. V., Rodin V. A., Savitskaya V. Yu., Kubareva E. A., Zvereva M. E. Genomic characterization of *Bacillus subtilis* PY79 and NCIB 3610 as potential surfactin producers. *Biotechnology*, 2023, vol. 39, no. 5, pp. 61–69 (in Russian). <https://doi.org/10.56304/S0234275823050125>
 17. Sarsenova A. S., Huseynov I. Sh., Nagmetova G. Zh., Ayupova A. Zh., Aipova R., Kudaibergenov S. E., Kurmanbayev A. A. Study of the effect of *Bacillus subtilis* strain Zh105-11 capable of biosurfactant synthesis on oil displacement. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2017, no. 10, part 2, pp. 270–273.
 18. Pat. No. 2571219 C2 Russian Federation, IPC C12N 11/14, B09C 1/10, C02F 3/34. *Preparation for biodegradation of petroleum products "Bioionite" and method for its production*, no. 2013128882/10, filed 25.06.2013, published 20.12.2015 (in Russian).
 19. Pat. No. 2565549 C2 Russian Federation, IPC B09C 1/10, B01J 20/16, C09K 17/40. *Biological preparation for bioremediation of oil-contaminated soils under climatic conditions of the Far North*, no. 2013155969/10, filed 17.12.2013, published 20.10.2015 (in Russian).
 20. Pat. No. 2446900 C2 Russian Federation, IPC B09C 1/10. *Method for cleaning permafrost soils from oil using spore-forming bacteria *Bacillus subtilis**, no. 2010129158/13, filed 13.07.2010, published 10.04.2012 (in Russian).
 21. Das K., Mukherjee A. K. Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India. *Bioresource Technology*, 2007, vol. 98, pp. 1339–1345. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.032>
 22. Korshunova T. Yu., Chetverikov S. P., Loginov O. N. Prospects for the use of a consortium of hydrocarbon-oxidizing microorganisms for the cleanup of oil-contaminated soil in the Far North. *Theoretical and Applied Ecology*, 2016, no. 1, pp. 88–94 (in Russian).

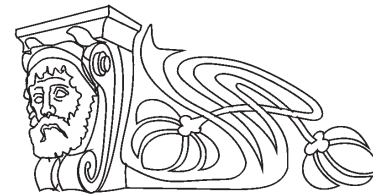
Поступила в редакцию 15.02.2026; одобрена после рецензирования 20.03.2026; принята к публикации 26.03.2026
The article was submitted 15.02.2026; approved after reviewing 20.03.2026; accepted for publication 26.03.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 217–227
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 217–227
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-217-227>, EDN: UQRUJW

Научная статья
УДК 595.72

Сравнительная характеристика фаунистических комплексов Прямокрылых (Insecta: Orthoptera) степной и лесостепной зон Правобережья Саратовской области



О. Ю. Донских, В. В. Аникин ✉

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Донских Олег Юрьевич, студент биологического факультета, лаборант кафедры морфологии и экологии животных, oleg.donskikh05@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-1247-5607>

Аникин Василий Викторович, доктор биологических наук, профессор кафедры морфологии и экологии животных, anikinvasiliiv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8575-5418>

Аннотация. Приведены данные по сборам Прямокрылых (Insecta: Orthoptera) за 2024–2025 гг. в различных биотопах из двух ООПТ Саратовской области – национальный парк «Хвалынский» и памятник природы «Нижне-Банновский», а также с прилегающих территорий. Представлен список из 44 видов насекомых из 3 семейств, указаны потенциальные вредители сельскохозяйственных культур, обнаруженные на исследованных территориях, а также виды, занесенные в Красную книгу Саратовской области. Было проведено распределение отмеченных видов по их долготным характеристикам, указано распространение зональных группировок внутри двух районов области, а также было отмечено распределение жизненных форм Прямокрылых на исследованных территориях. Сравнение фаунистических комплексов Прямокрылых из различных биотопов методом построения дендрограммы сходства на основе попарного коэффициента Жаккара, показало среднюю степень сродства фаун внутри одного района. Также для выявления наличия или отсутствия значимых различий в видовом составе изученные фауны двух природных зон Правобережья сравнивались с фауной двух районов степного Заволжья. По итогам исследования в степных и лесостепных биотопах Саратовского Правобережья не было обнаружено значимых нарушений, биотопы находятся в хорошем экологическом состоянии, в видовом составе преобладает комплекс степных элементов фауны Прямокрылых региона.

Ключевые слова: Orthoptera, Нижнее Поволжье, энтомофауна, Саратовская область

Для цитирования: Донских О. Ю., Аникин В. В. Сравнительная характеристика фаунистических комплексов Прямокрылых (Insecta: Orthoptera) степной и лесостепной зон Правобережья Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 217–227. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-217-227>, EDN: UQRUJW

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Comparative characteristics of the faunal complexes of Orthoptera (Insecta: Orthoptera) in the steppe and forest-steppe zones of the Right Bank of the Saratov region

O. Yu. Donskikh, V. V. Anikin ✉

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Oleg Yu. Donskikh, oleg.donskikh05@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-1247-5607>

Vasilii V. Anikin, anikinvasiliiv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8575-5418>

Abstract. The data on the collection of Orthoptera (Insecta: Orthoptera) for 2024–2025 in various biotopes from two protected areas of the Saratov region – Khvalynsky National Park and Nizhne-Bannovsky Natural Monument, as well as from adjacent territories, are presented. A list of 44 species of insects from 3 families is presented, potential pests of agricultural crops found in the studied territories are indicated, as well as species listed in the Red Book of the Saratov region. The distribution of the marked species according to their longitude characteristics was carried out, the distribution of zonal groups within two districts of the region was indicated, and the distribution of the life forms of Orthoptera in the studied territories was noted. A comparison of the faunal complexes of Orthoptera from different biotopes using the method of constructing a dendrogram of similarity based on the pairwise Jaccard coefficient showed the average degree of affinity of the faunas



within one district. Additionally, to identify the presence or absence of significant differences in the species composition, the studied fauna of the two natural zones of the Right Bank was compared with the fauna of the two areas of the steppe Zavolzhye. According to the results of the study, no significant disturbances were found in the steppe and forest-steppe biotopes of the Saratov Right Bank, and the biotopes are in good ecological condition, with a predominance of the steppe elements of the region's Orthoptera fauna.

Keywords: Orthoptera, Lower Volga region, entomofauna, Saratov region

For citation: Donskikh O. Yu., Anikin V. V. Comparative characteristics of the faunal complexes of Orthoptera (Insecta: Orthoptera) in the steppe and forest-steppe zones of the Right Bank of the Saratov region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 217–227 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-217-227>, EDN: UQRUJW

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Фауну Прямокрылых (Insecta: Orthoptera) начали изучать ещё в середине XIX в. и эти исследования продолжают до сих пор. Это связано с тем, что в степных биоценозах представители данного отряда являются неотъемлемым и наиболее заметным их компонентом. Кроме того, в экосистемах Прямокрылые служат показателем их устойчивости и сохранности. Некоторые представители из изучаемого отряда могут быть потенциальными вредителями сельского хозяйства за счет поедания значительной части наземной фитомассы, увядания растений при откладке в них яиц или же из-за повреждений корневой системы. Наибольшую угрозу для агроландшафтов Прямокрылые представляют во время массового размножения, которое носит периодический характер. Некоторых представителей из этого отряда употребляют в качестве пищи в ряде стран.

Исследуемые районы – Красноармейский (далее КР) и Хвалынский (далее ХР), расположены на южной и северной границах Саратовской области, в степной и лесостепной природных зонах, что обуславливает различия в физико-географических характеристиках и видовом составе насекомых. По данным последних исследований [1–3], в Саратовской области отмечается 63 вида Прямокрылых из 7 семейств: Acrididae, Gryllidae, Gryllotalpidae, Pamphagidae, Tettigoniidae, Tetrigidae и Tridactylidae. Для западной части области указывается 55 видов насекомых из отряда Orthoptera [2]. Исходя из всего вышеперечисленного, сравнение ортоптерофаун двух районов позволит определить изменения, происходящие в их составе, установить степень сходства биотопов из исследуемых территорий и влияние условий местообитания на видовой состав.

Материалы и методы

Материал собирался в период с июня по август 2024–2025 гг. в пределах двух особо охраняемых природных территорий (ООПТ) из КР и ХР: национальный парк «Хвалынский» (ХР) и памятник природы «Нижне-Банновский» (КР), а также на сопредельных территориях в различных биотопах следующих локалитетов (рис. 1).

Красноармейский район:

1. Окр. с. Меловое, разнотравная степь (50.791360°N, 45.608290°E);

2. Окр. с. Белогорское, утес Степана Разина, разнотравная степь (50.601°N, 45.6618°E);

3. Окр. с. Нижняя Банновка, остепненный склон (50.690324°N, 45.649620°E);

4. Окр. с. Золотое, остепненный склон (50.804027°N, 45.783874°E);

5. Окр. с. Белогорское, Дурман-гора, остепненный склон (50.605392°N, 45.667980°E).

6. Окр. с. Золотое, утес Синее Лбище, овраг (50.806887°N, 45.824485°E);

7. Окр. с. Усть-Золиха, залежь (50.9657°N, 45.5420°E).

Хвалынский район:

8. Окр. базы СГУ, разнотравная степь (52.492838°N, 48.054733°E);

9. Дача купца Хренова, окрестности базы СГУ, луговина (52.486813°N, 48.043953°E);

10. Окр. Черного затона, настоящая степь (52.710837°N, 48.327085°E);

11. 9 км С-3 Хвалынска, луговина (52.509709°N, 48.010508°E);

12. г. Таши, остепненный склон (52.535264°N, 48.084151°E).

Сбор материала осуществлялся как в дневное, так и в ночное время путем отлова насекомых сачком методом кошения либо ручным сбором с поверхности почвы. Также в ХР для отлова Прямокрылых использовались почвенные ловушки и ловушка Малеза. После



Рис. 1. Карта-схема Саратовской области с локалитетами мест сбора (обозначения представлены в тексте). URL: <https://yandex.ru/maps/194/saratov/?ll=45.978493%2C51.522130&z=14>

Fig. 1. Map of the Saratov Region with locations of collection points (notations are provided in the text). Available at: <https://yandex.ru/maps/194/saratov/?ll=45.978493%2C51.522130&z=14>

поймки насекомые помещались либо в раствор 70% этилового спирта, либо в морилку, где в качестве анестезирующего вещества использовался раствор аммиака. Фактический материал состав 535 экземпляров имаго, из которых 240 экземпляров было собрано в КР и 295 в – ХР. Материал был проэтикетирован и частично расправлен. Определение осуществлялось по специальной литературе [4–6], а также с помощью сайта Orthoptera species file [7]. Жизненные формы Прямокрылых приводятся по предложенной классификации Г. Я. Бей-Биенко [8] и Ф. Н. Правдина [9].

Хорологические характеристики видов приводятся по работе М. Г. Сергеева [10]. Для сравнительного фаунистического анализа были использованы данные по видовому составу Прямокрылых Краснокутского (далее КК) и Краснопартизанского (далее КП) районов из работы Н. В. Зиненко с соавторами [11].

Результаты и их обсуждение

На основании собранного и обработанного материала представлен список из 44 видов.



«В» – вредитель сельского хозяйства, «К» – вид, занесенный в Красную книгу Саратовской области.

СПИСОК ВИДОВ

Семейство Acrididae

1. *Arcyptera microptera* (Fischer von Waldheim, 1833) – В;

Материал: **1**, 12.06.2025, 4♂.

2. *Calliptamus italicus* (Linnaeus, 1758) – В;

Материал: **3**, 25.07.2025, 2♀, 3♂; **4**, 18.08.2025, 4♂, 2♀; **8**, 14.07.2024 6♀, 6♂; **9**, 05.07.2024–17.07.2024, 1♂; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 6♀, 5♂; **10**, 10.07.2025, 8♀, 6♂; **10**, 22.08.2025, 3♀, 1♂; **11**, 15.07.2025, 2♂; **12**, 16.07.2025, 10♀, 4♂.

3. *C. barbarus* (Costa, 1836) – В;

Материал: **3**, 25.07.2025, 7♀, 4♂.

4. *Celes variabilis* (Pallas, 1771);

Материал: **7**, 29.07.2024, 1♀.

5. *Chorthippus biguttulus* (Linnaeus, 1758);

Материал: **2**, 13.08.2024, 1♂.

6. *Chrysochraon dispar* (Germar, 1834);

Материал: **11**, 15.07.2025, 4♀, 7♂.

7. *Glyptobothrus brunneus* (Thunberg, 1815);

Материал: **2**, 13.08.2024, 2♂; **4**, 18.08.2025, 1♂, 1♀; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 3♂, 2♀.

8. *G. macrocerus* (Fischer von Waldheim, 1846);

Материал: **2**, 30.08.2025, 2♂; **8**, 14.07.2025, 3♂.

9. *G. mollis* (Charpentier, 1825);

Материал: **6**, 20.08.2025, 2♂; **2**, 21.08.2024, 1♂.

10. *G. vagans* (Eversmann, 1848);

Материал: **2**, 21.08.2024, 1♂, 3♀; **8**, 14.07.2024 1♀; **9**, 05.07.2024–17.07.2024, 1♀, 1♂; **12**, 16.07.2025, 1♀; **10**, 22.08.2025, 2♂.

11. *Doclostaurus brevicollis* (Eversmann, 1848) – В;

Материал: **1**, 12.06.2025, 12♀, 1♂; **4**, 18.08.2025, 2♂; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 1♀; , 16.07.2025, 1♀.

12. *Euchorthippus pulvinatus* (Fischer von Waldheim, 1846);

Материал: **3**, 25.07.2025, 2♀, 3♂; **4**, 18.08.2025, 3♀; **6**, 20.08.2025, 4♀, 2♂; **8**, 14.07.2024 2♀; **8**, 05.07.24–17.07.24 1♀, 1♂; **10**, 10.07.2025, 1♀, 3♂; **12**, 16.07.2025, 2♀.

13. *Euthystira brachyptera* (Ocskay, 1826);

Материал: **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 5♀, 3♂; **11**, 15.07.2025, 4♀, 3♂; **12**, 16.07.2025, 2♂.

14. *Myrmeleotettix antennatus* (Fieber, 1853);
Материал: **4**, 18.08.2025, 2♂; **10**, 10.07.2025, 1♂; **11**, 09.10.2025, 1♀.

15. *Oedaleus decorus* (Germar, 1825) – В;

Материал: **3**, 25.07.2025, 4♀, 2♂; **4**, 18.08.2025, 1♀, 1♂; **6**, 20.08.2025, 1♀, 1♂; **7**, 29.07.2024, 3♀; **8**, 14.07.2024, 2♀; **10**, 10.07.2025, 5♀, 2♂; **12**, 16.07.2025, 3♀, 1♂;

16. *Oedipoda caerulescens* (Linnaeus, 1758) – В;

Материал: **3**, 25.07.2025, 1♀, 1♂; **4**, 18.08.2025, 2♀, 1♂; **6**, 20.08.2025, 1♀, 1♂; **7**, 29.07.2024, 1♀; **8**, 05.07.2024–17.07.2024, 2♂; **10**, 22.08.2025, 4♀, 5♂; **12**, 16.07.2025, 4♀, 2♂.

17. *Omocestus haemorrhoidalis* (Charpentier, 1825);

Материал: **4**, 18.08.2025, 1♀; **6**, 20.08.2025, 4♀; **7**, 29.07.2024, 1♀; **5**, 30.08.2025, 4♀, 2♂; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 1♂; **10**, 22.08.2025, 4♀, 1♂.

18. *O. rufipes* (Zetterstedt, 1821);

Материал: ♂; **4**, 18.08.2025, 2♀; **6**, 20.08.2025, 2♂; **10**, 22.08.2025, 2♀.

19. *O. viridulus* (Linnaeus, 1758);

Материал: **6**, 20.08.2025, 1♀; **5**, 30.08.2025, 2♀; **8**, 14.07.2024, 1♂.

20. *O. petraeus* (Brisout de Barneville, 1856);

Материал: **4**, 18.08.2025, 2♀; **6**, 20.08.2025, 1♂; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 1♂; **10**, 22.08.2025, 2♀.

21. *Ramburiella turcomana* (Fischer von Waldheim, 1833) – В;

Материал: **3**, 25.07.2025, 1♀.

22. *Stenobothrus eurasius* (Zubovskii, 1898);

Материал: **1**, 12.06.2025, 2♂.

23. *S. fisheri* (Eversmann, 1848);

Материал: **1**, 12.06.2025, 1♀, 1♂; **8**, 14.07.2024 1♀; **10**, 10.07.2025, 1♀, 1♂.

24. *S. lineatus* (Panzer, 1796);

Материал: **4**, 18.08.2025, 1♀; **7**, 29.07.2024, 1♂; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 5♀, 4♂; **10**, 10.07.2025, 1♀; **11**, 15.07.2025, 1♂; **12**, 16.07.2025, 2♀, 2♂.

25. *S. nigromaculatus* (Herrich-Schäffer, 1840);

Материал: **1**, 12.06.2025, 3♀, 2♂; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 4♀; **12**, 16.07.2025, 1♀.

26. *S. stigmaticus* (Rambur, 1838);

Материал: **1**, 12.06.2025, 1♀, 1♂.

Семейство Gryllidae

27. *Oecanthus pellucens* (Scopoli, 1763) – В;
Материал: **3**, 25.07.2025, 1♀; **10**, 10.07.2025, 1♀, 1♂; **12**, 16.07.2025, 1♀.



Семейство Tettigoniidae

28. *Bicolorana bicolor* (Philippi, 1830);
Материал: **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 3 ♀, 3 ♂;
12, 16.07.2025, 1 ♀.
29. *Conocephalus fuscus* (Fabricius, 1793);
Материал: **4**, 18.08.2025, 2 ♀.
30. *Decticus verrucivorus* (Linnaeus, 1758)
– В;
Материал: **1**, 12.06.2025, 10 ♀, 7 ♂; **7**,
29.07.2024, 1 ♀; **8**, 07.07.2025–14.07.2025, 2 ♀,
3 ♂; **9**, 09.07.2025, 1 ♀; **10**, 10.07.2025, 1 ♀, 1 ♂; **12**,
16.07.2025, 1 ♀.
31. *Gampsocleis glabra* (Herbst, 1786);
Материал: **4**, 18.08.2025, 3 ♂; **7**, 29.07.2024, 1 ♀.
32. *Leptophyes albovittata* (Kollar, 1833);
Материал: **1**, 12.06.2025, 1 ♀; **8**, 14.07.2024,
8 ♀, ♂; **9**, 05.07.2024–17.07.2024, 1 ♂.
33. *Montana eversmanni* (Kittary, 1849);
Материал: **1**, 12.06.2025, 1 ♀, 1 ♂; **10**,
10.07.2025, 1 ♂.
34. *Onconotus laxmanni* (Pallas, 1771) – К;
Материал: **8**, 25.06.2024, 1 ♀, 07.07.2025, 1 ♀.
35. *Pholidoptera griseoptera* (De Geer,
1773);
Материал: **11**, 15.07.2025, 5 ♀, 6 ♂.
36. *Platycleis affinis* (Fieber, 1853) – В;
Материал: **4**, 18.08.2025, 1 ♂; **6**, 20.08.2025,
2 ♀; **10**, 10.07.2025, 11 ♀, 4 ♂; **12**, 16.07.2025, 2 ♀.
37. *P. albopunctata* (Goeze, 1778);
Материал: **1**, 12.06.2025, 1 ♂; **2**, 13.08.2024,
2 ♀, 1 ♂.
38. *P. intermedia* (Serville, 1838) – В;
Материал: **5**, 30.08.2025, 1 ♀; **8**, 14.07.2024.
39. *Poecilimon intermedius* (Fieber, 1853);
Материал: **10**, 10.07.2025, 1 ♀.
40. *Roeseliana roeseli* (Hagenbach, 1822);
Материал: **4**, 18.08.2025, 1 ♀, 1 ♂; **11**,
15.07.2025, 1 ♀.
41. *Saga pedo* (Pallas, 1771) – К;
Материал: **8**, 25.06.2024, 1 ♀, 07.07.2025, 1 ♀.
42. *Tessellana veyseli* (Koçak, 1984) – В;
Материал: **7**, 29.07.2024, 1 ♂, 07.07.2025–
14.07.2025, 1 ♀; **8**, 14.07.2024, 1 ♀, 1 ♂.
43. *Tettigonia caudata* (Charpentier, 1845)
– В.
Материал: **12**, 16.07.2025, 1 ♀.
44. *Tettigonia viridissima* (Linnaeus, 1758)
– В.
Материал: **5**, 30.08.2025, 1 ♀.

Всего было отмечено 44 вида насекомых из изучаемого отряда из 3 семейств – Acrididae,

Gryllidae и Tettigoniidae. Для КР указано 35 видов Прямокрылых, из которых 24 вида относятся к семейству Acrididae, 1 вид – к семейству Gryllidae и 10 видов – к семейству Tettigoniidae. Среди представленных видов 13 из них могут быть потенциальными вредителями сельского хозяйства (*Arcyptera microptera*, *Calliptamus italicus*, *C. barbarus*, *Dociostaurus brevicollis*, *Oedaleus decorus*, *Oedipoda caerulescens*, *Ramburiella turcomana*, *Oecanthus pellucens*, *Decticus verrucivorus*, *Platycleis affinis*, *P. intermedia*, *Tessellana veyseli* и *Tettigonia viridissima*). В ХР было обнаружено 34 вида насекомых из изучаемого отряда, из которых 19 видов относятся к семейству Acrididae, 1 вид – к Gryllidae и 14 видов – к семейству Tettigoniidae. Среди найденных видов 11 могут быть потенциальными вредителями сельского хозяйства (*Calliptamus italicus*, *C. barbarus*, *Dociostaurus brevicollis*, *Oedaleus decorus*, *Oedipoda caerulescens*, *Oecanthus pellucens*, *Decticus verrucivorus*, *Platycleis affinis*, *P. intermedia*, *Tessellana veyseli* и *Tettigonia caudata*) и 2 вида занесены в Красную книгу Саратовской области [12] – *Saga pedo* и *Onconotus laxmanni*.

Фауны биотопов сравнивались методом построения дендрограммы сходства на основе попарного коэффициента Жаккара. Матрица нахождения 63 видов Прямокрылых по биотопам обрабатывалась с помощью компьютерной программы И. С. Плотникова (ЗИН РАН) для WIN-98, группирующей сходные фауны по среднему соседству по качественному (наличие или отсутствие вида в каждом биотопе Саратовской области) признаку. Способ кластеризации на основе матриц оценок общности был единым для всех вариантов расчета. В качестве основной была выбрана дендрограмма сходства, полученная с использованием коэффициента Жаккара с учетом баллов встречаемости 63 видов Прямокрылых на территории Саратовской области (рис. 2).

Исходя из построенной дендрограммы, выделены 4 группы кластеров – А, В, С и D, основанные на сходстве видового состава фауны в связи со схожими условиями обитания. Группа А объединяет степные биотопы из ХР, которые характеризуются ксеро-мезофитными условиями с разнотравно-злаковой и разнотравно-типчачково-тырсовой растительностью. В результате на данных территориях

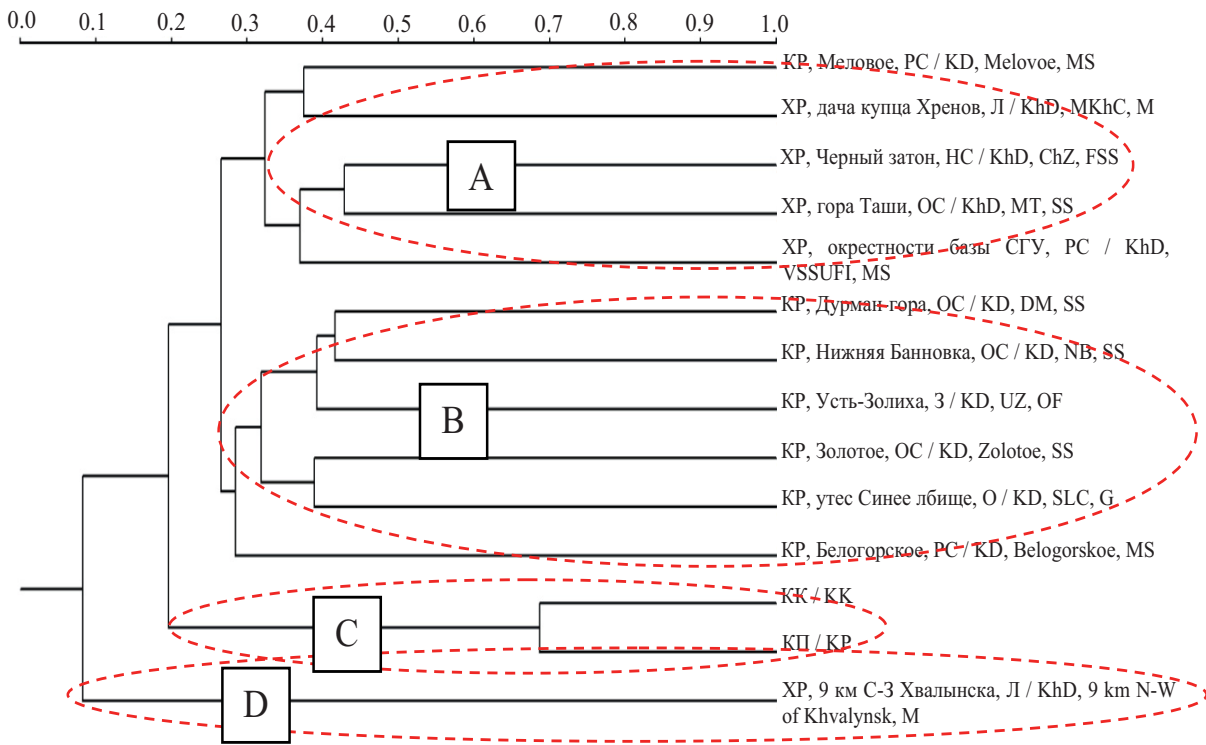


Рис. 2. Дендрограмма видового сходства фаун Прямокрылых различных биотопов Саратовской области: КР – Красноармейский район, ХР – Хвалынский район, КК – Краснокутский район, КП – Краснопартизанский район, РС – разнотравная степь, ОС – остепненный склон, HC – настоящая степь. Буквенные обозначения А, В, С, D – выделенные кластеры

Fig. 2. Dendrogram of Orthoptera species similarity in various biotopes of the Saratov Region: KD – Krasnoarmeysky District, KhD – Khvalynsky District, KK – Krasnokutsky District, KP – Krasnopartizansky District, MS – meadow steppe, SS – steppified slope, FFS – Fescue-Stipa steppe, MKhC – merchant Khrenov's cottage, ChZ – Cherniy zaton, MT – mountain Tashi, VSSUFL – vicinity of the SSU field station, DM – Durman-mountain, NB – Nizhnaya Bannovka, UZ – Ust-Zolikha, SLC – Sinee lbishche cliff. Letters A, B, C, D designate the identified clusters

доминирующей группой видов являются северостепные и степные виды Прямокрылых. Группа Б объединяет степные биотопы КР, для которых свойственны ксерофитные условия с разнотравно-злаковой, разнотравно-полынной растительностью, а также местообитания с разреженной растительностью. Вследствие таких условий на данных территориях преобладают степные и южностепные виды, а также появляются полупустынные представители, которые приспособлены к жизни в этих условиях. Группа В объединяет биотопы из Заволжья, где по сравнению с правым берегом более засушливый климат, под влиянием которого формируются биоценозы, заметно отличающиеся от таковых на правом берегу. В Левобережье представлено большее число южностепных, степных и полупустынных видов, которые способны заселять различные засушливые территории. В группу Г выделен

только один биотоп, стоящий отдельно от всех остальных. Он представлен луговой в ХР, в которой обитают лугово-лесные виды Прямокрылых, предпочитающие мезо-гигрофитные условия и избегающие жизни на открытых территориях, поэтому этот биотоп стоит отдельно от всех остальных на дендрограмме.

В формировании фаун Прямокрылых двух исследованных районов принимали участие 5 зоогеографических элементов различного происхождения (рис. 3).

Наибольшее число родов и видов Прямокрылых относится к Ангарской зоогеографической группе. Также в фауне исследованных районов преобладают средиземноморские виды – это *Calliptamus italicus*, *Doclostaurus brevicollis*, *Decticus verrucivorus* и др. В ХР отмечался представитель палеотропической зоогеографической группы – *Saga pedo*.

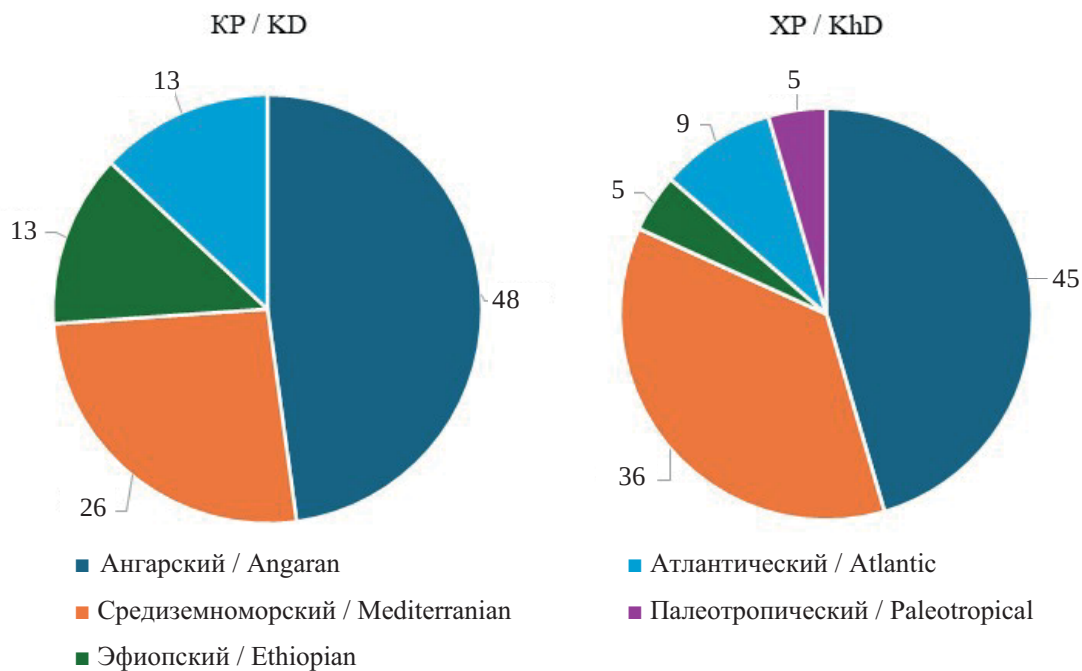


Рис. 3. Зоогеографические элементы фауны Прямокрылых Красноармейского и Хвалынского районов, % (цвет онлайн)

Fig. 3. Zoogeographical elements of Orthoptera fauna of the Krasnoarmeysky and Khvalynsky districts, % (color online)

При сравнении фаунистических комплексов Прямокрылых по распределению зональных группировок было отмечено по-

явление полупустынных видов в КР, а также уменьшение числа северостепных и полизональных видов в этом же районе (рис. 4).

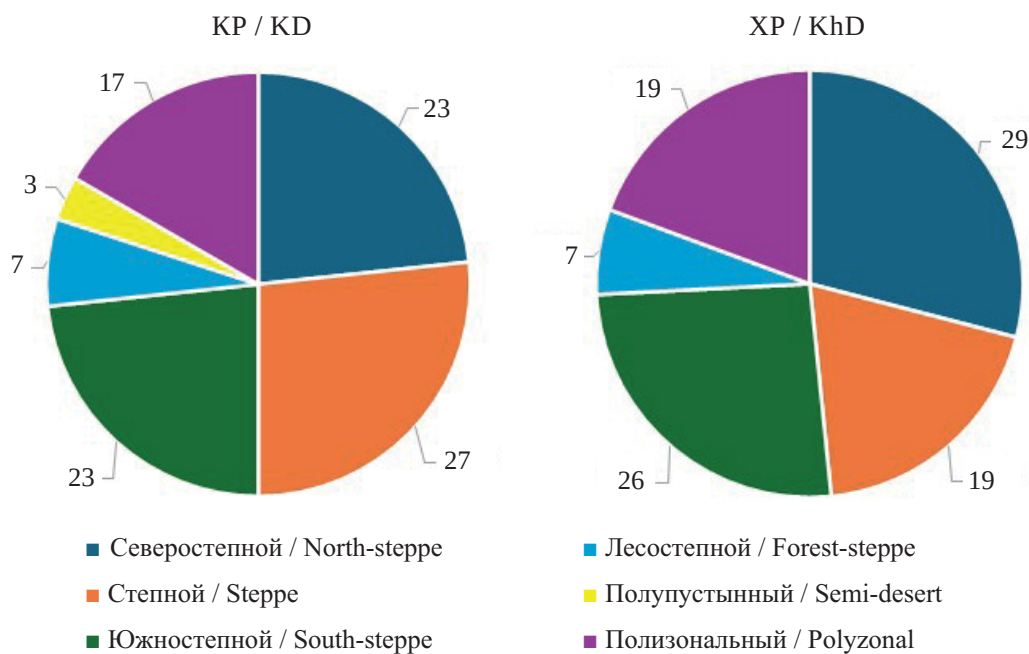


Рис. 4. Распределение зональных группировок Прямокрылых в Красноармейском и Хвалынском районах, % (цвет онлайн)

Fig. 4. Distribution of zonal groupings of Orthoptera in the Krasnoarmeysky and Khvalynsky districts, % (color online)



Однако различия в количестве видов из разных группировок очень незначительны, что не дает возможности говорить о каких-либо значимых изменениях в этом аспекте, в связи с малым расстоянием между изученными районами.

По долготному составу фауны ХР и КР не имеют сильных различий (рис. 5). В них преобладают транспалеаркты, европейско-восточносибирские и европейско-казахстанские виды. Также отмечаются европейско-средне-

сибирские виды (*Stenobothrus fischeri*, *S. nigromaculatus*, *Celes variabilis*, *Tettigonia caudata*), европейско-среднеазиатские (*Glyptobothrus macrocerus*) и казахстанско-западномонгольские виды (*Montana evermanni*). Это объясняется тем, что КР и ХР расположены недостаточно далеко друг от друга, чтобы распределение насекомых с разными ареалами имело сильное различие. Два этих участка в Правобережье заселяют Прямокрылые со сходными типами ареалов.

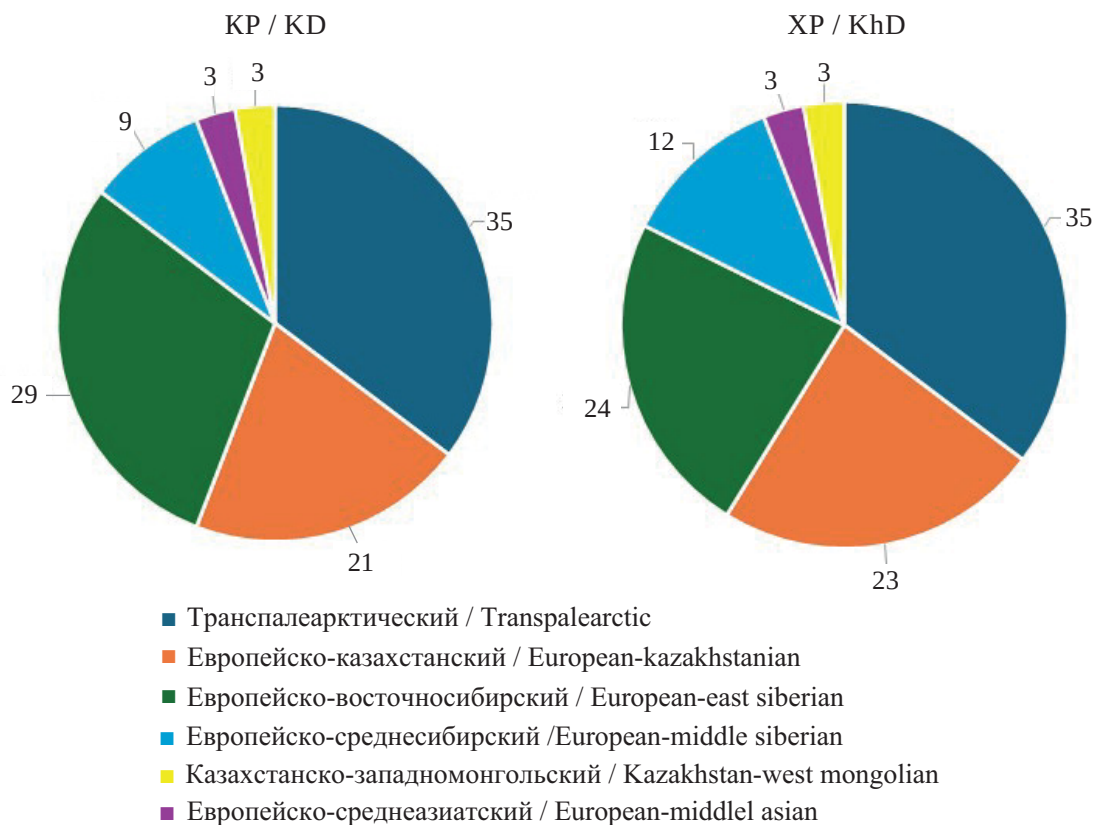


Рис. 5. Структура фауны Красноармейского и Хвалынского районов по долготным характеристикам, % (цвет онлайн)

Fig. 5. Faunal structure of Krasnoarmeysky and Khvalynsky districts based on longitudinal characteristics, % (color online)

Распределение жизненных форм Прямокрылых в двух исследованных районах Саратовской области, расположенных в разных природных зонах, также примерно сходное (рис. 6). В них преобладают различные хортобионты – злаковые и факультативные. Также в каждом районе наблюдались специализированные фитофилы, подпокровные геофилы, открытоживущие геофилы и тамниобионты. В ХР отмечалось большое количество различ-

ных жизненных форм, представителей которых не было найдено в КР. Это фитофильные засадники – *Saga pedo* и микротамниобионты – *Pholidoptera griseoptera*. Такое распределение объясняется наличием среди обследованных участков в лесостепной зоне на севере Саратовской области в ХР биотопов с участками настоящей степи и мезо-гигрофильных луговин, в которых обитают представленные виды.

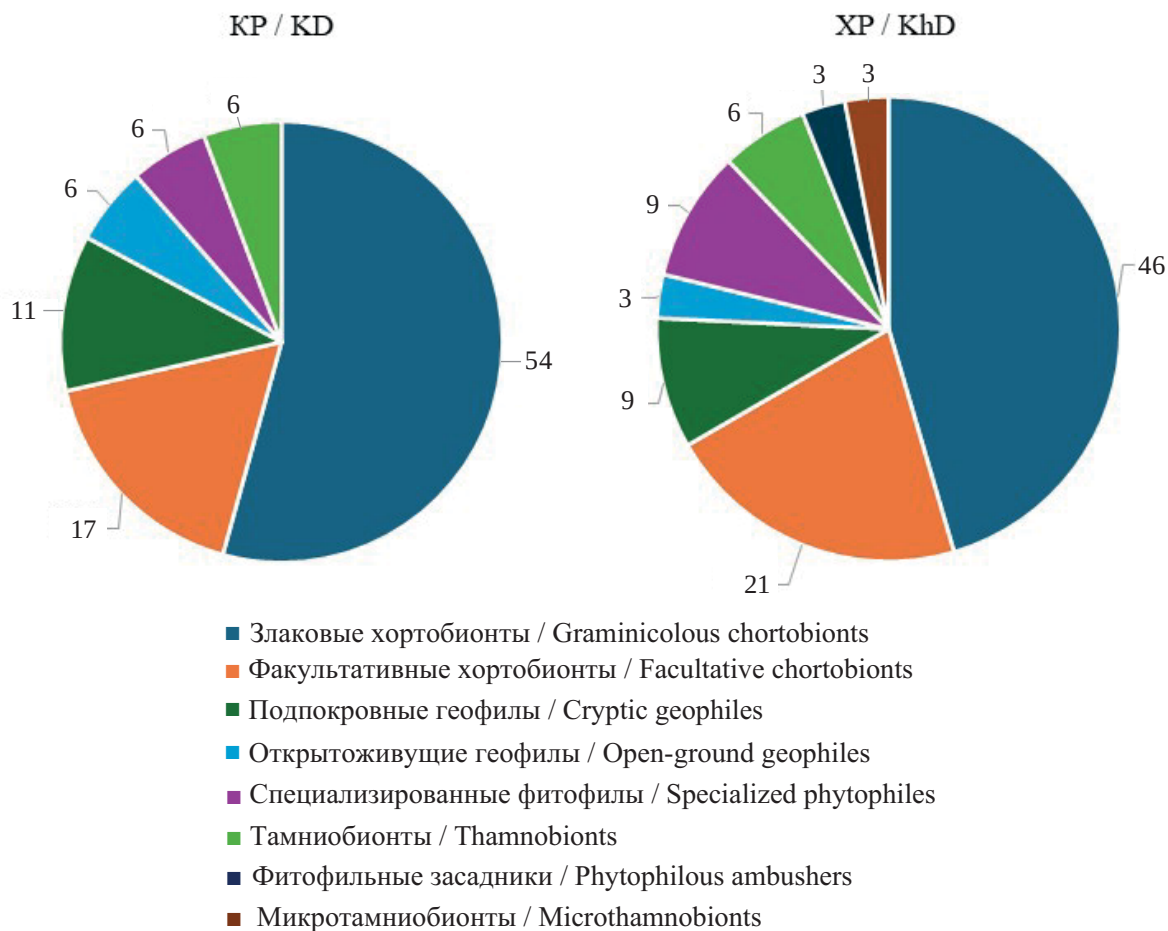


Рис. 6. Распределение жизненных форм Прямокрылых в фауне Красноармейского и Хвалынского районов, % (цвет онлайн)

Fig. 6. Distribution of Orthoptera life forms in Krasnoarmeysky and Khvalynsky districts, % (color online)

Заключение

Исследованная фауна Прямокрылых из КР и ХР включает в себя типичные для степной и лесостепной зоны виды. В ходе работы по изучению видового состава насекомых из данного отряда было обнаружено 44 вида из 3 семейств, из которых в КР было отмечено 35 видов, а в ХР – 34 вида. Из всей исследованной фауны отмечалось 14 потенциальных вредителей сельскохозяйственных культур и 2 представителя из Красной книги Саратовской области. Фауны двух районов слагают Ангарский, Средиземноморский, Атлантический и Эфиопский зоогеографические группы, а в ХР отмечался также представитель Палеотропической фауны. Распределение Прямокрылых по долготным характеристикам и по зональным группировкам не имеет сильных

различий в связи с недостаточным расстоянием между районами исследования. В ходе изучения фаунистических комплексов было обнаружено 8 жизненных форм Прямокрылых, из которых доминирующей в обоих районах были злаковые хортобионты (19 видов – в КР и 15 видов – в ХР) и факультативные хортобионты (6 видов – в КР и 7 видов – в ХР). В ХР отмечались также фитофильные засадники (*Saga pedo*) и микротамниобионты (*Pholidoptera griseoaptera*) из-за наличия на территории этого района иных биотопов по сравнению с КР. Таким образом, фаунистические комплексы Прямокрылых КР и ХР в различных биотопах степной и лесостепной природных зон Саратовской области обладают средней степенью сродства в пределах Правобережья, но сильно отличаются от фауны Левобережья. От всех исследованных территорий в пределах



ХР и КР наиболее сильно отличается фауна луговины в ХР за счет мезо-гигрофильных условий местообитания. Степные участки изученных районов находятся в хорошем состоянии и соответствуют хорошей экологической обстановке, особенно на территории исследованных ООПТ – национальный парк «Хвалынский» и памятник природы «Нижне-Банновский».

Список литературы

1. Aleksanov V., Karmazina I., Shulaev N., Ruchin A., Lukiyanov S., Lobachev E., Nikolaeva A., Volodchenko A., Anikin V., Esin M. Orthoptera and Mantodea in the Continental biogeographical region and adjacent areas of European Russia (data paper) // *Acta Biologica Sibirica*. 2024. № 10. P. 959–983. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13762159>
2. Донских О. Ю., Аникин В. В. Современная фауна Прямокрылых степных и лесостепных ландшафтов Севера Нижнего Поволжья (Саратовская область) // Биологическое разнообразие и современные проблемы экологии : материалы Международной научной конференции, посвящённой 100-летию основания естественно-научного исследовательского института при Воронежском государственном университете (Воронеж, 13–17 октября 2025 г.). Воронеж : Цифровая полиграфия, 2025. С. 219–221.
3. Донских О. Ю. Новые сведения по фауне и экологии Прямокрылых (Insecta: Orthoptera) Саратовской области по материалам сборов 2024–2025 годов // Актуальные проблемы биоразнообразия: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Ульяновск, 24 марта 2026 г.). Чебоксары : ИД «Среда», 2026. С. 30–40. <https://doi.org/10.31483/r-154237>
4. Определитель насекомых европейской части СССР : в 5 т. Т. 1. Низшие, древнекрылые, насекомые с неполным превращением / под ред. Г. Я. Бей-Биенко. М. ; Л. : Наука, 1964. 936 с.
5. Лачининский А. В., Сергеев М. Г., Чильдебаев М. К., Черняховский М. Е., Локвуд Дж. А., Камбулин В. Е., Гаппаров Ф. А. Саранчовые Казахстана, Средней Азии и сопредельных территорий. Ларами : Международная ассоциация Прикладной Акридологии и Университет Вайоминга, 2002. 387 с.
6. Определитель насекомых Европейской части СССР / под ред. С. П. Тарбинского, Н. Н. Плавильщикова. М. ; Л. : Сельхозгиз, 1948. 1127 с.
7. Taxonomic database of the world's grasshoppers, locusts, katydids, crickets, and related insects, 1997. URL: <https://orthoptera.speciesfile.org/> (дата обращения 19.02.2026).
8. Бей-Биенко Г. Я. Прямокрылые – Orthoptera – и Кожистокрылые – Dermaptera // Животный мир

СССР. Т. 3. Зона степей / под ред. С. А. Зернова, Н. Я. Кузнецова. М. ; Л. : Издательство Академии наук СССР, 1950. С. 379–424.

9. Правдин Ф. Н. Экологическая география насекомых Средней Азии. М. : Наука, 1978. 272 с.
10. Сергеев М. Г. Закономерности распространения прямокрылых насекомых Северной Азии. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 238 с.
11. Зиненко Н. В., Корсуновская О. С., Стриганова Б. Р. Прямокрылые и богомолы степных биоценозов Саратовской области // Поволжский экологический журнал. 2005. № 1. С. 12–28.

References

1. Aleksanov V., Karmazina I., Shulaev N., Ruchin A., Lukiyanov S., Lobachev E., Nikolaeva A., Volodchenko A., Anikin V., Esin M. Orthoptera and Mantodea in the Continental biogeographical region and adjacent areas of European Russia (data paper). *Acta Biologica Sibirica*, 2024, no. 10, pp. 959–983. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13762159>
2. Donskikh O. Yu., Anikin V. V. Modern fauna of Orthopterans in the steppe and forest-steppe landscapes of the Northern Lower Volga Region (Saratov Region). In: *Biologicheskoe raznoobrazie i sovremennye problemy ekologii : materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchyonnoy 100-letiyu osnovaniya estestvenno-nauchnogo issledovatel'skogo instituta pri Voronezhskom gosudarstvennom universitete (Voronezh, 13–17 oktyabrya 2025 g.)* [Biological Diversity and Modern Environmental Issues: Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Natural Science Research Institute at Voronezh State University (Voronezh, October 13–17, 2025)]. Voronezh, Digital Polygraphy, 2025, pp. 219–221 (in Russian).
3. Donskikh O. Yu. New information on the fauna and ecology of Orthoptera (Insecta: Orthoptera) in the Saratov Region based on collections made in 2024–2025. *Aktualnye problemy bioraznoobraziya: materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Ulyanovsk, 24 marta 2026 g.)* [Actual Problems of Biodiversity: Proceedings of the III All-Russian scientific and practical conference with International participation (Ulyanovsk, March 24, 2026)]. Cheboksary, ID "Sreda", 2026, pp. 30–40 (in Russian). <https://doi.org/10.31483/r-154237>
4. *Opredelitel' nasekomykh evropeyskoy chasti SSSR: v 5 t. T. 1. Nizshie, drevnekrylye, nasekomye s nepolnym prevrashcheniem. Pod red. G. Ya. Bey-Bienko* [Bey-Bienko G. Ya., ed. Identification Guide to the Insects of the European Part of the USSR: in 5 vols. Vol. 1. Lower Insects, Ancient Insects, and Insects with Incomplete Metamorphosis]. Moscow, Leningrad, Nauka, 1964. 936 p. (in Russian).



5. Lachininsky A. V., Sergeev M. G., Childebaev M. K., Chernyakhovsky M. E., Lockwood J. A., Kambulin V. E., Gapparov F. A. *Saranchovye Kazakhstana, Srednej Azii i sopredel'nykh territorii* [Locusts of Kazakhstan, Central Asia, and Adjacent Territories]. Laramie, International Association of Applied Acridology and the University of Wyoming, 2002. 387 p. (in Russian).
6. *Opredelitel; nasekomykh evropeyskoi chasti SSSR. Pod red. S. P. Tarbinskogo, N. N. Plavilshchikova* [Tarbinsky S. P., Plavilshchikov, N. N., eds. Identification of Insects in the European Part of the USSR]. Moscow, Leningrad, Selkhozgiz, 1948. 1127 p. (in Russian).
7. *Taxonomic database of the world's grasshoppers, locusts, katydids, crickets, and related insects, 1997*. Available at: <https://orthoptera.speciesfile.org> (accessed February 19, 2026).
8. Bey-Bienko G. Ya. Pryamokrylye – Orthoptera – i Kozhistokrylye – Dermaptera. *Zhivotnyi mir SSSR. Pod red. S. A. Zernova, N. Ya. Kuznetsova. T. 3. Zona stepej* [Zernov S. A., Kuznetsov N. Ya., eds. Animal World of the USSR. Vol. 3. Steppe Zone]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1950, pp. 379–424 (in Russian).
9. Pravdin F. N. *Ekologicheskaya geografiya nasekomykh Sredney Azii* [Ecological Geography of Insects in Central Asia]. Moscow, Nauka, 1978. 272 p. (in Russian).
10. Sergeev M. G. *Zakonomernosti rasprostraneniya pryamokrylykh nasekomykh Severnoy Azii* [Patterns of distribution of orthopteran insects in Northern Asia]. Novosibirsk, Nauka. Sib. otd-nie, 1986. 238 p. (in Russian).
11. Zinenko N. V., Korsunovskaya O. S., Striganova B. R. Orthoptera and Praying Mantis of the steppe biocenoses of the Saratov Region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2005, no. 1, pp. 12–28 (in Russian).

Поступила в редакцию 01.05.2026; одобрена после рецензирования 05.05.2026; принята к публикации 11.05.2026
The article was submitted 01.05.2026; approved after reviewing 05.05.2026; accepted for publication 11.05.2026



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 228–233

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 228–233

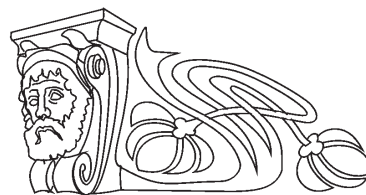
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-228-233>, EDN: ZZZALE

Научная статья

УДК 574.24:581.526.325

Флористическое разнообразие и количественные показатели фитопланктона коренного русла реки Волги в летний период



А. Г. Ардабьева , Т. Н. Зими́на

Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КаспНИРХ), Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, д. 1

Ардабьева Алевтина Георгиевна, кандидат биологических наук, главный специалист лаборатории гидробиологии, ardabeva202@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4577-2914>

Зими́на Татьяна Николаевна, ведущий специалист лаборатории гидробиологии, tanyshka_0704@mail.ru, <https://orcid.org/000-0002-2095-8035>

Аннотация. Проведены исследования таксономического состава микроводорослей коренного русла реки Волги в июне, августе 2024–2025 гг. на 10 станциях (район с. Дубовка-Бундино, с. Каменный Яр, с. Старица, с. Солёное Займище, с. Цаган-Аман, с. Енотаевка, с. Сероглазовка, с. Замьяны, с. Рассвет, с. Икряное). За период исследования было собрано и обработано 40 проб. Флористическое разнообразие фитопланктона за два года было представлено 187 видами рангом ниже рода. Из них в 2024 г. отмечалось 150, в 2025 г. – 148 таксономических единиц, что было выше, чем в предыдущие годы. Основу видового богатства фитопланктона создавали представители трех отделов – диатомовые, зелёные водоросли и цианобактерии. Преобладающей группой являлись диатомовые водоросли (52% общего состава). На долю зелёных водорослей и цианобактерий приходилось 25 и 17%. Индекс флористического сходства показал, что значительных изменений в видовом разнообразии от июня к августу и от года к году не наблюдалось. Количественные показатели фитопланктона в летний период уменьшались от 2024 к 2025 г. и увеличивались от июня к августу. Формировали биомассу и численность в целом за сезон и по отдельным месяцам диатомовые водоросли. Исследование речного фитопланктона позволило выявить районы наибольшего развития фитопланктона: с. Каменный Яр (июнь 2024 г.), с. Замьяны (август 2024 г.), с. Икряное (2025 г.). Индекс сапробности изменялся от 1,6 до 1,8, что соответствует β-мезосапробной зоне (умеренно загрязнённые воды).

Ключевые слова: фитопланктон, видовое разнообразие, биомасса, численность, сапробность

Для цитирования: Ардабьева А. Г., Зими́на Т. Н. Флористическое разнообразие и количественные показатели фитопланктона коренного русла реки Волги в летний период // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 228–233. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-228-233>, EDN: ZZZALE

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Floristic diversity and quantitative indicators of phytoplankton of the indigenous channel of the Volga River in summer

A. G. Ardabieva , T. N. Zimina

Volga-Caspian Branch of the State Research Center of the Russian Federation, Federal State Budgetary Scientific Institution VNIRO (KaspNIRKH), 1 Savushkina St., Astrakhan 414056, Russia

Alevtina G. Ardabieva, ardabeva202@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4577-2914>

Tat'yana N. Zimina, tanyshka_0704@mail.ru, <https://orcid.org/000-0002-2095-8035>

Abstract. Studies of the taxonomic composition of microalgae of the indigenous channel of the Volga River were carried out in June, August 2024–2025 at 10 stations (district of Dubovka-Bundino village, Kamenny Yar village, Staritsa village, Solenoe Zaimishche village, Tsagan-Aman village, Enotaevka village, Seroglazovka village, Zamyany village, Dawn village, Ikyany village ripple). During the study period, 40 samples were collected and processed. The floristic diversity of phytoplankton over two years was represented by 187 species with a rank below the genus. Of these, in 2024 there were 150, in 2025 – 148 taxonomic units, which was higher than in previous years. The phytoplankton's species richness was based on representatives of three phyla: diatoms, green algae, and cyanobacteria. Diatoms were the predominant group (52% of the total composition), while green algae and cyanobacteria accounted for 25% and 17%, respectively. The floristic similarity index showed that there were no significant changes in species diversity from June to August and from year to year. Quantitative indicators



of phytoplankton in the summer period decreased from 2024 to 2025, and increased from June to August. Biomass and abundance were formed for the season and for individual months diatoms. The study of river phytoplankton made it possible to identify the areas of greatest development of phytoplankton: with. Kamenny Yar (June 2024), p. Zamyany (August 2024), p. Ikryanoe (2025). The saprobicity index varied from 1.6 to 1.8, which corresponds to the β - mesopasic zone (moderately polluted waters).

Keywords: phytoplankton, species diversity, biomass, abundance, probity

For citation: Ardabieva A. G., Zimina T. N. Floristic diversity and quantitative indicators of phytoplankton of the indigenous channel of the Volga River in summer. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 228–233 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-2-228-233>, EDN: ZZZALE

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Фитопланктон – главный компонент водных экосистем, первое звено трофической цепи. Он играет значительную роль в функционировании водоемов, наиболее приспособлен к существованию в широком диапазоне параметров состояния окружающей среды, отличается наибольшим видовым разнообразием среди гидробионтов. Именно фитопланктонное сообщество первым реагирует на усиление антропогенного воздействия на экосистему водоема. Водоросли прямо или косвенно служат источником пищи для всех водных животных.

Видовой состав, структура и обилие фитопланктона являются важнейшими показателями, позволяющими оценить трофический уровень и санитарное состояние водных объектов, определить их экологическое состояние

в целом и выявить направление происходящих в них процессов. Кроме того, планктонные водоросли могут служить одним из индикаторов состояния водных экосистем в плане загрязнения и эвтрофирования [1].

Цель работы – оценить изменения качественного и количественного состава фитопланктона, выявить доминирующие организмы коренного русла реки Волги в 2024–2025 гг.

Материалы и методы

Материалом для настоящей работы послужили пробы, собранные в июне, августе-сентябре 2024–2025 гг. в районе коренного русла реки Волги от с. Дубовка до с. Икряное (рис. 1). Исследование фитопланктона за 2024–2025 гг. являлось продолжением мониторинговых исследований фитоценоза коренного русла реки Волги.

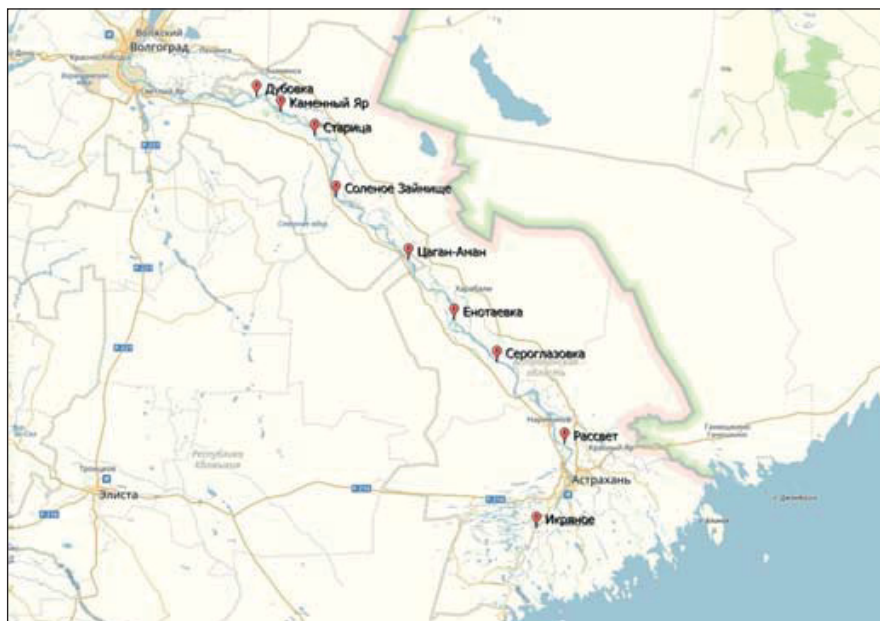


Рис. 1. Схема взятия проб

Fig. 1. Sampling scheme



Пробы отбирались с поверхностного горизонта воды, фиксировались 40 % раствором формалина до конечной концентрации 4%. Обработка материала проводилась в лабораторных условиях по общепринятой методике [1, 2]. Фиксированные пробы (40 проб) концентрировали осадочным методом до 7–10 мл для качественного и количественного учета фитопланктона. Все организмы по возможности определялись до вида, используя определители [3, 4]. Для вычисления биомассы пользовались счётно-объёмным методом [5, 6]. Биомасса рассчитывалась в миллиграммах на кубический метр ($\text{мг}/\text{м}^3$), численность – в миллионах клеток на кубический метр ($\text{млн кл.}/\text{м}^3$). Для сравнения сообществ фитопланктона в разные месяцы и годы сбора вычисляли индекс флористического сходства – индекс Жаккара [7], который рассчитывался по формуле:

$$K_j = c / (a + b - c),$$

где K_j – индекс Жаккара; c – количество общих видов; a – количество видов первого сообщества; b – количество видов второго сообщества.

Сапробиологический анализ проводили методом индикаторных организмов Пантле

и Букка в модификации Сладечека [1]:

$$S = \frac{\sum(sh)}{\sum h},$$

где s – степень сапробности; h – частота встречаемости.

Систематическая принадлежность видов фитопланктона основывается на данных «Algaebase».

Результаты и их обсуждение

Фитопланктон коренного русла реки Волги в летний период за последние два года был представлен 187 видами рангом ниже рода (рис. 2). Из них в 2024 г. зарегистрировано 150, в 2025 г. – 148 таксономических единиц, что было выше, чем в предыдущие годы [8, 9], где их количество варьировало от 108 до 131 вида. Основу видового богатства фитопланктона создавали представители трех отделов – диатомовые, зелёные водоросли и цианобактерии. Особую роль в формировании фитоценоза исследованного района по литературным [8–11] и нашим данным играли диатомовые водоросли, на долю которых в 2024 г. приходилось 52%, в 2025 г. – 51%.

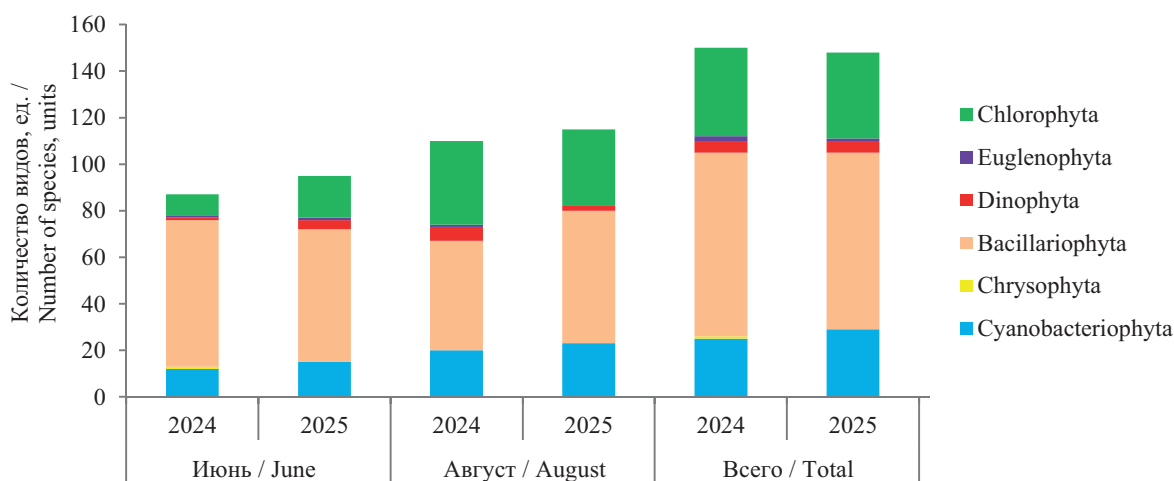


Рис. 2. Количество видов фитопланктона коренного русла реки Волги в летний период (цвет онлайн)

Fig. 2. Number of phytoplankton species in the Volga River bed during the summer (color online)

Далее по мере значимости располагались зелёные водоросли, составляя в оба года по 25%, цианобактерии – 17 и 16% соответственно. Водоросли других отделов (динофитовые, эвгленовые и золотистые) в фитопланктоне реки играли подчиненную роль, их доля

во флористическом спектре была незначительной и варьировала от 1 до 3%.

Увеличение количества видов фитопланктона, как и в прошлые исследования [8, 9], наблюдалось от июня к августу (рис. 3).

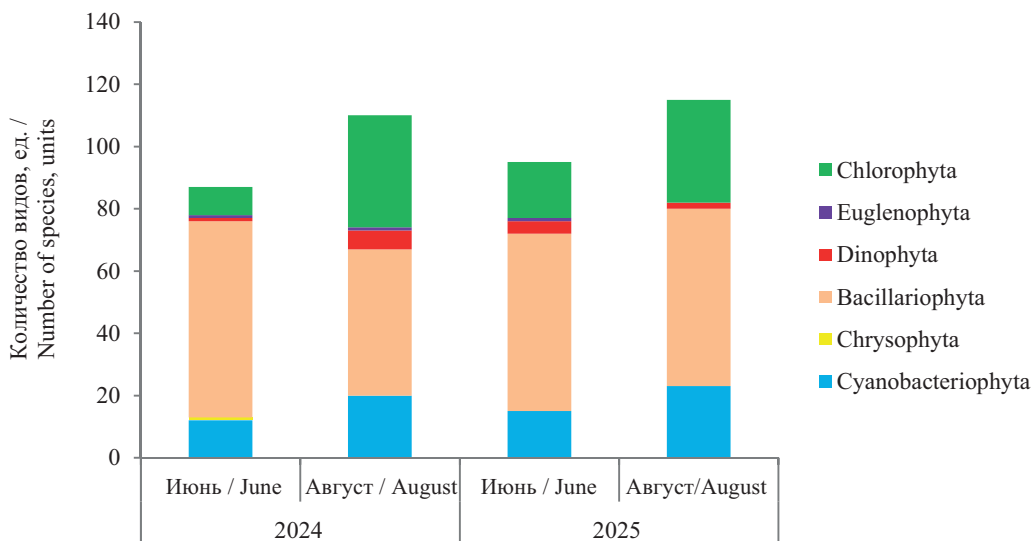


Рис. 3. Таксономический состав фитопланктона коренного русла реки Волги в летний период (цвет онлайн)

Fig. 3. Taxonomic composition of phytoplankton in the main channel of the Volga River in summer (color online)

Рост количества видов от года к году и от месяца к месяцу отмечался, главным образом, в отделах цианобактерий и зеленых водорослей, что связано, по-видимому, с увеличением температуры воды от 17 до 23°C. Число видов диатомовых водорослей в 2024 г. сократилось, но было выше, чем в предыдущих отделах фитопланктона. В 2025 г. количество видов диатомей в летние месяцы было равным.

Анализ видового разнообразия альгофлоры коренного русла реки Волги показал, что межгодовые изменения таксономического состава незначительны. Не наблюдалось и существенных изменений видового разнообразия от июня к августу, что подтверждается индексом Жаккара [12], который показал значительное совпадение между диатомовыми водорослями в июне ($K_j = 0,62$) и августе ($K_j = 0,76$) 2024 и 2025 гг. Степень сходства видов цианобактерий и зеленых в июне за два года составил $K_j = 0,35$, а в августе $K_j = 0,43$ и $K_j = 0,53$ соответственно.

Количественные показатели фитопланктона в летний период уменьшались от 2024 к 2025 г., и увеличивались от июня к августу. Формировали биомассу и численность в целом за сезон и по отдельным месяцам диатомовые водоросли. На их долю приходилось 92 и 69% общей массы, 94 и 78% общей численности соответственно в 2024 и 2025 гг. В июне 2024 г. интенсивная вегетация наблюдалась

среди *Melosira varians* C. Agardh 1827, *Fragilaria virescens* Ralfs 1843, *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch 1860. В 2025 г. к вышеперечисленным видам добавились *Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge 1928 [13]. Далее по значимости шли цианобактерии и зеленые водоросли. Развитие динофитовых и эвгленовых водорослей находилось на низком уровне.

По отношению к июню в августе количественные показатели фитопланктона существенно увеличились: биомасса почти в 4, численность в 10 раз в 2024 г., в 2 и 3 раза в 2025 г. соответственно. Такие изменения в показателях произошли за счет интенсивного развития диатомовых водорослей, главным образом, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979, *S. subsalsum*. Эти два вида составили 90 и 57% биомассы диатомовых, 64 и 38% общей биомассы фитопланктона в 2024 и 2025 гг. В предыдущие годы эти два вида являлись так же доминантами фитопланктона [8, 9]. В августе биомасса цианобактерий и зеленых водорослей по сравнению с июнем выросла, но была ниже таковых величин диатомовых водорослей. Количественные показатели эвгленовых и динофитовых, как и в июне, находились на низком уровне.

Следует отметить, что существенных изменений среди доминирующих видов в исследуемый период и в предыдущие годы не наблюдалось.



Наиболее благоприятные условия для развития фитопланктона в 2024 г. складывались в июне в верхней части, в августе – нижней части коренного русла. В 2025 г. в оба месяца максимальные количественные показатели отмечались в районе с. Икрязное.

Анализ качества вод коренного русла реки Волги показал, что индекс сапробности (1,6–1,8) изменялся на протяжении периода исследования незначительно, что позволило отнести речные воды к β -мезосапробной зоне (класс качества воды третий – умеренно загрязненная) [14].

Заключение

Качественное разнообразие фитопланктона коренного русла реки Волги характеризовалось, как и в прошлые годы, преобладанием диатомовых водорослей на протяжении всего периода исследования. Число видов фитопланктона по месяцам и в целом за период 2024–2025 гг. было выше, чем в предыдущие годы. Существенных изменений видового разнообразия фитопланктона за период исследования не наблюдалось, что подтверждается индексом Жаккара. Основу качественного и количественного состава определяли диатомовые водоросли. Максимальные величины биомассы и численности отмечались в районе с. Каменный Яр (июнь 2024 г.), с. Замьяны (август 2024 г.), с. Икрязное (2025 г.). Индекс сапробности изменялся от 1,6 до 1,8, что соответствует β -мезосапробной зоне (умеренно загрязненные воды).

Список литературы

1. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 317 с.
2. Усачев П. И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона // Тр. ВГБО АН СССР. 1961. Т. 11. С. 411–415.
3. Определитель пресноводных водорослей СССР : в 14 вып. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М. : Советская наука, 1951. 620 с.
4. Еленкин А. А. Синезеленые водоросли СССР. Л. : Изд-во АН СССР, 1938. 984 с.
5. Макарова И. В., Пичкилы Л. О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Ботанический журнал. 1970. Т. 55, № 10. С. 1488–1494.

6. Нестерова Д. А. Расчет среднего веса клеток массовых видов фитопланктона на мелководье северо-западной части Черного моря // Гидробиологический журнал. 1976. Т. 12, № 6. С. 69–72.
7. Розенберг Г. С. Польша Жаккар и сходство экологических объектов // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2012. Т. 21, № 1. С. 190–202.
8. Ардабьева А. Г. Фитоценоз коренного русла реки Волги // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : материалы V Международной науч.-практ. конф. (Феодосия, 19–22 мая 2024 г.). Керчь : КГМТУ, 2024. С. 608–611.
9. Зимина Т. Н., Ардабьева А. Г., Котельников А. В. Особенности развития фитопланктона коренного русла реки Волги // Вестник АГТУ: серия Рыбное хозяйство. 2022. № 4. С. 13–21.
10. Волошко Л. Н. Фитопланктон реки Волги и некоторых основных рукавов ее дельты // Гидробиологический журнал. 1969. Т. 5, № 2. С. 32–39.
11. Егоров С. Н., Ивлиева Л. М., Мироненко О. Е. Состояние планктонных сообществ основного русла р. Волги (от г. Волгограда до с. Замьяны) в весенне-летний период 2005 г. // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР / отв. ред. В. П. Иванов. Астрахань : Изд-во КаспНИРХ, 2006. С. 39–44.
12. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод / под ред. Г. Г. Винберга. Ленинград : АН СССР ; Зоол. ин-т ; Всесоюз. гидробиол. о-во, 1974. 60 с.
13. Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway, 2026. <http://www.algaebase.org>
14. Sládeček V. The future of the saprobity system // Hydrobiologia. 1965. Vol. 25, № 3. P. 518–537.

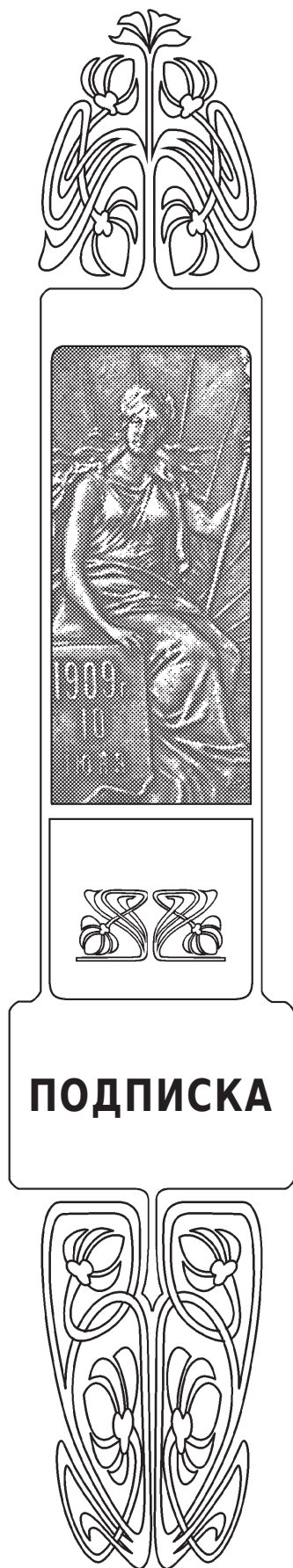
References

1. Abakumov V. A. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Guide to Hydrobiological Monitoring of Freshwater Ecosystems]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992. 317 p. (in Russian).
2. Usachev P. I. Quantitative method of collecting and processing phytoplankton. *Proceedings of the VGBO of the USSR Academy of Sciences*, 1961, vol. 11, pp. 411–415 (in Russian).
3. *Opredelitel presnovodnykh vodorosley SSSR: v 14 vyp. Vyp. 4. Diatomovye vodorosli* [Key to Freshwater Algae of the USSR: in 14 iss. Iss. 4. Diatoms]. Moscow, Sovetskaya nauka, 1951. 620 p. (in Russian).
4. Elenkin A. A. *Sinezelenye vodorosli SSSR* [Blue-Green Algae of the USSR]. Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1938. 984 p. (in Russian).
5. Makarova I. V., Pichkily L. O. On some issues of the



- methodology for calculating phytoplankton biomass. *Botanical Journal*, 1970, vol. 55, no. 10, pp. 1488–1494 (in Russian).
6. Nesterova D. A. Calculation of the average cell weight of common phytoplankton species in shallow waters of the northwestern Black Sea. *Hydrobiological Journal*, 1976, vol. 12, no. 6, pp. 69–72 (in Russian).
 7. Rosenberg G. S. Paul Jacquard and the similarity of ecological objects. *Samara Luka: Problems of Regional and Global Ecology*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 190–202 (in Russian).
 8. Ardabyeva A. G. Phytocenosis of the native bed of the Volga River. *Innovative Directions for the Integration of Science, Education and Production: Proceedings of the V International scientific and practical conf. (Feodosia, May 19–22, 2024)*. Kerch, Kerch State Marine Technological University Publ., 2024, pp. 608–611 (in Russian).
 9. Zimina T. N., Ardabyeva A. G., Kotelnikov A. V. Features of phytoplankton development in the bed of the Volga River. *Bulletin of ASTU: Fisheries series*, 2022, no. 4, pp. 13–21 (in Russian).
 10. Voloshko L. N. Phytoplankton of the Volga River and some main branches of its delta. *Hydrobiological Journal*, 1969, vol. 5, no. 2, pp. 32–39 (in Russian).
 11. Egorov S. N., Ivlieva L. M., Mironenko O. E. State of plankton communities of the main channel of the Volga River (from Volgograd to Zamyany village) in the spring-summer period of 2005. In: *Rybokhozayistvennyye issledovaniya na Kaspii: Rezultaty NIR. Pod red. V. P. Ivanov* [Ivanov V. P., ed. Fishery Research in the Caspian Sea: Research results]. Astrakhan, Caspian Fisheries Research Institute Publ., 2006, pp. 39–44 (in Russian).
 12. Makrushin A. V. *Biologicheskiy analiz kachestva vod. Pod red. G. G. Vinberg* [Vinberg G. G., ed. Makrushin A. V. Biological analysis of water quality]. Leningrad, USSR Academy of Sciences, Zoological Institute, All-Union Hydrobiological Society Publ., 1974. 60 p. (in Russian).
 13. Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase. World-wide electronic publication*. National University of Ireland, Galway, 2026. <http://www.algaebase.org>
 14. Sládeček V. The future of the saprobity system. *Hydrobiologia*, 1965, vol. 25, no. 3, pp. 518–537.

Поступила в редакцию 10.03.2026; одобрена после рецензирования 20.05.2026; принята к публикации 22.05.2026
The article was submitted 10.03.2026; approved after reviewing 20.05.2026; accepted for publication 22.05.2026



Подписка на печатную версию

Подписной индекс издания 36013

Оформить подписку на печатную версию
можно в интернет-каталоге
ГК «Урал-Пресс» (ural-press.ru)

Журнал выходит 4 раза в год
Цена свободная

Электронная версия журнала находится
в открытом доступе (ichbe.sgu.ru)

Адрес Издательства

Саратовского университета (редакции):

410012, Саратов, Астраханская, 83

Тел.: +7 (845-2) 51-29-94, 51-45-49, 52-26-89

Факс: +7 (845-2) 27-85-29

E-mail: publ@sgu.ru, izdat@sgu.ru

Адрес редколлегии серии:

410012, Саратов, Астраханская, 83,

СГУ имени Н. Г. Чернышевского,
биологический факультет

Тел./факс: +7 (845-2) 22-51-38

E-mail: ichbe-sgu@yandex.ru

Website: <https://ichbe.sgu.ru>



ISSN 1816-9775 (Print). ISSN 2541-8971 (Online)
Известия Саратовского университета. Новая серия.
Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Том 26, выпуск 2

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА Новая серия

- Серия: Акмеология образования. Психология развития
- Серия: История. Международные отношения
- Серия: Математика. Механика. Информатика
- Серия: Науки о Земле
- Серия: Социология. Политология
- Серия: Физика
- Серия: Филология. Журналистика
- Серия: Философия. Психология. Педагогика
- Серия: Химия. Биология. Экология**
- Серия: Экономика. Управление. Право

