

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

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия

Серия: Химия. Биология. Экология

2025

Том 25

Выпуск 4



IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY
CHEMISTRY. BIOLOGY. ECOLOGY

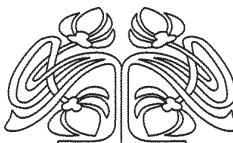


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

ИЗВЕСТИЯ

Серия Химия. Биология. Экология, выпуск 4

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



Научный журнал
2025 Том 25

ISSN 1816-9775 (Print)

ISSN 2541-8971 (Online)

Издается с 2005 года

СОДЕРЖАНИЕ

Научный отдел

Химия

- Вахрушина В. А., Ибрагимова Д. Н. Синтез и биологическая активность соединений на основе 4-гидроксикумарина 368
Коржаков А. А., Ларина М. В., Пакальник В. В., Махов С. В., Богатырев Д. М., Иванова Е. А., Машьянова Л. В. Исследование влияния параметров процесса соосаждения на физико-химические характеристики прекурсора катодного материала NCM811 375
Тимонова Е. Р., Сярдина А. В., Крайнова Т. А., Маринина А. М., Неврюева Н. В., Смирнова Т. Д. Флуориметрическое определение глицина с помощью комплексов ионов меди с ципрофлоксацином 385
Шарапова Е. К., Емельянов О. Э., Амелин В. Г., Третьяков А. В. Выявление фальсификации икры рыб методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой 393
Матвеев А. А., Гаркушин И. К., Сухаренко М. А. Трёхкомпонентная взаимная система из фторидов и вольфраматов натрия и стронция 406

Биология

- Липатов Н. Н., Величко Н. С., Сигида Е. Н., Федоненко Ю. П. Разнообразие ризосферных бактерий-галофитов береговой полосы оз. Эльтон 416
Болдырев В. А., Нющенко Е. А., Степанов М. В. Дополнение к сводке «Флора Нижнего Поволжья» класса однодольные Typhaceae – Hydrocharitaceae (по системе Энглера) по материалам гербария СГУ (SARAT) 422
Пархоменко А. С., Павленко К. С., Епифанов В. С., Ефименко С. Ф., Гребенюк Л. В., Скапцов М. В. Оптимизация методики пробоподготовки и выявление возможности использования разных типов растительного материала двух видов *Colchicum* (*Colchicaceae*) в проточной цитометрии 437
Кайбелева Э. И., Юдакова О. И. Апомиксис у *Anthoxanthum nitens* и *A. repens* (*Poaceae* L.) флоры Саратовской области 447

Экология

- Павлова Ю. А., Дьякова Н. А. Экологическая оценка загрязнения сим-триазиновыми пестицидами лекарственного растительного сырья агроценозов Ростовской области 454
Епифанов В. С., Кондратьева А. О., Касаткин М. Ю., Кашин А. С. Изменчивость формы отгиба листочка околоцветника у некоторых видов *Colchicum* s.l. Европейской России 463
Смолякова Д. С., Мельников Е. Ю., Слесарева Е. А., Поликарпова Н. В. Итоги исследований осеннеого пролёта птиц семейства дроздовые (*Turdidae*) в долине реки Паз заповедника «Пасвик» 469

Приложение

Personalia

- Забалуев А. П., Терешкова Т. В. Памяти Анастасии Андреевны Чигуряевой. К 120-летию со дня рождения

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 Международную базу данных 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 17.12.2025.

Подписано в свет 25.12.2025.

Выход в свет 25.12.2025.

Формат 60 × 84 1/8.

Усл. печ. л. 13,487 (14,5).

Тираж 100 экз. Заказ 115-Т.

Отпечатано в типографии

Саратовского университета.

Адрес типографии:

410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2025

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 редакцией, не возвращаются.

Адреса для переписки с редакколлегией 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

- Vakhrushina V. A., Ibragimova D. N.** Synthesis and biological activity of compounds based on 4-hydroxycoumarin 368

- Korzhakov A. A., Larina M. V., Pakalnis V. V., Makhov S. V., Bogatyrev D. M., Ivanova E. A., Mashyanova L. V.** Study of the influence of co-precipitation process parameters on the physicochemical characteristics of the precursor of the cathode material NCM811 375

- Timonova E. R., Syardina A. V., Krainova T. A., Marinina A. M., Nevryueva N. V., Smirnova T. D.** Fluorimetric determination of glycine using copper ion complexes with ciprofloxacin 385

- Sharapova E. K., Emelyanov O. E., Amelin V. G., Tretyakov A. V.** Detection of adulteration of fish caviar by inductively coupled plasma mass spectrometry 393

- Matveev A. A., Garkushin I. K., Sukharensko M. A.** A three-component reverse system of sodium and strontium fluorides and toluomates 406

Biology

- Lipatov N. N., Velichko N. S., Sigida E. N., Fedonenko Yu. P.** Diversity of rhizosphere bacteria of halophytes of the coastal strip of lake Elton 416

- Boldyrev V. A., Nyushchenko E. A., Stepanov M. V.** Addition to the summary “Flora of the Lower Volga Region” of the class of Liliopsida Typhaceae – Hydrocharitaceae (according to the Engler system) based on the materials of the herbarium of the SARAT State University 422

- Parkhomenko A. S., Pavlenko K. S., Epifanov V. S., Efimenko S. F., Grebenyuk L. V., Skaptsov M. V.** Optimization of sample preparation technique and the possibility of using different types of plant material of two species of the genus *Colchicum* (Colchicaceae) in flow cytometry 437

- Kaybeleva E. I., Yudakova O. I.** Apomixis in *Anthoxanthum nitens* and *A. repens* (Poaceae L.) in the Saratov region flora 447

Ecology

- Pavlova Yu. A., Dyakova N. A.** Ecological assessment of contamination of agroce-noses of Rostov region with sim-triazine pesticides of medicinal raw materials 454

- Epifanov V. S., Kondratieva A. O., Kasatkin M. Yu., Kashin A. S.** Variability of tepal's bend shape in some *Colchicum* s.l. species of European Russia 463

- Smolyakova D. S., Mel'nikov E. Yu., Slesareva E. A., Polikarpova N. V.** The results of studies of the autumn flight of birds of the thrush family (Turdidae) in the valley of the Paz River of the Pasvik Nature Reserve 469

Appendix

Personalia

- Zabaluyev A. P., Tereshkova T. V.** In memory of Anastasiya Andreevna Chiguryaeva. On her 120th anniversary 477

**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)

Ларинова 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; Питермартицбург, ЮАР)

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

Позднякова Наталья 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. Shipovskay (Saratov, Russia)

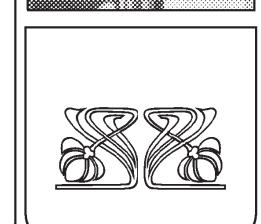
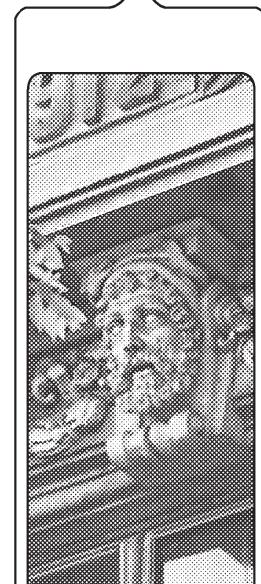
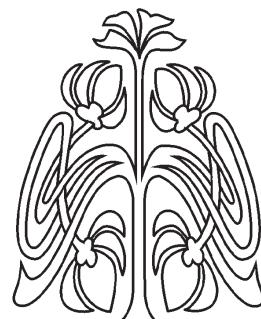
Khidmet S. Shikhaliyev (Voronezh, Russia)

Sergey N. Shtykov (Saratov, Russia)

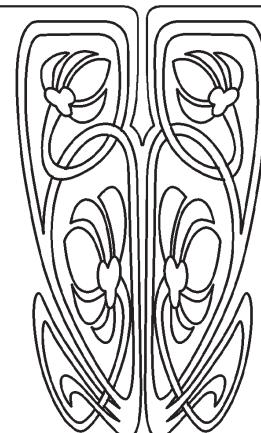
Sergey Ju. Shchyogolev (Saratov, Russia)

Olga I. Yudakova (Saratov, Russia)

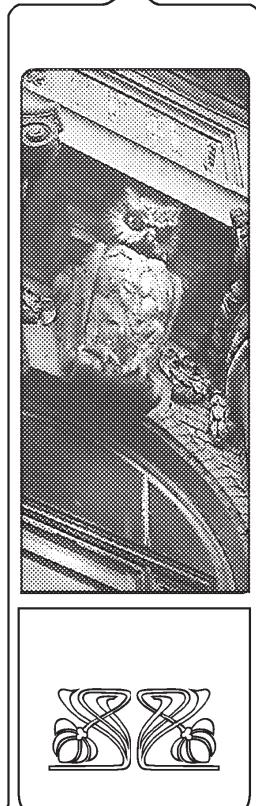
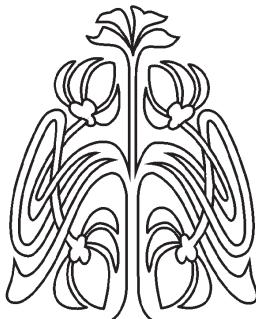
Vladimir M. Zakharov (Moscow, Russia)



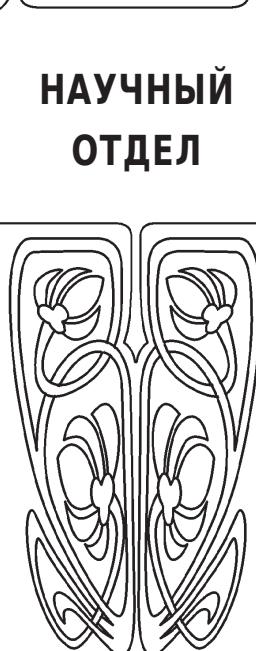
**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**



ХИМИЯ



НАУЧНЫЙ ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 368–374

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 368–374
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-368-374>
EDN: DHFZLQ

Научная статья
УДК 547.814.5

Синтез и биологическая активность соединений на основе 4-гидроксикумарины

В. А. Вахрушина , Д. Н. Ибрагимова

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

Вахрушина Виктория Александровна, студент Института химии, vahruschinaviktoria@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3193-0871>

Ибрагимова Диана Нуржановна, кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биоорганической химии Института химии, kumargalieva.diana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8196-7587>

Аннотация. В настоящее время синтез кислородсодержащих гетероциклических соединений, содержащих конденсированную систему бензольного ядра с пироновым циклом, представителем которых является 4-гидроксикумарин (4-гидрокси-2Н-хромен-2-он), является очень важным, в связи с их широким спектром биологической активности. Нам представилось интересным проведение реакций 1,5-дикарбонильных соединений на основе 4-гидроксикумарины с N-нуклеофилами, как с фундаментальной точки зрения, так и с позиции практического применения полученных продуктов. Взаимодействие 4-гидрокси-3-(3-оксо-1-арил-3-(4-аминофенил)пропил)-2Н-хромен-2-онов с гидразин гидратом при нагревании в среде изопропилового спирта привело к образованию продуктов нуклеофильной атаки карбонильных групп ациклического и кумаринового фрагментов субстрата – 3-(3-(4-аминофенил)-1-арил-3-гидразинилиденпропил)-4-гидразинилиденхроман-2-онов с хорошими выходами. В аналогичной реакции с 5-амино-2-метил-1,3-тиазолом в этиловом спирте получены 3-(3-(4-аминофенил)-1-арил-3-((2-метилтиазол-5-ил)имино)пропил)-4-гидрокси-2Н-хромен-2-оны – результаты атаки реагента карбонильной группы ациклического фрагмента субстрата. Состав и строение полученных соединений были установлены на основании данных элементного анализа, ИК- и ЯМР-спектроскопии. Также нами был проведен виртуальный скрининг биологической активности полученных соединений в программе PASS Online, который выявил высокую вероятность проявления ингибиторной активности всех продуктов в отношении β -глюкуронидазы. Из чего следует, что все полученные нами соединения могут быть перспективными в профилактике раковых опухолей. Дополнительно осуществлён молекулярный докинг, показавший, что полученные нами продукты потенциально лучшие ингибиторы β -глюкуронидазы, чем препарат сравнения – скополетин.

Ключевые слова: хромен-2-он, 4-гидроксикумарин, N-нуклеофил, биологическая активность, β -глюкуронидаза, скополетин

Для цитирования: Вахрушина В. А., Ибрагимова Д. Н. Синтез и биологическая активность соединений на основе 4-гидроксикумарины // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 368–374. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-368-374>, EDN: DHFZLQ

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



Article

Synthesis and biological activity of compounds based on 4-hydroxycoumarin

V. A. Vakhrushina[✉], D. N. Ibragimova

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

Victoria A. Vakhrushina, vahrushinaviktoria@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3193-0871>

Diana N. Ibragimova, kumargalieva.diana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8196-7587>

Abstract. Currently, the synthesis of oxygen-containing heterocyclic compounds containing a fused benzene ring system with a pyrone cycle, represented by 4-hydroxycoumarin (4-hydroxy-2H-chromen-2-one), is of great importance due to their broad spectrum of biological activity. We found it interesting to conduct reactions of 1,5-dicarbonyl compounds based on 4-hydroxycoumarin with N-nucleophiles, both from a fundamental point of view and from the perspective of the practical application of the resulting products. The interaction of 4-hydroxy-3-(3-oxo-1-aryl-3-(4-aminophenyl)propyl)-2H-chromen-2-ones with hydrazine hydrate upon heating in isopropyl alcohol led to the formation of products of nucleophilic attack on the carbonyl groups of the acyclic and coumarin fragments of the substrate, yielding 3-(3-(4-aminophenyl)-1-aryl-3-hydrazinylidenepronyl)-4-hydrazinylidenechroman-2-ones with good yields. In a similar reaction with 5-amino-2-methyl-1,3-thiazole in ethanol, 3-(3-(4-aminophenyl)-1-aryl-3-((2-methylthiazol-5-yl)imino)propyl)-4-hydroxy-2H-chromen-2-ones have been obtained – the result of the reagent attacking the carbonyl group of the acyclic fragment of the substrate. The composition and structure of the obtained compounds have been established based on elemental analysis, IR, and NMR spectroscopy data. We also performed a virtual screening of the biological activity of the obtained compounds in the PASS Online program, which revealed a high probability of all products exhibiting inhibitory activity against β -glucuronidase. This suggests that all the compounds we have obtained may be promising in the prevention of cancerous tumors. Additionally, molecular docking has been performed, showing that the products we have obtained are potentially better inhibitors of β -glucuronidase than the reference drug, scopoletin.

Keywords: chromene-2-one, 4-hydroxycoumarin, N-nucleophile, biological activity, β -glucuronidase, scopoletin

For citation: Vakhrushina V. A., Ibragimova D. N. Synthesis and biological activity of compounds based on 4-hydroxycoumarin. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 368–374 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-368-374>, EDN: DHFZLQ

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

Введение

Соединения, имеющие в своем составе хромен-2-оновый (кумариновый) фрагмент, который является ключевым составляющим многих природных и синтетических объектов, обладают высокой биологической активностью.

Широкая вариативность соединений на основе кумарина и его производных позволила создать ряд усовершенствованных и нетоксичных фармацевтических препаратов, обладающих антикоагулянтным [1], антиоксидантным [2], антибактериальным [3], противоопухолевым [4], антивирусным действием [5], а также ингибирующим ВИЧ-интегразу действием [6].

Внедрение различных азануклеофильных реагентов в структуру органических соединений предполагает не только дополнительную функционализацию с возможной последующей гетероциклизацией, но и расширение ряда их биологической активности за счет появления новых фармакофорных фрагментов в молекуле.

В настоящей работе изучено взаимодействие 4-гидрокси-3-(3-оксо-1-арил-3-(4-аминофенил)пропил)-2H-хромен-2-онов

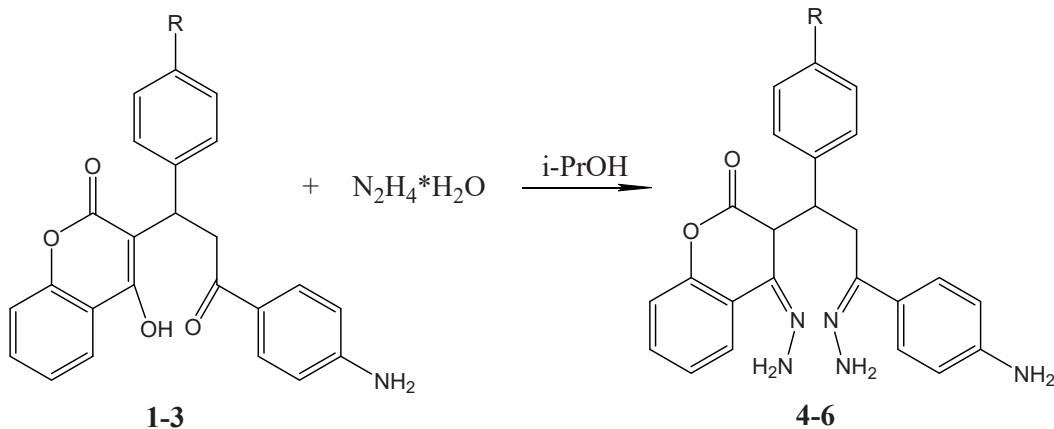
с N-нуклеофилами, а также исследована потенциальная биологическая активность полученных соединений.

Материалы и методы

Элементный анализ осуществлен на CHNS анализаторе Elementar Vario Micro cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия). Спектры ЯМР ^1H (400 МГц) регистрировались на спектрометре Varian 400 (Varian (Agilent), США) в DMSO-d_6 , внутренний стандарт – ТМС. Ход реакции контролировали методом ТСХ на пластинках Alugram[®] Sil G UV254 (MachereyNagel GmbH & Co. KG, Германия), элюент – гексан:этилацетат:ацетон (1,5:0,5:0,5).

Методика синтеза 3-(3-(4-аминофенил)-1-арил-3-гидразинилиденпропил)-4-гидразинилиденхроман-2-онов (4-6)

В круглодонную колбу объемом 100 мл, снабженную обратным холодильником, помещают 0,47 ммоль 4-гидрокси-3-(3-оксо-1-арил-3-(4-аминофенил)пропил)-2H-хромен-2-онов (1-3), 1,00 ммоль гидразин гидрата и 20 мл изопропилового спирта. Смесь кипятят \approx 96 часов. По окончании реакции растворитель выпаривают, кристаллы промывают холодным изопропиловым спиртом, сушат на воздухе и в эксикаторе.



$\text{R} = \text{N}(\text{CH}_3)_2$ (1, 4), Br (2, 5), Cl (3, 6)

3-(3-(4-Аминофенил)-1-(4-диметиламинофенил)-3-гидразинилиденпропил)-4-гидразинилиденхроман-2-он (4)

Выход 65%, $T_{\text{пл.}}$ 189–190°C. Спектр ИК, ν , cm^{-1} : ушир. 1601 (C=O , лакт. + C=N), 1177 (C-O-C), 1443 (CH_3), 2912, 2882 (CH), 1362, 2802 (N-CH_3), 3365, 3435 (NH_2). $\text{C}_{26}\text{H}_{28}\text{O}_2\text{N}_6$. Найдено, %: С 68.70; Н 6.55; Н 18.52. Вычислено, %: С 68.40; Н 6.18; Н 18.41.

3-(3-(4-Аминофенил)-1-(4-бромфенил)-3-гидразинилиденпропил)-4-гидразинилиденхроман-2-он (5)

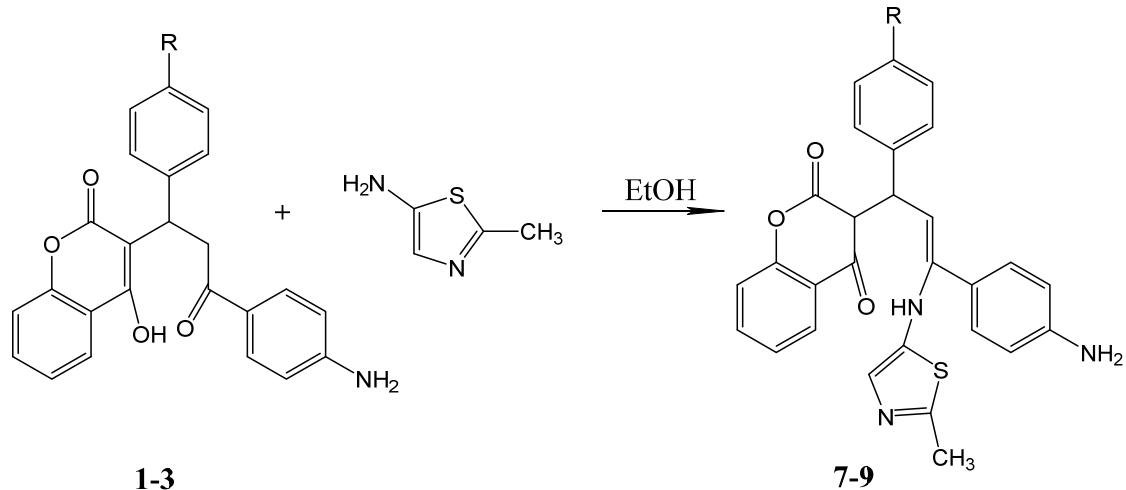
Выход 74%, $T_{\text{пл.}}$ 189–190°C. Спектр ИК, ν , cm^{-1} : ушир. 1611 (C=O , лакт. + C=N), 1177 (C-O-C), 2921, 2860 (CH), 3355, 3460 (NH_2), 1107

(C-Br). $\text{C}_{24}\text{H}_{22}\text{BrN}_5\text{O}_2$. Найдено, %: С 58.53; Н 4.97; Н 14.54. Вычислено, %: С 58.55; Н 4.50; Н 14.22.

3-(3-(4-Аминофенил)-1-(4-хлорфенил)-3-гидразинилиденпропил)-4-гидразинилиденхроман-2-он (6)

Выход 52%, $T_{\text{пл.}}$ 185–186°C. Спектр ИК, ν , cm^{-1} : 1623 (C=O лакт.), 1604 (C=N), 1177 (C-O-C), 2948, 2858 (CH), 3352, 3434 (NH_2), 1107 (C-Cl). $\text{C}_{24}\text{H}_{22}\text{ClN}_5\text{O}_2$. Найдено, %: С 64.80; Н 4.52; Н 15.20. Вычислено, %: С 64.36; Н 4.95; Н 15.64.

Методика синтеза 3-(3-(4-аминофенил)-1-арил-3-((2-метилтиазол-5-ил)имино)пропил)-4-гидрокси-2Н-хромен-2-онов (7-9)



$\text{R} = \text{N}(\text{CH}_3)_2$ (1, 7), Br (2, 8), Cl (3, 9)

В круглодонную колбу объемом 50 мл, снабженную обратным холодильником, помещают 0,22 ммоль 4-гидрокси-3-(3-оксо-1-арил-3-(4-аминофенил)пропил)-2Н-хромен-2-онов (1-3), 0,24 ммоль 5-амино-2-метил-

1,3-тиазола и 20 мл этилового спирта. Смесь кипятят \approx 120 часов. По окончании реакции растворитель выпаривают, кристаллы промывают холодным этиловым спиртом, сушат на воздухе и в эксикаторе.



3-(3-(4-Аминофенил)-1-(4-диметиламинофенил)-3-((2-метилтиазол-5-ил)имино)пропил)-4-гидрокси-2Н-хромен-2-он (7)

Выход 87%, $T_{\text{пл.}}$ 185–186°C. Спектр ЯМР ^1H , δ, м.д. (DMSO-d₆): 1.52–1.62 (д.д., 1H, CH-Ar), 2.16 (с., 3H, CH₃ (тиазол)), 2.99 (с., 6H, N-CH₃), 3.74 (д., 1H, CH (кумарин)), 6.19 (д., 1H, CH), 6.61 (с., 1H, CH (тиазол)), 6.93 (с., 2H, NH₂), 7.01–7.79 (м., 12H, CH_{ap.}), 8.22 (с., 1H, NH). C₃₀H₂₈O₃N₄S. Найдено, %: C 68.50; H 5.39; N 10.55. Вычислено, %: C 68.68; H 5.38; N 10.68.

3-(3-(4-Аминофенил)-1-(4-бромфенил)-3-((2-метилтиазол-5-ил)имино)пропил)-4-гидрокси-2Н-хромен-2-он (8)

Выход 81%, $T_{\text{пл.}}$ 189–190°C. Спектр ЯМР ^1H , δ, м.д. (DMSO-d₆): 1.53–1.63 (кв., 1H, CH₂), 2.16 (с., 3H, CH₃), 2.31–2.40 (кв., 1H, CH₂), 2.98–3.07 (м., 1H, CH-Ar), 4.34 (д., 1H, CH), 6.16 (с., 2H, NH₂), 6.56 (с., 1H, CH (тиазол)), 6.59–7.92 (м., 12H, CH_{ap.}). C₂₈H₂₂BrN₃O₃S. Найдено, %: C 60.39; H 4.21; N 7.12. Вычислено, %: C 60.01; H 3.96; N 7.50.

3-(3-(4-Аминофенил)-1-(4-хлорфенил)-3-((2-метилтиазол-5-ил)имино)пропил)-4-гидрокси-2Н-хромен-2-он (9)

Выход 80%, $T_{\text{пл.}}$ 187–188°C. Спектр ЯМР ^1H , δ, м.д. (DMSO-d₆): 2.18 (с., 3H, CH₃), 6.15 (д., 1H, CH (енамин)), 6.72 (с., 1H, CH (тиазол)), 7.50 (с., 2H, NH₂), 8.71 (с., 1H, NH), 6.57–7.87 (м., 12H, CH_{ap.}), 2.79 (д., 1H, CH (кумарин)), 2.97 (т., 1H, CH-Ar), 3.03 (д., 1H, CH-Ar), 9.65 (с., 1H, OH). C₂₈H₂₂ClN₃O₃S. Найдено, %: C 65.42; H 3.99; N 8.51. Вычислено, %: C 65.17; H 4.30; N 8.14.

Время синтеза соединений **4-9** оказалось довольно велико, в связи с чем в наших дальнейших исследованиях будет осуществлен поиск оптимальных условий проведения данных реакций.

Результаты и их обсуждение

Нами были проведены реакции взаимодействия 4-гидрокси-3-(3-оксо-1-арил-3-(4-аминофенил)пропил)-2Н-хромен-2-онов с N-нуклеофилами (гидразин гидрат, 5-амино-2-метил-1,3-тиазол), в результате которых были получены соответствующие 3-(3-(4-аминофенил)-1-арил-3-гидразинилиденпропил)-4-гидразинилиденхроман-2-оны (**4-6**) и 3-(3-(4-аминофенил)-1-арил-3-((2-метилтиазол-5-ил)имино)пропил)-4-гидрокси-2Н-хромен-2-оны (**7-9**).

Выход последних оказался несколько выше, чем соединений **4-6**. Это, вероятно, можно объяснить несколькими факторами: меньшей активностью карбонильной группы кумаринового фрагмента по сравнению с оксогруппой нециклической части молекулы субстрата, а также пространственным фактором, что в совокупности затрудняет взаимодействие второй молекулы гидразина с исходным соединением.

Скрининг биологической активности

Для осуществления прогнозирования биологической активности соединений **4-9** был использован интернет-ресурс PASS Online.

Выявлена высокая вероятная ингибиторная активность всех протестированных соединений в отношении β -глюкуронидазы. Подавление β -глюкуронидазы, наряду с другими ферментами мочи, участвующими в метаболизме канцерогенов, является одной из стратегий первичной биохимической профилактики рака.

Основная биологическая функция указанного фермента состоит в гидролизе β -глюкуронидов в различных ксенобиотиках, содержащих канцерогенные фрагменты, высвобождение которых приводит к развитию опухолей. Очевидно, возникает острая необходимость в ингибировании β -глюкуронидазы [7].

В связи с этим нам предсталось интересным дополнительно исследовать ингибирующую способность полученных соединений **4-9** к ферменту β -глюкуронидазе при помощи молекулярного докинга.

Молекулярный докинг был рассчитан в программе Nex 8.0.0, позволяющей также вычислить энергию взаимодействия лиганда с центром связывания фермента и с возможным учетом стерических особенностей в трехмерном пространстве при помощи программы Chimera.

К натуральным ингибиторам глюкуронидаз следует отнести байкалин, вогонозид, мукусизофлавон А и скополетин. Ввиду структурного сходства с исследуемыми нами соединениями именно скополетин **10** (рис. 1) был выбран в качестве лиганда-сравнения. В качестве биологической мишени использована β -глюкуронидаза *E. coli* (eGUS). Её структурные данные были взяты в международной базе данных белков Protein Data Bank с идентификационным кодом 3LPG. Молекулярные 3D структуры ингибиторов в pdb-формате генерировали и оптимизировали с помощью программы Avogadro v.1.1.0.

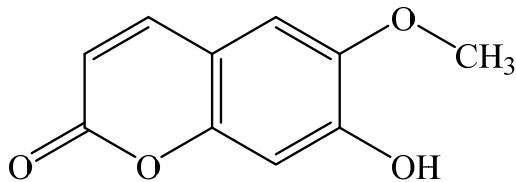


Рис. 1. Структурная формула скополетина **10**
Fig. 1. Structural formula of scopoletin **10**

Полученные оценочные величины энергий комплексов рассматриваемого рецептора и лигандов **4-10** представлены в таблице. Стоит отметить, что программа Hex 8.0.0 дает результат в условных единицах энергии.

Результаты молекулярного докинга
Table. Results of molecular docking

№	Энергия связывания / Binding energy
4	-323.57
5	-235.08
6	-231.76
7	-355.87
8	-265.59
9	-255.45
10	-210.21

Рассчитанные данные свидетельствуют о том, что все соединения **4-9** обладают лучшей ингибирующей активностью в отношении β -глюкуронидазы по сравнению со скополетином **10**. Наилучшие результаты показали соединения **4** и **7**, имеющие в структуре диметиламинный фрагмент, что, вероятно, связано с возникновением дополнительных связей между ним и остатками аминокислот фермента. Наблюдается тенденция к увеличению сродства к рецептору при переходе от гидразонов к веществам, включающим тиазольный фрагмент, способный образовывать стэкинговые и π -алкильные взаимодействия с белком. В связи с этим мы визуализировали координацию соединений **4, 7-10** в сайте связывания фермента 3LPG.

Механизм действия скополетина заключается в «блокировании» входа субстратов или выхода продуктов реакции из субстратного «канала» фермента. Из рис. 2 видно, что координация скополетина **10** в макромолекулярной структуре рецептора располагается с краю субстратного «канала», где образует связи с четырьмя остатками аминокислот ALA 511, GLU 512, LEU 518 и HIS 514.

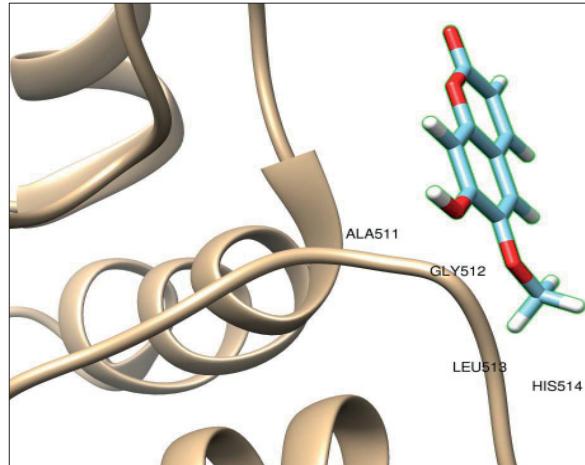
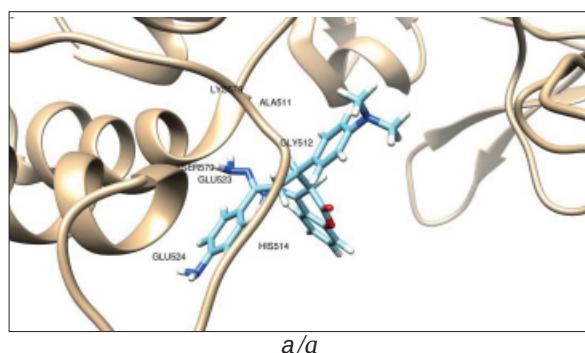
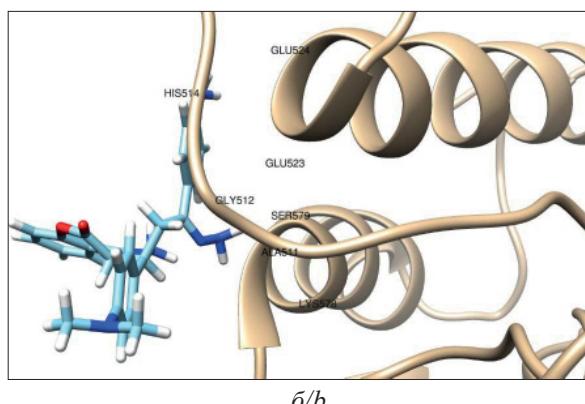


Рис. 2. Скополетин **10** в сайте связывания фермента 3LPG
Fig. 2. Scopoletin **10** at the 3LPG enzyme binding site

Этот же сайт связывания заняли соединения **4, 7-9**. На рис. 3, *a, b* представлены изображения комплекса 3LPG с 3-(3-(4-аминофенил)-1-(4-диметиламинофенил)-3-гидразинилиденпропил)-4-гидразинилиденхроман-2-оном (**4**) в дополнительном аминокислотном окружении LYS 578, SER 579, GLU 523, GLU 524.



a/a



b/b

Рис. 3. Соединение **4** в координации с ферментом 3LPG:
a – вид спереди; *b* – вид сзади
Fig. 3. Compound **4** in coordination with the enzyme 3LPG:
a – front view; *b* – back view

Рис. 4, *a*, *b* представляют координацию 3-(3-(4-аминофенил)-1-(4-диметиламинофенил)-3-((2-метилтиазол-5-ил)имино)пропил)-4-гидрокси-2H-хромен-2-она (7) в сайте связывания выбранного фермента. Высокоаффинное связывание лиганда 7, вероятно, происходит в результате дополнительного окружения аминокислотными остатками GLU 524, HIS 514, LEU 513, GLU 523, ALA 580, SER 579, PHE 582, LYS 578 и PRO 577, помимо ALA 511 и GLU 512.

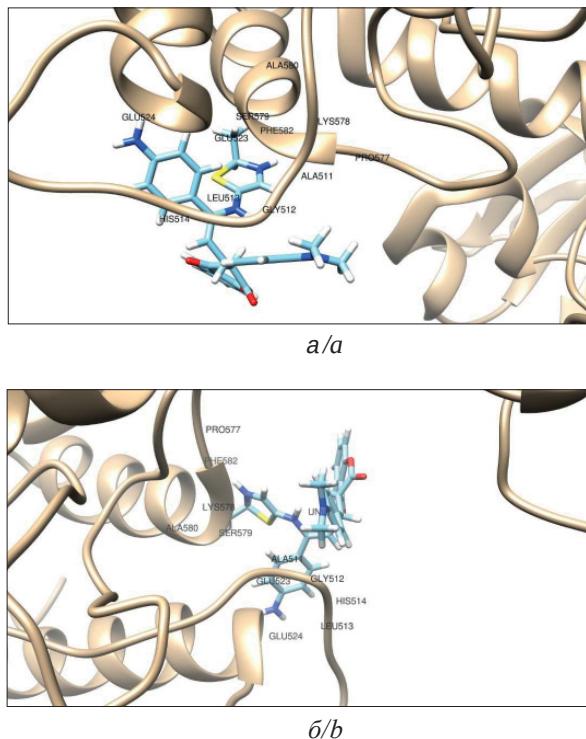


Рис. 4. Соединение 7 в координации с ферментом 3PG:
а – вид сбоку; *б* – вид сверху

Fig. 4. Compound 7 in coordination with the enzyme 3PG:
a – side view; *b* – top view

На рис. 5 представлено изображение координации соединения 8 в системе фермента 3LPG. По сравнению с пространственным расположением природного ингибитора 10, данное соединение имеет большую аффинность благодаря дополнительному окружению аминокислотных остатков GLU 524, HIS 514, GLU 523, SER 579, LYS 578, PHE 582, PRO 577.

На рис. 6 представлена координация соединения 9 в системе фермента 3LPG. Дополнительное окружение аминокислотных остатков ALA 580, LYS 578, PHE 582, SER 579, GLU 523, GLU 524, LEU 613, HIS 514 делает соединение более аффинным по сравнению со скополетином 10.

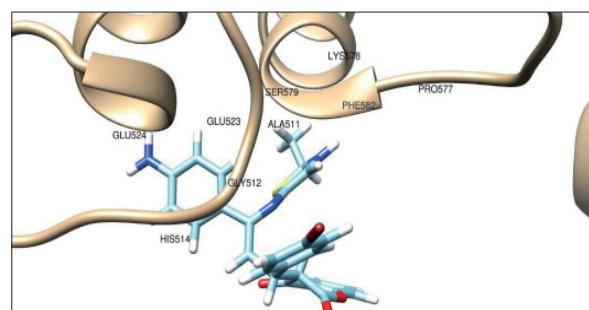


Рис. 5. Координация соединения 8 в структуре фермента 3LPG

Fig. 5. Coordination of compound 8 in the structure of the enzyme 3LPG

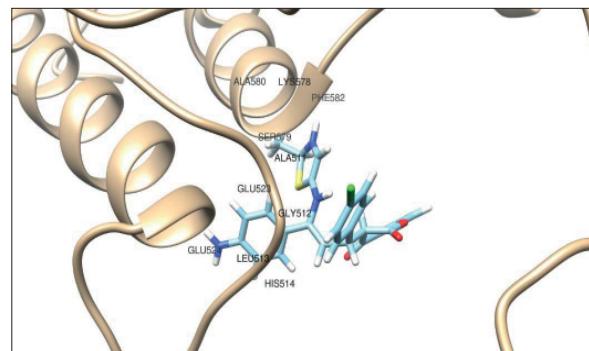


Рис. 6. Координация соединения 9 в структуре фермента 3LPG

Fig. 6. Coordination of compound 9 in the structure of the enzyme 3LPG

Соединения 4, 7–9 показывают более выраженное средство к выбранному рецептору, причем продукт 7 превосходит по ингибирующей способности не только скополетин, но и другие исследованные нами соединения ввиду образования различных взаимодействий с аминокислотными остатками сайта связывания используемого фермента.

Заключение

Таким образом, нами впервые осуществлено взаимодействие 4-гидрокси-3-(3-оксо-1-арил-3-(4-аминофенил)пропил)-2H-хромен-2-онов с N-нуклеофилами, проведен виртуальный скрининг биологической активности продуктов реакций с помощью программы PASS Online, а также исследование данных соединений методом молекулярного докинга.

Полученные нами соединения предположительно могут быть использованы в качестве ингибиторов фермента β -глюкуронидазы.

Список литературы / References

1. Abdelhafez O. M., Amin K. M., Batran R. Z., Maher T. J., Nada S. A., Sethumadhavan S. Synthesis, anticoagulant and PIVKA-II induced by new 4-hydroxycoumarin derivatives. *Bioorg. Med. Chem.*, 2010, vol. 18, no. 10, pp. 3371–3378. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2010.04.009>
2. Kotali A., Nasiopoulou D. A., Tsoleridis C. A., Harris P. A., Kontogiorgis C. A., Hadjipavlou-Litina D. J. Antioxidant Activity of 3-[N-(Acylhydrazone)ethyl]-4-hydroxy-coumarins. *Molecules*, 2016, vol. 21. <https://doi.org/10.3390/molecules21020138>
3. Patel A. A., Lad H. B., Pandya K. R., Patel C. V. Synthesis of a new series of 2-(2-oxo-2H-chromen-3-yl)-5-H-chromeno [4, 3-b] pyridin-5-ones by two facile methods and evaluation of their antimicrobial activity. *Med. Chem. Res.*, 2013, vol. 22, pp. 4745–4754. <https://doi.org/10.1007/s00044-013-0489-4>
4. Cravotto G., Tagliapietra S., Cappello R., Palmisano G., Curini M., Boccalini M. Long-chain 3-Acyl-4-hydroxycoumarins: Structure and antibacterial activity, *Arch. Pharm. (Weinheim, Ger.)*, 2006, vol. 339, no. 3, pp. 129–132. <https://doi.org/10.1002/ardp.200500127>
5. Kirkiacharian B. S., Clercq E., Kurkjian R., Pannecouque C. New synthesis and anti-HIV and antiviral properties of 3-arylsulfonyl derivatives of 4-hydroxycoumarin and 4-hydroxyquinolone. *Pharm. Chem. J.*, 2008, vol. 42, no. 5, pp. 265–270. <https://doi.org/10.1007/s11094-008-0103-0>
6. Chiang C. C., Mouscadet J. F., Tsai H. J., Liu C. T., Hsu L. Y. Synthesis and HIV-1 integrase inhibition of novel bis- or tetra coumarin analogues. *Chem. Pharm. Bull.*, 2007, vol. 55, no. 12, pp. 1740–1743. <https://doi.org/10.1248/cpb.55.1740>
7. Khan Kh. M., Rahim F., Halim S. A., Taha M., Khan M., Perveen Sh., Zaheer-ul-Haq Mesaik M. A., Choudhary M. I. Synthesis of novel inhibitors of β -glucuronidase based on benzothiazole skeleton and study of their binding affinity by molecular docking. *Bioorg. Med. Chem.*, 2011, vol. 19, pp. 4286–4294. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2011.05.052>

Поступила в редакцию 23.05.2025, одобрена после рецензирования 22.07.2025, принята к публикации 25.07.2025
The article was submitted 23.05.2025, approved after reviewing 22.07.2025, accepted for publication 25.07.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 375–384

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 375–384

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-375-384>, EDN: KGCKKD

Научная статья

УДК 541.136+544.643.076.2+620.22

Исследование влияния параметров процесса соосаждения на физико-химические характеристики прекурсора катодного материала NCM811



А. А. Коржаков¹✉, М. В. Ларина¹, В. В. Пакальник¹, С. В. Махов²,
Д. М. Богатырев¹, Е. А. Иванова¹, Л. В. Машьянова¹

¹1000 «Институт Гипроникель», Россия, 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 11

²АО «Кольская ГМК», Россия, 184505, Мурманская область, г. Мончегорск, территория Промплощадка КГМК

Коржаков Алексей Алексеевич, научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии, KorzhakovAA@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9361-8165>

Ларина Мария Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии, LarinaMV@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7205-1734>

Пакальник Владимир Валентинович, научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии, PakalnisVV@nornik.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7013-5992>

Махов Семён Викторович, кандидат химических наук, начальник гидрометаллургического отдела, MakhovSV@kolagmk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0938-9660>

Богатырев Дмитрий Михайлович, научный сотрудник, BogatyrevDM@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2297-6608>

Иванова Елена Андреевна, инженер 2-й категории, IvanovaElAn@nornik.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6957-5141>

Машьянова Лилия Валерьевна, кандидат химических наук, заведующий сектором лаборатории гидрометаллургии, YafarovaLV@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7572-2209>

Аннотация. Подбор параметров синтеза прекурсоров катодных материалов состава NCM является одним из превалирующих факторов, оказывающих существенное влияние на химический состав, насыпную плотность, микроструктуру поверхности, электрохимические характеристики и ресурс получаемых впоследствии катодных материалов. В данной работе исследуется варьирование скорости перемешивания, pH, концентрации комплексообразующего агента, мольное соотношение концентраций $\text{NH}_3/\text{p-р сульфатов}$. Точный контроль в процессе соосаждения сульфатов переходных металлов позволил получить материал с улучшенными физико-химическими характеристиками в реакторе периодического действия.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, катодные материалы, NCM, прекурсоры, рСАМ, соосаждение

Для цитирования: Коржаков А. А., Ларина М. В., Пакальник В. В., Махов С. В., Богатырев Д. М., Иванова Е. А., Машьянова Л. В. Исследование влияния параметров процесса соосаждения на физико-химические характеристики прекурсора катодного материала NCM811 // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 375–384. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-375-384>, EDN: KGCKKD

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

Article

Study of the influence of co-precipitation process parameters on the physicochemical characteristics of the precursor of the cathode material NCM811

А. А. Коржаков¹✉, М. В. Ларина¹, В. В. Пакальник¹, С. В. Махов²,
Д. М. Богатырев¹, Е. А. Иванова¹, Л. В. Машьянова¹

¹LLC Gipronickel Institute, 11 Grazhdansky Prospect, Saint Petersburg 195220, Russia

²JSC Kola MMC, territory of the Kola MMC industrial site, Monchegorsk 184505, Murmansk region, Russia

Aleksey A. Korzhakov, KorzhakovAA@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9361-8165>

Mariya V. Larina, LarinaMV@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7205-1734>

Vladimir V. Pakalnis, PakalnisVV@nornik.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7013-5992>

Semen V. Makhov, MakhovSV@kolagmk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0938-9660>

Dmitriy M. Bogatyrev, BogatyrevDM@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2297-6608>

Elena A. Ivanova, IvanovaElAn@nornik.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6957-5141>

Liliya V. Mashyanova, YafarovaLV@nornik.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7572-2209>

Abstract. Selection of parameters for the synthesis of precursors for NMC cathode materials is one of the prevailing factors that have a significant impact on the chemical composition, bulk density, surface microstructure, electrochemical characteristics and service life of the resulting cathode materials. In this paper, we study the variation of the mixing rate, pH, concentration of the complexing agent, and the molar ratio of NH₃/sulphate solution concentrations. The strict control during co-precipitation has made it possible to obtain a material with obviously preferable physicochemical characteristics.

Keywords: lithium-ion batteries, cathode materials, NCM, precursors, pCAM, coprecipitation

For citation: Korzhakov A. A., Larina M. V., Pakalnis V. V., Makhov S. V., Bogatyrev D. M., Ivanova E. A., Mashyanova L. V. Study of the influence of co-precipitation process parameters on the physicochemical characteristics of the precursor of the cathode material NCM811. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 375–384 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-375-384>, EDN: KGCKKD

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

Введение

Производство как самих литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), так и компонентов для изготовления ЛИА является одной из самых стремительно растущих и быстро развивающихся отраслей промышленности [1]. К сегодняшнему времени, начиная с момента коммерциализации в начале 1990-х гг., был достигнут огромный прогресс в повышении функциональных характеристик литий-ионных аккумуляторов, таких как ёмкость, удельная мощность, срок службы и безопасность [2]. Значительную часть этого прогресса можно отнести к постоянному внедрению и усовершенствованию материалов, из всех составляющих компонентов ЛИА катодный материал (САМ) оказывает наибольшее влияние на характеристики аккумуляторов, поэтому он играет решающую роль в развитии отрасли литий-ионных технологий.

На данный момент разработано и внедрено в производство несколько типов катодных материалов, среди которых: фосфат лития-железа (LiFePO₄, LFP), оксид лития-кобальта (LiCoO₂, LCO), оксид лития-марганца (LiMn₂O₄, LMO), литий-никель-кобальт-алюминий-оксид (LiNi_{1-x-y}Co_xAl_yO₂, NCA) и литий-никель-марганец-кобальт-оксид (LiNi_{1-x-y}Mn_xCo_yO₂, NCM). Из-за синергетического эффекта Ni, Co, Mn катодные материалы типа NCM являются одной из наиболее успешных комбинаций, обеспечивающих высокую плотность энергии, эффективность заряда/разряда, длительность срока службы и др. Еще одним из важных преимуществ САМ на основе NCM является возможность варьирования (в широких пределах) состава за счет изменения соотношения

Ni:Mn:Co, что позволяет создавать материалы для применения в конкретных областях и направлениях.

Для получения САМ адаптировано большое количество методов синтеза, среди которых: твердофазный, золь-гель, темплатный и гидротермальный синтез, распылительный пиролиз [3–6], однако одним из наиболее высокопроизводительных и широко используемых методов является соосаждение с последующим литирующим обжигом в атмосфере кислорода. В настоящее время до сих пор ведутся исследования по получению частиц катодных материалов различной формы и размеров (от нанометровых листов и даже точек до агломератов микронных размеров), однако в промышленности наиболее часто получают вторичные частицы сферической или приближенной к сферической форме с широким распределением по размерам (от 3 до 30 мкм) в зависимости от целей и области применения конечного аккумулятора.

Последние исследования и опыт промышленных производств подтверждают, что микроструктура поликристаллических САМ в значительной степени формируется на этапе синтеза предшественника катодного материала (pCAM), то есть Ni_{1-x-y}Mn_xCo_y(OH)₂, и оказывает существенное влияние на функциональные характеристики катодного материала. В процессе соосаждения к факторам, которые могут влиять на состав и морфологию частиц, относятся: значение pH, концентрация аммиака, температура и время реакции, скорость перемешивания и др., таким образом, установление влияния и уточнение параметров соосаждения являются важным звеном при разработке материалов с заданными функциональными характеристиками.



Целью исследования является экспериментальная оценка влияния варьируемых параметров: pH, скорость перемешивания, концентрация амиака и соотношения амиак/сульфаты на структуру и характеристики рСАМ типа NCM811.

Материалы и методы

Синтез прекурсора катодного материала рСАМ был получен методом соосаждения в реакторе периодического действия без отражательных перегородок, объем реактора 10 дм³. В качестве исходных реагентов использовали $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Nornickel Harjavalta),

$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Nornickel Harjavalta), $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Merck), гидроксид натрия (АО «ЭКОС-1») и гидроксид аммония (ООО «Сигма Тек») в качестве комплексообразующего агента. Молярное соотношение переходных металлов составило $\text{Ni} : \text{Co} : \text{Mn} = 8 : 1 : 1$. При проведении исследований варьировали следующие параметры: pH, концентрацию комплексообразователя, соотношение гидроксид аммония и скорость перемешивания, условия синтеза представлены в табл. 1. Концентрация смеси сульфатов переходных металлов, скорости подачи, температура и время реакции соосаждения были выбраны в качестве постоянных параметров и не варьировались в рамках данного исследования.

Таблица 1 / Table 1

Условия синтеза прекурсора $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$
Conditions for the synthesis of the precursor $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}(\text{OH})_2$

Образец / Sample	Скорость перемешивания, об/мин / Mixing speed, rev/min	pH	$C_M \text{ NH}_3$, моль/л / mol/l	Соотношение NH_3 /р-р сульфатов, моль/моль / Ratio of NH_3 /sulphate solution, mol/mol
Диапазон / Range of variation	300–500	10.8–11.4	4–13.32	1.6–2.1
P-2	300	11.0	13.32	1.6
P-3	400	11.0	13.32	1.6
P-4	450	11.0	13.32	1.6
P-5	500	11.0	13.32	1.6
P-6	450	10.8	13.32	1.6
P-7	450	11.0	13.32	1.6
P-8	450	11.2	13.32	1.6
P-9	450	11.4	13.32	1.6
P-10	450	11.0	4.00	1.6
P-11	450	11.0	6.00	1.6
P-4	450	11.0	13.32	1.6
P-12	450	11.0	6.00	1.6
P-13	450	11.0	6.00	1.8
P-14	450	11.0	6.00	2.0
P-15	450	11.0	6.00	2.1

Исследование физико-химических характеристик

Рентгенофазовый анализ осуществлялся посредством использования многофункционального рентгеновского дифрактометра ДРОН-8 (АО «ИЦ «Буревестник») с применением рентгеновской трубки типа 1,5 БСВ-29Си. Условия съёмки: напряжение – 40 кВ, анодный ток – 20 мА, температура – 24°C, диапазон углов – 4–100°, шаг – 0.2°, экспозиция – 5 с. Морфология поверхности исследована методом растровой электронной микроскопии (сканирующий

двулучевой электронно-ионный микроскоп LYRA3 GMH, TESCAN), распределение частиц по размерам определялось методом лазерной дифракции (ANALYSETTE 22 NeXT, FRITSCH). Насыпная плотность (НП) порошков после утряски была определена на приборе ETD-1020x (Electrolab). Химический состав реагентов и всех продуктов исследовался методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанный плазмой на спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) EXPEC 6500.

Результаты и их обсуждение

Поскольку варьирование различных параметров синтеза не должно было оказывать существенного влияния на фазовый состав получаемых прекурсоров вследствие единой химической природы процесса, полученные данные рентгеновской дифракции близки для всех полученных образцов. На рис. 1 приведены рентгеновские дифрактограммы для образцов, полученных при варьировании различных параметров: pH раствора в реакторе, концентрации

раствора аммиака и соотношения концентраций аммиака и смеси сульфатов. Видно, что все полученные материалы демонстрируют идентичную дифрактограмму, которая соответствует $\text{Ni}(\text{OH})_2$ (ICCD № 00-059-0463), при этом наблюдается незначительное смещение максимумов в положениях (0,0,1), (0,1,1) и (0,1,2) в сторону меньших углов, что говорит о присутствии ионов других металлов (кобальта, марганца) в решётке гидроксида. Незначительные уширение пиков могут быть следствием присутствия следовых количеств гетерогенита CoOOH .

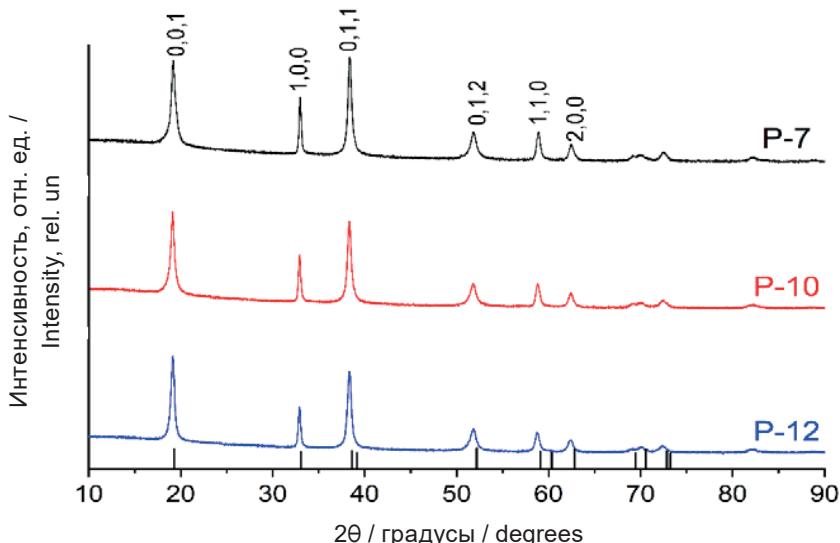


Рис. 1. Дифрактограммы образцов, полученных при варьировании различных условий синтеза: значения pH раствора (P-7), концентрации аммиака (P-10) и соотношения $\text{NH}_3/\text{p-р}$ сульфатов (P-12)

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of samples obtained with varying of different synthesis conditions: pH solution value (P-7), ammonia solution concentration (P-10) and different ratios of $\text{NH}_3/\text{solution of sulfates}$ (P-12)

Таким образом, основное влияние изменение условий синтеза будет оказывать на морфологию получаемых вторичных частиц и на их распределение по размерам.

Влияние скорости перемешивания

Интенсивное перемешивание в процессе соосаждения способствует более быстрому распределению ионов металлов и позволяет избежать избыточной локальной концентрации компонентов, что, в свою очередь, способствует образованию гомогенных по химическому составу частиц. Выбор оптимальной скорости перемешивания позволяет получить игольчатые частицы, толщиной 1–2 нм, которые в дальнейшем упаковываются в плотную гладкую сферу вторичных частиц [7]. Для таких частиц характерно высокое значение насыпной плотности после утряски ($\geq 1.5 \text{ г}/\text{см}^3$), что необходимо для

получения рСАМ с заданными характеристиками и достижения высоких электрохимических показателей катодного материала.

Экспериментально было проверено влияние скорости перемешивания в диапазоне 300–500 об/мин, результаты распределения частиц по размерам (табл. 2, рис. 2, 3) показывают, что наблюдается четкая корреляция между увеличением скорости перемешивания и уменьшением размера частиц (D_{10}, D_{50}, D_{90}), в то же время, согласно результатам сканирующей электронной микроскопии, увеличение скорости перемешивания приводит к образованию частиц с более регулярной сферичной морфологией и более узкому распределению частиц по размерам, что коррелирует с результатами насыпной плотности после утряски (см. табл. 2).

Результаты исследований прекурсоров
The results of precursor studies

Образец / Sample	Параметры синтеза / Synthesis parameters			Распределение частиц по размерам, мкм / Particle size distribution, microns			НП / Tap density
	pH	$C_M \text{ NH}_3$, mol/l	Скорость перемешивания, об/мин / Mixing speed, rev/min	D_{10}	D_{50}	D_{90}	
P-2	11.0	13.32	300	6.2 ± 0.4	13.4 ± 0.1	25.6 ± 0.3	1.45
P-3			400	5.7 ± 0.5	11.4 ± 0.1	19.2 ± 0.1	1.66
P-4			450	5.9 ± 0.4	10.4 ± 0.2	16.9 ± 0.2	1.68
P-5			500	4.6 ± 0.3	8.4 ± 0.1	13.9 ± 0.2	1.72

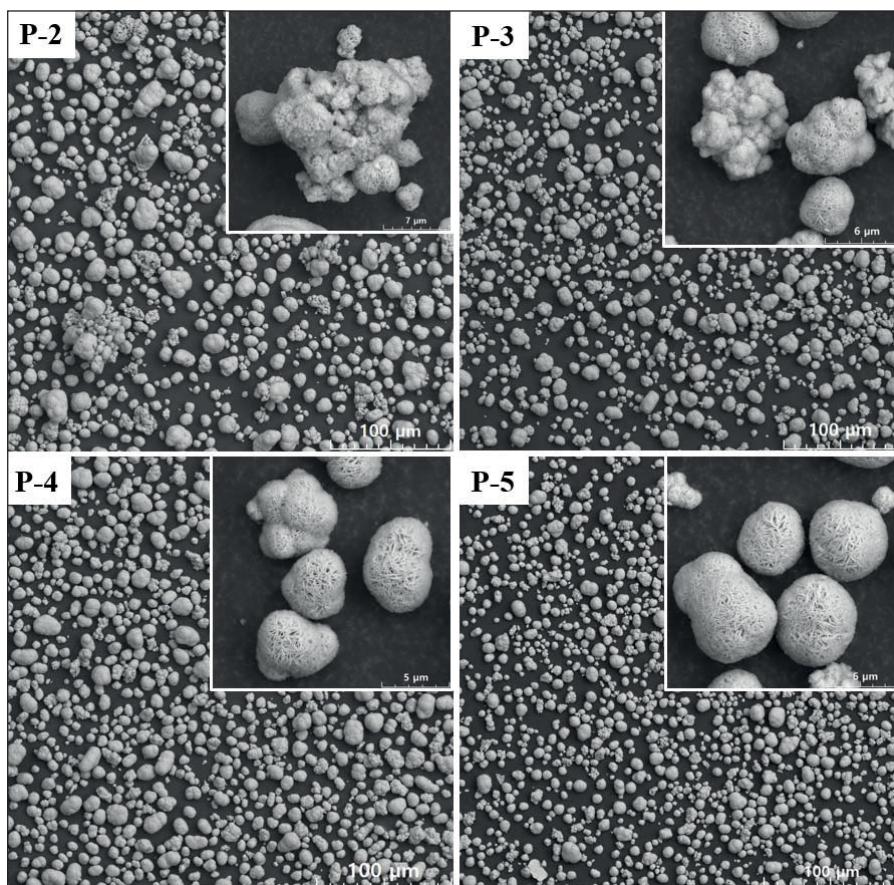


Рис. 2. Микрофотографии рСАМ, полученные при разных скоростях перемешивания, об/мин: P-2 – 300, P-3 – 400, P-4 – 450, P-5 – 500

Fig. 2. pCAM micrographs obtained at different mixing speeds, rpm: P-2 – 300, P-3 – 400, P-4 – 450, P-5 – 500

Таким образом, на основании полученных результатов оптимальная скорость вращения одноуровневой мешалки пропеллерного типа для реактора периодического действия без отражательных перегородок объемом 10 дм³ была определена на уровне 450 об/мин. При этом важ-

но отметить, что увеличение скорости перемешивания выше указанного значения приводит к получению вторичных частиц с более плотной морфологией, что, в свою очередь, может оказать негативное влияние на электрохимические характеристики катодного материала.

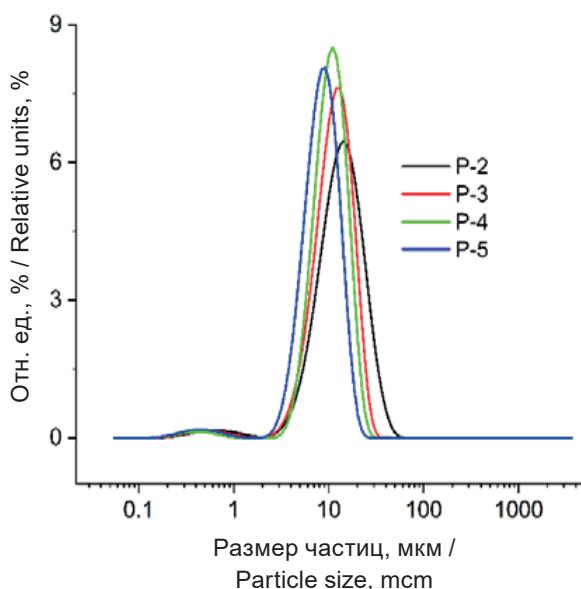


Рис. 3. Результаты исследования распределения частиц по размерам материалов, полученных в различных условиях, об/мин: Р-2 – 300, Р-4 – 400, Р-5 – 450, Р-3 – 500 (цвет онлайн)

Fig. 3. Results of a study of particle size distribution of materials obtained under various conditions, rpm: Р-2 – 300, Р-4 – 400, Р-5 – 450, Р-3 – 500 (color online)

Влияние значения pH

Значение pH реакции соосаждения является одним из наиболее важных параметров, влияющих на образование, рост и свойства рСАМ. В данном исследовании был выбран диапазон pH между 10.8 и 11.4 (табл. 3).

Низкие значения pH не обеспечивают полноты осаждения переходных металлов [8], нарушая стехиометрию получаемого материала (см. табл. 3), в то же время с ростом значения pH, в связи с увеличением концентрации OH-анионов, увеличивается скорость зародыше-

образования и роста кристаллов, при этом размер первичных частиц становится меньше. Существует максимально допустимое значение pH, выше него в реакции будет преобладать зародышеобразование. При мгновенном образовании большого количества зародышей образовываются дополнительные нерегулярные скопления, что приводит к чрезмерной агломерации и плохой сферичности гидроксида в процессе последующего роста (рис. 4).

Согласно микрофотографиям (см. рис. 4) прослеживается различие структуры и формы получаемых рСАМ. При значении pH 11.4 наблюдается сильная агрегация зародышей с формированием частиц неровной формы – отчетливо видны стыки слипания агрегатов. При pH 11.0 морфология вторичных частиц характеризуется более сферичной формой, не-плотной укладкой первичных частиц. При таком значении возможно достичь геометрическую симметрию получаемого материала, что в дальнейшем положительно скажется при литировании материала и, как результат, на ключевых характеристиках катодного материала.

Влияние концентрации комплексообразующего агента

Произведения растворимости $\text{Ni}(\text{OH})_2$, $\text{Co}(\text{OH})_2$ и $\text{Mn}(\text{OH})_2$ равны $2.0 \cdot 10^{-15}$ (25°C), $1.9 \cdot 10^{-15}$ (25°C) и $1.6 \cdot 10^{-13}$ (25°C) соответственно, это означает, что указанные соединения имеют низкую растворимость и высокую скорость седиментации, при этом для $\text{Mn}(\text{OH})_2$ скорость осаждения более медленная, чем для $\text{Ni}(\text{OH})_2$, $\text{Co}(\text{OH})_2$, все это приводит к неоднородному осаждению гидроксидов и образованию коллоидов, что не позволяет контролировать морфологию образующихся осадков и негативно сказы-

Таблица 3 / Table 3

Условия проведения синтеза, результаты анализа химического состава и распределения частиц

по размерам получаемых рСАМ

Synthesis conditions, results of analysis of the chemical composition and particle size distribution of the obtained pCAM

Образец / Sample	pH	% (масс.) / % (mass.)			Соотношение, % / Ratio, %			Распределение частиц по размерам, мкм / Particle size distribution, microns		
		Ni	Co	Mn	Ni	Co	Mn	D_{10}	D_{50}	D_{90}
P-6	10.8	45.50	5.85	7.34	76.90	9.85	13.25	2.0 ± 0.1	5.8 ± 0.2	16.0 ± 3.1
P-7	11.0	48.70	6.73	5.85	78.99	10.87	10.14	6.9 ± 0.1	11.4 ± 0.1	17.6 ± 0.1
P-8	11.2	46.80	6.64	8.06	75.45	11.18	14.55	5.2 ± 0.1	8.8 ± 0.0	13.9 ± 0.1
P-9	11.4	48.60	6.74	5.85	78.94	10.90	10.15	8.3 ± 0.1	14.4 ± 0.1	22.8 ± 0.1

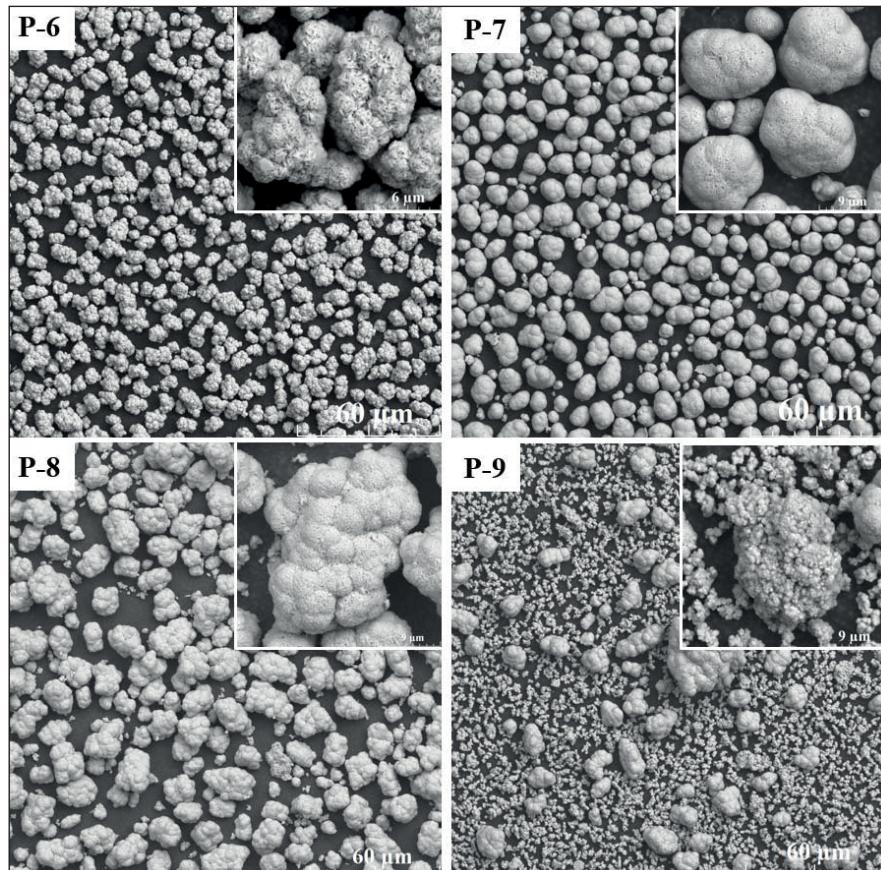


Рис. 4. Микрофотографии pCAM, полученные при pH реакции: P-6 – 10.8, P-7 – 11.0, P-8 – 11.2, P-9 – 11.4

Fig. 4. pCAM micrographs obtained with the pH of the reaction: P-6 – 10.8, P-7 – 11.0, P-8 – 11.2, P-9 – 11.4

вается на характеристиках САМ [9]. Однако при использовании комплексообразующего агента ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) за счет образования комплексных соединений переходных металлов реакция осаждения протекает более «равномерно» и снижается скорость зародышеобразования в начале реакции, что позволяет достичь более высокой ориентации и степени кристаллизации осадков.

Условия проведения синтеза, а также результаты распределения частиц по размерам

представлены в табл. 4. Наименьшей начальной концентрацией NH_3 выбрано значение 4 моль/л на основании наших предыдущих исследований, так как при концентрации ниже этого значения образуются сферические частицы с нерегулярной и сложно контролируемой морфологией. Согласно результатам микроскопии (рис. 5) было обнаружено, что основу всех вторичных частиц полученных образцов составляют первичные наноразмерные пластины. Формы

Таблица 4 / Table 4

Условия проведения синтеза, результаты распределения частиц по размерам получаемых pCAM
Synthesis conditions, results of particle size distribution of the resulting pCAM

Образец / Sample	Параметры синтеза / Synthesis parameters		Распределение частиц по размерам, мкм / Particle size distribution, microns		
	pH	$C_M \text{ NH}_3$, моль/л / mol/l	D_{10}	D_{50}	D_{90}
P-10	11.0	4.00	8.0 ± 0.1	12.6 ± 0.1	19.3 ± 0.1
P-11		6.00	7.7 ± 0.1	12.2 ± 0.1	18.3 ± 0.2
P-4		13.32	5.9 ± 0.4	10.4 ± 0.2	16.9 ± 0.2



Рис. 5. Микрофотографии pCAM, полученные при различной концентрации комплексообразующего агента, моль/л: P-10 – 4, P-11 – 6, P-4 – 13,32

Fig. 5. pCAM micrographs obtained at different concentrations of the complexing agent, mol/l: P-10 – 4, P-11 – 6, P-4 – 13,32

частиц идентичные, распределение частиц по размеру равномерное. По мере увеличения концентрации аммиака границы первичных частиц становятся более выраженным и плотноупакованными. Подобная вторичная структура сохраняется после высокотемпературного обжига.

Изменение концентрации подаваемого аммиака в процессе синтеза pCAM не оказывает существенного влияния на среднюю крупность

получаемых частиц. Среднеквадратичное отклонение достаточно узкое, а размер частиц D_{50} на уровне 12,2 мкм (см. табл. 4).

Мольное отношение аммиак/сульфаты переходных металлов

В табл. 5 представлены условия синтеза материалов P-12 – P-15, результаты анализа химического состава, а также распределение полученных частиц по размерам.

Таблица 5 / Table 5

Условия проведения синтеза, результаты распределения частиц по размерам получаемых pCAM
Synthesis conditions, results of particle size distribution of the resulting pCAM

Образец / Sample	Соотношение $\text{NH}_3/\text{p-р сульфатов, моль/моль} / \text{NH}_3/\text{sulfate solution ratio, mol/mol}$	% (масс.) / % (mass.)			Соотношение, % Ratio, %			Распределение частиц по размерам, мкм / Particle size distribution, microns		
		Ni	Co	Mn	Ni	Co	Mn	D_{10}	D_{50}	D_{90}
P-12	1.6	50.30	6.21	5.58	80.55	9.90	9.55	7.7 ± 0.1	12.5 ± 0.1	19.0 ± 0.1
P-13	1.8	48.90	6.46	5.92	79.31	10.43	10.26	7.0 ± 0.1	11.2 ± 0.1	17.0 ± 0.1
P-14	2.0	52.20	7.04	5.85	79.74	10.71	9.55	7.8 ± 0.2	12.4 ± 0.1	18.9 ± 0.1
P-15	2.1	49.50	6.78	5.95	79.06	10.79	10.15	6.9 ± 0.2	11.3 ± 0.1	17.3 ± 0.1

Согласно данным элементного состава анализируемых проб (см. табл. 5) можно сделать вывод, что наиболее равномерный процесс соосаждения основных металлов происходит при соотношении $M_{\text{NH}_3}/M_{\text{Me}} \sim 1.6$. Увеличение соотношения приводит к связыванию никеля, параллельно процессу соосаждения комплекса.

Правильный подбор параметра мольного соотношения влияет на структуру первичных и форму вторичных частиц. Исходя из микрофотографий можно сделать вывод, что наиболее пористыми, вытянутыми и сферичными полу-

чились частицы при соотношении ~ 1.6 . Данная форма является предпочтительной, поскольку она обеспечивает высокую удельную площадь поверхности, что улучшает кинетику последующей твердофазной реакции.

При более высоких соотношениях (2.1) получаются плотные частицы с мелкими кристаллитами. Форма самих частиц не зависит от исследуемого параметра (рис. 6).

Данные по распределению частиц по размерам представлены в табл. 5, гистограмма распределения имеет узкий пик на уровне 10–12 мкм.

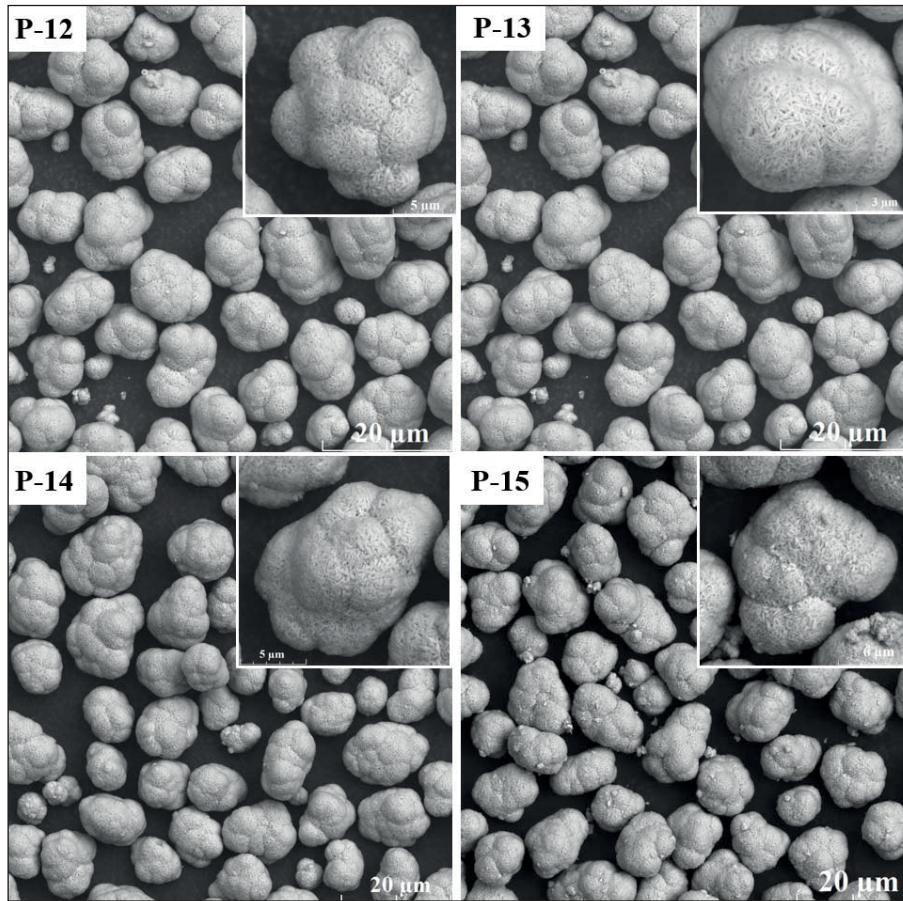


Рис. 6. Микрофотографии образцов, полученные при различном соотношении $\text{NH}_3/\text{p-р}$ сульфатов, моль/моль: P-12 – 1.6, P-13 – 1.8, P-14 – 2.0, P-15 – 2.1

Fig. 6. Micrographs of samples obtained with different ratios of $\text{NH}_3/\text{solution of sulfates}$, mol/mol: P-12 – 1.6, P-13 – 1.8, P-14 – 2.0, P-15 – 2.1

Заключение

Прекурсоры катодного материала состава NCM811 были синтезированы в реакторе периодического режима методом совместного соосаждения. Проведено исследование полученных образцов современными физико-химическими методами анализа. На основании вышеописанных результатов установлено, что оптимальными ключевыми параметрами синтеза рСАМ типа NCM811 являются: pH – 11.0, концентрация комплексообразующего агента – 13.32 моль/л, соотношение $\text{NH}_3/\text{p-р}$ сульфатов – 1.6 моль/моль и скорость перемешивания – 450 об/мин. Указанные параметры позволяют получать прекурсор катодного материала, частицы которого имеют форму, наиболее приближенную к сферической со средним (воспроизводящимся) размером 12 мкм и насыпной плотностью на уровне 1.8.

Список литературы / References

- Chen M., Zheng Z., Wang Q., Zhang Y., Ma X., Shen Ch., Xu D., Liu J., Liu Ya., Gionet P., O'Connor I., Pinnell L., Wang J., Gratz E., Arsenault R., Wang Ya. Closed Loop Recycling of Electric Vehicle Batteries to Enable Ultra-high Quality Cathode Powder. *Sci. Rep.*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38238-3>
- Broussely M., Biensan P., Simon B. Lithium insertion into host materials: The key to success for Li ion batteries. *Electrochim. Acta*, 1999, vol. 45, no. 1, pp. 3–22.
- Li B. M., Lu J. Cobalt in lithium-ion batteries. *J. Science*, 2020, vol. 367, no. 6481, pp. 979–980. <https://doi.org/10.1126/science.aba9168>
- Bensalah N., Dawood H. Review on synthesis, characterizations, and electrochemical properties of cathode materials for lithium ion batteries. *J. Mater. Sci. Eng.*, 2016, vol. 5, no. 4. <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000258>

5. Liu H., Wu Y. P., Rahm E., Holze R., Wu H. Q. Cathode materials for lithium ion batteries prepared by sol-gel methods. *J. Solid State Electrochem.*, 2004, vol. 8, no. 7, pp. 450–466.
6. Ju S. H., Kang Y. C. The characteristics of Ni-Co-Mn-O precursor and $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ cathode powders prepared by spray pyrolysis. *Ceram. Int.*, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 1205–1210.
7. Wang D., Belharouak I., Koenig G. M., Zhou G., Amine K. Growth mechanism of $\text{Ni}_{0.3}\text{Mn}_{0.7}\text{CO}_3$ precursor for high capacity Li-ion battery cathodes. *J. Mater. Chem.*, 2011, vol. 21, no. 25, pp. 9290–9295.
8. Li H., Xu Q., Shi X. X., Song D. W., Zhang L. Q. Electrochemical performance of $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$ with different synthesis methods. *Rare Met.*, 2015, vol. 34, no. 8, pp. 580–585.
9. Kong J. Z., Zhou F., Wang C-B., Yang X-Y., Zhai H-F., Li H., Li J-X., Tang Z., Zhang S. Q. Effects of Li source and calcination temperature on the electrochemical properties of $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_2$ lithium-ion cathode materials. *J. Alloys Compd.*, 2013, vol. 554, pp. 221–226.

Поступила в редакцию 23.05.2025, одобрена после рецензирования 05.09.2025, принятая к публикации 08.09.2025
The article was submitted 23.05.2025, approved after reviewing 05.09.2025, accepted for publication 08.09.2025

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 385–392

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 385–392

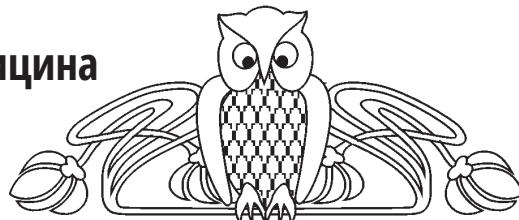
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-385-392>, EDN: NGLMAG

Научная статья

УДК 543.48

Флуориметрическое определение глицина с помощью комплексов ионов меди с ципрофлоксацином



Е. Р. Тимонова¹, А. В. Сярдина¹, Т. А. Крайнова¹, А. М. Маринина¹,

Н. В. Неврюева², Т. Д. Смирнова¹✉

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. Б. Казачья, д. 112

Тимонова Екатерина Романовна, студент Института химии, ekaterinatimonova8491@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-4068-2070>

Сярдина Алина Владимировна, студент Института химии, syardinaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7060-4969>

Крайнова Таисия Алексеевна, студент Института химии, krainovataya@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4866-173X>

Маринина Анастасия Максимовна, студент Института химии, marinina004@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6672-017X>

Неврюева Наталья Владимировна, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры общей, биоорганической и фармацевтической химии, natasha.k.83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3457-1317>

Смирнова Татьяна Дмитриевна, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, smirnovat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3391-1092>

Аннотация. Предложен люминесцентный способ определения глицина, основанный на конкурентном связывании в комплексы ионов Cu^{2+} с ципрофлоксацином и аминокислотой. Спектрофотометрическим методом показано образование комплекса Cu^{2+} с производным фторхинолона. Образующийся комплекс не обладает флуоресцентными свойствами в отличие от самого лиганда. В присутствии добавок ионов комплексообразователя в растворе ципрофлоксацина наблюдается тушение его флуоресценции. Введение глицина (Gl) в систему Cu^{2+} –ЦФ сопровождается возрастанием сигнала флуоресценции свободного ципрофлоксацина (ЦФ) ($\lambda_{\text{возб}} = 330 \text{ нм}$, $\lambda_{\text{фл}} = 450 \text{ нм}$) с интенсивностью, пропорциональной концентрации аминокислоты. Изучено влияние природы мицелл поверхностно-активных веществ (ПАВ) на эффективность эмиссии аналитической системы. Показано, что, независимо от природы, мицеллы ПАВ дополнительно тушат флуоресценцию комплексов ионов Cu^{2+} с ЦФ и Gl. Установлены оптимальные условия реакций комплексообразования в исследуемых системах, а также возрастания интенсивности собственной флуоресценции ЦФ, концентрация которого возрастает в растворе в связи с разрушением малоустойчивого комплекса Cu^{2+} с ЦФ и образованием более прочного хелата Cu^{2+} с глицином. Показано, что эффект тушения максимально проявляется при pH 7 в среде фосфатного буферного раствора. Подобные эффекты в ацетатно-аммиачном буферном растворе не проявляются. Линейная зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации глицина наблюдается в диапазоне 5×10^{-7} – $5 \times 10^{-4} \text{ М}$. Предел обнаружения $2 \times 10^{-7} \text{ М}$.

Ключевые слова: люминесценция, комплексообразование ионов меди с ципрофлоксацином, глицин, поверхностно-активные вещества

Для цитирования: Тимонова Е. Р., Сярдина А. В., Крайнова Т. А., Маринина А. М., Неврюева Н. В., Смирнова Т. Д. Флуориметрическое определение глицина с помощью комплексов ионов меди с ципрофлоксацином // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 385–392. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-385-392>, EDN: NGLMAG

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

Article

Fluorimetric determination of glycine using copper ion complexes with ciprofloxacin

Е. Р. Тимонова¹, А. В. Сярдина¹, Т. А. Крайнова¹, А. М. Маринина¹,

Н. В. Неврюева², Т. Д. Смирнова¹✉

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

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

Ekaterina R. Timonova, ekaterinatimonova8491@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-4068-2070>

Alina V. Syardina, syardinaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7060-4969>

Taisiya A. Krainova, krainovataya@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4866-173X>

Anastasia M. Marinina, marinina004@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6672-017X>

Natalya V. Nevryueva, natasha.k.83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3457-1317>

Tatyana D. Smirnova, smirnovatd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3391-1092>

Abstract. A luminescent method for determining glycine based on competitive complexation of Cu²⁺ ions with ciprofloxacin and an amino acid is proposed. Formation of a Cu²⁺ complex with a fluoroquinolone derivative is shown using spectrophotometry. The resulting complex does not have fluorescent properties, unlike the ligand itself. In the presence of additives of complexing agent ions in a ciprofloxacin solution, its fluorescence is quenched. Introduction of glycine (Gl) into the Cu²⁺-CF system is accompanied by an increase in the fluorescence signal of free ciprofloxacin (CF) ($\lambda_{\text{exc}} = 330 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{fl}} = 450 \text{ nm}$) with an intensity proportional to the concentration of the amino acid. The effect of the nature of surfactant micelles on the emission efficiency of the analytical system is studied. It is shown that, regardless of their nature, surfactant micelles additionally quench the fluorescence of Cu²⁺ ion complexes with CF and Gl. Optimal conditions for complexation reactions in the studied systems, as well as for an increase in the intensity of CF intrinsic fluorescence, are established. It is assumed that the formation of the analytical signal is associated with the fluorescence of CF, the concentration of which increases in the solution due to the destruction of the unstable Cu²⁺ complex with CF and the formation of a more stable Cu²⁺ chelate with glycine. It is shown that the quenching effect is maximal at pH 7 in a phosphate buffer solution. Similar effects are not observed in an acetate-ammonia buffer solution. A linear dependence of the fluorescence intensity on the glycine concentration is observed in the range of $5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-4} \text{ M}$. The detection limit is $2 \times 10^{-7} \text{ M}$.

Keywords: luminescence, complexation of copper ions with ciprofloxacin, glycine, surfactants

For citation: Timonova E. R., Syardina A. V., Krainova T. A., Marinina A. M., Nevryueva N. V., Smirnova T. D. Fluorimetric determination of glycine using copper ion complexes with ciprofloxacin. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 385–392 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-385-392>, EDN: NGLMAG

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 аналитическим методам определения аминокислот остается актуальным, прежде всего, со стороны производителей пищевых продуктов, лекарственных препаратов, клинических исследований и контролирующих лабораторий. Оценка здорового и сбалансированного питания, основанная на результатах исследований содержания аминокислот в пищевых продуктах, невозможна без постоянного мониторинга их качества. Глицин, являясь простейшей органической алифатической аминокислотой с выраженным усиливающим вкусом, применяется в пищевой промышленности для улучшения органолептики напитков, обогащения продуктов микроэлементами и оптимизации технологических процессов.

Важным этапом в медицинской диагностике врождённых «ошибок» метаболизма наследственных нарушений обмена аминокислот является определение их содержания в крови [1]. Глицин играет важную роль во многих физиологических процессах, действует как нейромедиатор в центральной нервной системе, выполняя функции антиоксиданта, противовоспалительного и иммуномодулирующего агента в периферических и нервных тканях [2, 3]. Оптимальный уровень глицина в сыворотке

крови составляет 300 мкмоль/л. Его увеличение даже в три раза не вызывает возникновения нежелательных эффектов [4]. Однако более высокие концентрации приводят к тяжелейшим последствиям – некетотической гиперглицинемии [5]. Глицин находит применение не только в медицине, но и ветеринарии, рыбоводстве, животноводстве.

Определение содержания глицина актуально для объектов фармацевтической промышленности в связи с широким использованием аминокислоты в качестве стабилизатора активности и функциональности белков при производстве препаратов крови. Контроль содержания аминокислот в лекарственных препаратах необходим в связи с исключением их фальсификации [6].

Одним из первых способов количественного определения глицина является колориметрический, основанный на цветной реакции между глицином, хлорформиатом и пиридином [7, 8]. Метод отличается простотой и не требует сложного оборудования.

В биомедицинских исследованиях, при разработке новых лекарственных препаратов используют спектрофотометрические методы с применением различных органических реагентов [9–11], реакций комплексообразования [12, 13], окислительно-восстановительных [14].

Результаты и их обсуждение

Для определения глицина и аспарагиновой кислоты в биологических объектах предложен химический сенсор на основе магнитных наночастиц [15]. Методы ВЭЖХ особенно актуальны при определении глицина в сложных смесях [16, 17]. Современные методы, отличаясь высокой чувствительностью и избирательностью, являются достаточно дорогостоящими и требуют привлечения к работе высококвалифицированного персонала. В то же время высокочувствительный люминесцентный анализ является достаточно простым и недорогим.

Целью настоящей работы явилась разработка нового подхода к люминесцентному определению нефлуоресцирующих биологически активных веществ, например, глицина, основанного на использовании конкурентного комплексообразования ионов Cu^{2+} с аминокислотой в присутствии флуорофора ципрофлоксацина в водных и мицеллярных средах.

Материалы и методы

Реагенты. Ципрофлоксацин (ЦФ) (Sigma-Aldrich, США, не менее 99% основного вещества); цетилпиридиний хлорид (ЦПХ) (Sigma, не менее 99% основного вещества); Тритон X-100 (TrX-100) (Sigma), Бридж 35 (Br35) (Acros, не менее 98% основного вещества), натрия додецилсульфат (ДДС) (AppliChem, с содержанием основного вещества не менее 99%); сульфат меди (II) (Acros Organics, содержание основного вещества 99,9%); глицин (Sigma-aldrich), содержание основного вещества 99,9%.

Аппаратура. Спектры флуоресценции регистрировали при помощи спектрофлуориметра СМ 2203 фирмы ЗАО «SOLAR» с источником возбуждения – импульсной ксеноновой лампой. Ширина дифракционной щели возбуждения – 10 нм, флуоресценции – 5 нм. Скорость регистрации спектров – 75 нм/мин. Измерения проводили в кварцевой кювете с толщиной слоя 1 см. Сигнал регистрировали под углом 90° к возбуждающему свету. Оптическую плотность растворов и электронные спектры поглощения в видимой и УФ-области спектра измеряли на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu), кварцевые кюветы с длиной оптического пути 1 см (Shimadzu).

Значение pH контролировали на pH-метре (pH-673 M) со стеклянным индикаторным электродом и хлоридсеребряным электродом сравнения.

Спектроскопические свойства ЦФ и глицина. Ципрофлоксацин относится к группе фторхинолонов II поколения, является амфолитом, содержащим в молекуле одновременно основный вторичный алифатический атом азота и кислотный центр – карбоксильную группу. Наличие сопряженной системы в молекуле обуславливает две полосы интенсивного поглощения в УФ – области спектра (270 и 340 нм). Полоса, соответствующая карбоксильной группе (270–276 нм, рис. 1, а), изменяет интенсивность в зависимости от значения pH среды [18]. Флуоресцентные свойства ЦФ ($\lambda_{\text{фл}} = 400$ –460 нм) проявляются при длине волны возбуждения 330 нм (рис. 1, б). Спектроскопические свойства глицина в диапазоне длин волн от 250 до 700 нм выражены весьма слабо, о чем свидетельствует отсутствие полос поглощения в спектре растворов аминокислоты. Соответственно, люминесцентные свойства глицина также не проявляются.

Комплексообразование ЦФ и глицина с ионами Cu^{2+} . Нами спектроскопическими методами установлено, что ЦФ образует с ионами Cu^{2+} комплексные соединения (рис. 2). Как видно из спектров поглощения ЦФ, в присутствии ионов Cu^{2+} наблюдается гиперхромное смещение полосы при 270 нм. Согласно полученным спектрам и литературным данным [18], наиболее вероятна координация ионов Cu^{2+} по карбонильной и карбоксильной группам ЦФ в соседних положениях. Число координированных лигандов зависит от кислотности среды: в более кислой области предпочтителен комплекс 1:1, тогда как комплекс 1:2 (металл : лиганд) является основным при более высоких значениях pH [18] (рис. 3).

Влияние глицина на флуоресцентные свойства системы ЦФ – Cu^{2+} . В условиях добавок глицина к раствору хелата ЦФ с ионами Cu^{2+} установлен эффект возрастания интенсивности собственной флуоресценции ($\lambda_{\text{фл}} = 450$ нм) фторхинолона, связанный с конкурентной реакцией комплексообразования глицина и ЦФ с ионами металла. При этом можно предположить, что формирование возрастающего сигнала флуоресценции ($\lambda_{\text{фл}} = 450$ нм) связано с разрушением малоустойчивого комплекса Cu^{2+} с ЦФ и образованием более прочного хелата ионов Cu^{2+} с глицином.

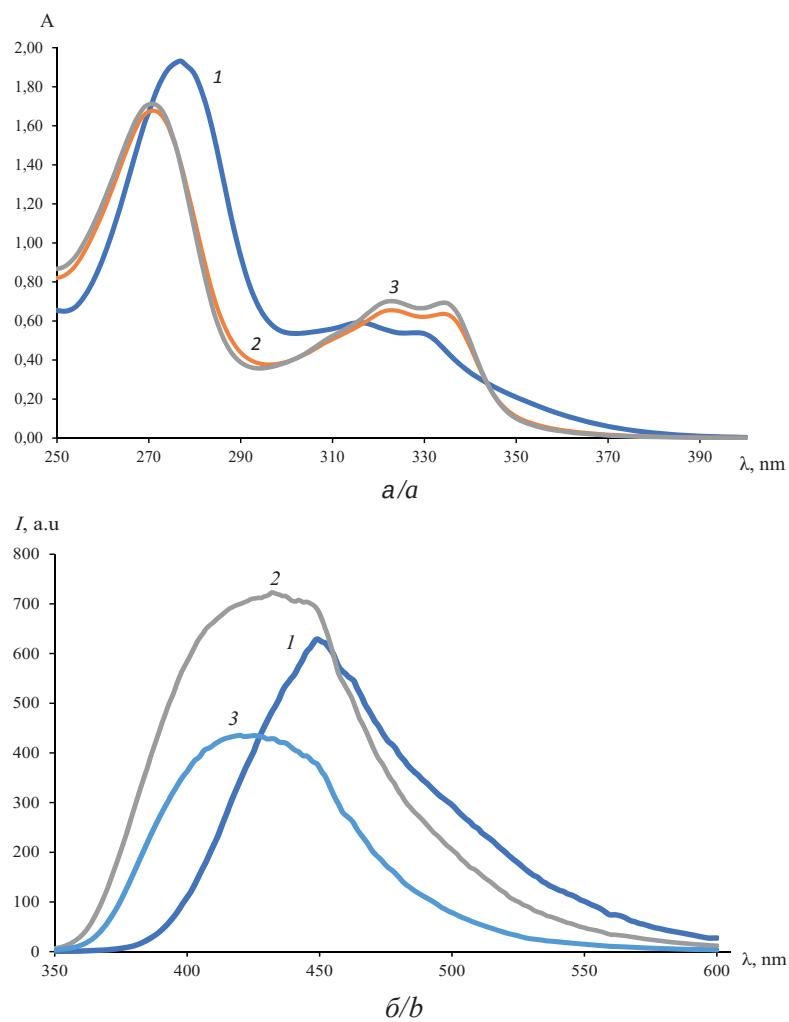


Рис. 1. Спектры ципрофлоксацина (5×10^{-5} М) при pH 5 (1), pH 7 (2), pH 9 (3): a – поглощения; b – флуоресценции, $\lambda_{\text{возб}} = 330$ нм (цвет онлайн)

Fig. 1. Spectra of ciprofloxacin (5×10^{-5} M) at pH 5 (1), pH 7 (2), pH 9 (3):
a – absorption; b – fluorescence, $\lambda_{\text{exc}} = 330$ nm (colour online)

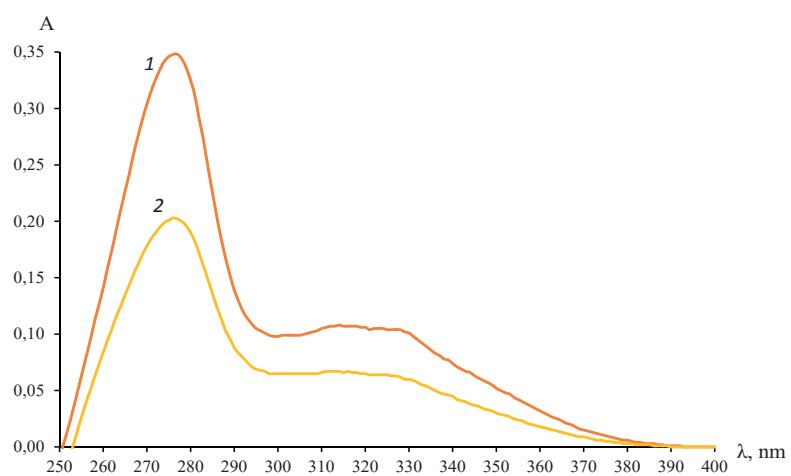


Рис. 2. Спектры поглощения ципрофлоксацина (1) (5×10^{-5} М) и его комплекса с ионами Cu^{2+} (2) (5×10^{-6} М), pH 7 (цвет онлайн)

Fig. 2. Absorption spectra of ciprofloxacin (1) (5×10^{-5} M) and its complex with Cu^{2+} ions (2) (5×10^{-6} M), pH 7 (color online)

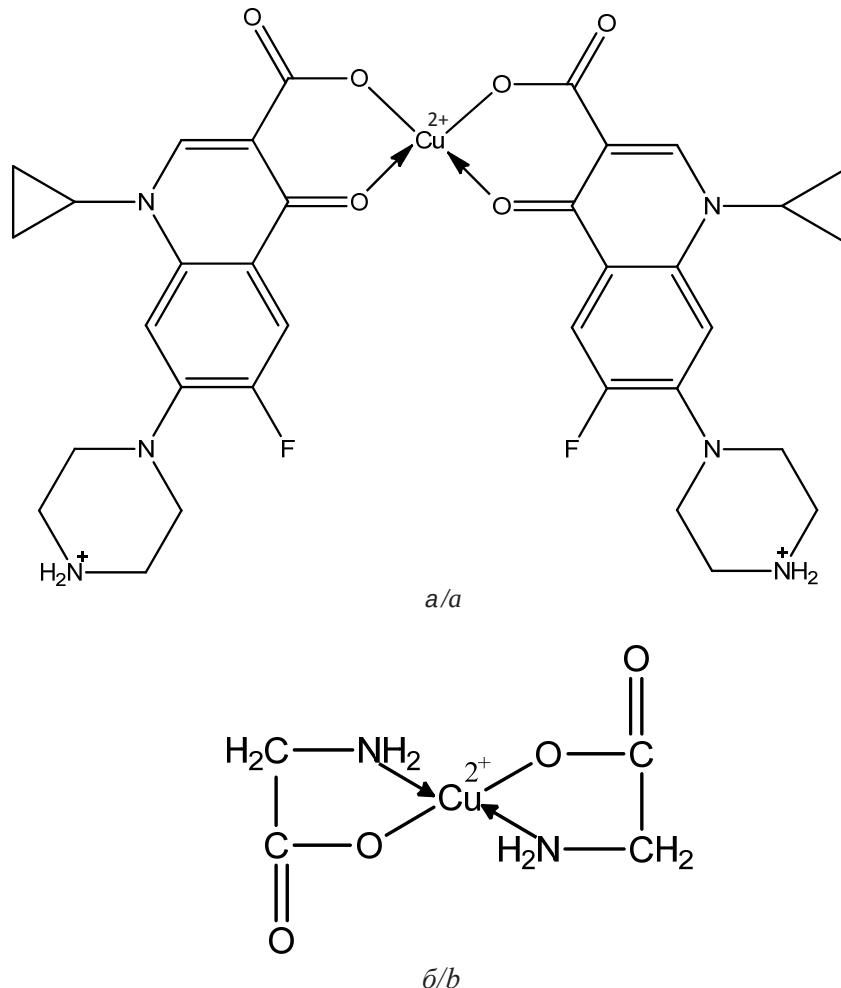


Рис. 3. Хелаты ионов Cu²⁺ с ЦФ (а) и глицином (б)
Fig. 3. Chelates of Cu²⁺ ions with CF (a) and glycine (b)

По мере увеличения в растворе концентрации комплекса глицина, в системе возрастает содержание в свободном состоянии ЦФ ($\lambda_{\text{фл}} = 450$ нм). Найдены оптимальные условия взаимодействия глицина с ионами Cu²⁺ в присутствии антибиотика: pH 7, $C_{\text{ЦФ}} = 5 \times 10^{-7}$ М, $C_{\text{Cu}^{2+}} = 5 \times 10^{-6}$ М. Построена градуировочная зависимость для флуориметрического определения глицина.

Влияние природы мицелл поверхности-активных веществ на интенсивность люминесценции. Известно, что в присутствии мицелл катионных, анионных и неионогенных ПАВ возможно усиление сигнала флуоресценции флуорофоров, связанное с удалением молекул воды – основных тушителей люминесценции из ближайшего окружения флуоресцирующего центра. Изучено влияние природы

мицелл ПАВ на люминесцентные свойства системы Cu²⁺–ЦФ в присутствии добавок глицина, диапазон определяемых концентраций аминокислоты и коэффициент корреляции градуировочной зависимости. Некоторые химико-аналитические характеристики способов флуориметрического определения глицина с помощью системы Cu²⁺–ЦФ в присутствии мицелл ДДС, ЦПХ, тритона X-100 представлены в табл. 1. Наилучшая воспроизводимость результатов наблюдается в отсутствии мицелл ПАВ. Добавки мицелл вызывают снижение интенсивности флуоресценции, уменьшение коэффициента корреляции.

На основании проведенных исследований предложен флуориметрический способ определения глицина в пробах речной воды с помощью комплекса меди с ципрофлоксацином.

Таблица 1 / Table 1

Некоторые химико-аналитические характеристики флуориметрических способов определения глицина с помощью систем ЦФ – медь(II) в присутствии различных ПАВ
Some chemical-analytical characteristics of fluorimetric methods for determining glycine using CF-copper(II) systems in the presence of various surfactants

ПАВ / Surfactants	R ²	Уравнение / Equation	Нижняя граница определяемых концентраций, М / Lower limit of detectable concentrations, M
Без ПАВ/ No surfactants	0,995	$y = -0,021x + 2,92$	5×10^{-7}
ДДС /DDS	0,979	$y = -0,025x + 2,92$	5×10^{-7}
ЦПХ/CPCl	0,962	$y = -0,012x + 2,86$	1×10^{-6}
Тритон X-100/ Triton X-100	0,958	$y = -0,005x + 2,83$	1×10^{-6}

Методика определения глицина в речной воде (р. Волга, с. Чардым) методом градуировочного графика. В пробирку вносят 1.0 мл ацетатно-аммиачного буферного раствора (pH 7), 1–3 мл исследуемой воды, 0,2 мл 1×10^{-7} ципрофлоксацина и 0,002 мл 1×10^{-2} соли Cu^{2+} и

доводят буферным раствором до общего объёма 4 мл. Измеряют интенсивность флуоресценции ($\lambda_{\text{возб}} = 330$ нм) с помощью градуировочного графика определяют содержание глицина в воде (табл. 2). Правильность определения контролировали методом «введено–найдено».

Таблица 2 / Table 2

Результаты определения глицина в речной воде (р. Волга, с. Чардым)
($n = 3, P = 0.95, t_{\text{табл}} = 4.30$)

Results of determination of glycine in river water (The Volga river, Chardym village)
($n = 3, P = 0.95, t_{\text{табл}} = 4.30$)

Введено, мг/л / Entered, mg/l	Найдено, мг/л / Found, mg/l	$\bar{x} \pm \Delta x, \text{мг/л} /$ $\bar{x} \pm \Delta x, \text{mg/l}$	S_r	$t_{\text{эксп}} /$ t_{exp}
66	65.2	62.02 ± 9.87	0.04	1.0
	57.6			
	63.4			
16	16.5	15.4 ± 2.5	0.01	0.6
	14.5			
	15.3			
10	12.1	10.2 ± 3.0	0.02	0.11
	8.7			
	9.78			

Заключение

Предложен флуориметрический способ определения глицина, основанный на возрастании интенсивности собственной флуоресценции ципрофлоксацина в присутствии добавок аминокислоты. Предполагаем, что в присутствии глицина в системе Cu^{2+} –ЦФ в результате конкурирующего комплексообразо-

вания с ионом металла в свободном состоянии ЦФ проявляет собственную люминесценцию ($\lambda_{\text{возб}} = 330$ нм, $\lambda_{\text{фл}} = 450$ нм) с интенсивностью, пропорциональной концентрации определяемого аналита. Изучено влияние природы мицелл ПАВ на эффективность эмиссии аналитической системы. Установлено, что мицеллы катионных, неионогенных и анионных поверхностно-активных веществ дополнительно

тушат флуоресценцию в системе Cu^{2+} –ЦФ–Гл. Установлены оптимальные условия реакций комплексообразования в системах Cu^{2+} –ЦФ и Cu^{2+} –Гл, а также условия конкуренции, сопровождающей возрастание интенсивности флуоресценции ЦФ. Сделано предположение, что формирование аналитического сигнала связано с флуоресценцией ($\lambda_{\text{возб}}=330$ нм, $\lambda_{\text{фл}}=450$ нм) ЦФ, концентрация которого возрастает в растворе в связи с разрушением малоустойчивого комплекса Cu^{2+} с ЦФ и образованием более прочного хелата Cu^{2+} с Гл. Показано, что эффект тушения максимально проявляется при рН 7 в среде фосфатного буферного раствора. Подобные эффекты в ацетатно-аммиачном буферном растворе не проявляются. Линейная зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации аминокислоты наблюдается в диапазоне глицина от 5×10^{-7} до 5×10^{-4} М. Погрешность определения 2×10^{-7} М.

Список литературы

1. Михайлова С. В., Захарова Е. Ю., Петрухин А. С. Нейрометаболические заболевания у детей и подростков: диагностика и подходы к лечению. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Литтерра, 2019. 368 с.
2. Razak M. A., Begum R. S., Viswanath B., Rajagopal S. Multifarious beneficial effect of nonessential amino acid, glycine: A review // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2017. Vol. 17, № 1. P. 15–32. <https://doi.org/10.1155/2017/1716701>
3. Jewell J. P., Norris M. J., Sublett R. L. Colorimetric quantitative method for determining glycine in presence of other amino acids // Anal. Chem. 1965. Vol. 37, № 8. P. 1034–1035.
4. Perez-Torres I., Zuniga A., Guarner V. Beneficial effects of the amino acid glycine // MiniRev. Med. Chem. 2017. Vol. 17, № 1. P. 15–32. <https://doi.org/10.2174/1389557516666160609081602>
5. Pérez-Ràfols C., Liu Y., Wang Q., Crespo G. A. Why not glycine electrochemical biosensors? // Sensors (Basel). 2020. Vol. 20, iss. 14. Art. 4049. <https://doi.org/10.3390/s20144049>
6. Шведова И. Д. Профилактика и методы борьбы с фальсификацией лекарственных средств и биологически активных добавок на территории Российской Федерации // Право и государство: теория и практика. 2023. № 6 (222). С. 394–397. <https://doi.org/10.47643/1815-1337/2023/6/394>
7. Jewell J. P., Norris M. J., Sublett R. L. Colorimetric quantitative method for determining glycine in presence of other amino acids // Anal. Chem. 1965. Vol. 37, № 8. P. 1034–1035. <https://doi.org/10.1021/ac60227a023>
8. Shan S. A., Rathod I. S., Kanakia D. Colorimetry method for estimation of glycine, alanine and isoleucine // Indian J. Pharm. Sci. 2007. Vol. 69, № 3. P. 462–464. <https://doi.org/10.1021/ac60227a023>
9. Suzuki Sh., Hachimori Y., Yaceda U. Spectrophotometric determination of glycine with 2,4,6-trichloro-s-triazine // Anal. Chem. 1970. Vol. 42, № 1. P. 101–103. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2015.12.015>
10. Ahmed Y. Z., Abd El-Kader A. K. Spectrophotometric determination of hydroxylamine, glycine and methionine // Anal. Letters. 1984. Vol. 17, № 19. P. 2251–2258. <https://doi.org/10.1080/00032718408065372>
11. Porina K. P., Vasyuk S. O. Quantitative determination of glycine in pharmaceutical formulations // Farmatsevt. Zhurnal. 2015. № 3. P. 78–83.
12. Prasad R., Surendra P. Spectrophotometric determination of iron(III)-glycine complex // J. Chem. Educ. 2009. Vol. 86, № 4. P. 494–497. <https://doi.org/10.1021/ed086p494>
13. Tomashevskiy I. A., Golovanova O. A. Spectrophotometric determination of the overall Stability constants of calcium (II) complexes with glycine, L-methionine and L-tryptophan using multiple linear regression // Journal of Applied Spectroscopy. 2021. Vol. 88, № 1. P. 5–10. <https://doi.org/10.1007/s10812-021-01132-4>
14. Lea K.-M., Njeqomir R. Spectrophotometric determination of NAC and MPG in pharmaceuticals // Int. J. Anal. Chem. 2011. № 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.1155/2011/140756>
15. Musarrat M. H., Asiri A. M., Mohammed M. R. Simultaneous detection of aspartic acid and glycine using Fe_3O_4 @ZnO NPs // RSC Adv. 2020. Vol. 10. P. 129376–129389. <https://doi.org/10.1039/d0ra03263h>
16. Сулейманова Э. И. Физико-химические методы определения глицина и его производных // Вестник Башкирского пед. университета. 2023. № 3 (71). С. 142–148.
17. Патент РФ RU 2700831 C1, 23.09.2019. Способ количественного определения глицина в биологических лекарственных препаратах методом гидрофильтрной высокоеффективной жидкостной хроматографии / О. Б. Рунова, М. Г. Коротков, О. Б. Устинникова. Заявка: 2019101963 от 2019.01.24.
18. Turel I., Bukovec N., Farkas E. Complex formation between some metals and a quinolone family member (ciprofloxacin) // Polyhedron. 1996. № 15. P. 269–275. [https://doi.org/10.1016/s0016-0134\(96\)00218-8](https://doi.org/10.1016/s0016-0134(96)00218-8)

References

1. Mikhailova S. V., Zakharova E. Yu., Petrukhin A. S. Neyrometabolicheskiye zabolevaniya u detey i podrostkov: diagnostika i podkhody k lecheniyu. 2-е изд., перераб. и доп. [Neurometabolic diseases in children and adolescents: Diagnosis and treatment approaches]. 2nd ed. Moscow, Litterra, 2019. 368 p. (in Russian).

2. Razak M. A., Begum R. S., Viswanath B., Rajagopal S. Multifarious beneficial effect of nonessential amino acid, glycine: A review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 15–32. <https://doi.org/10.1155/2017/1716701>
3. Jewell J. P., Norris M. J., Sublett R. L. Colorimetric quantitative method for determining glycine in presence of other amino acids. *Anal. Chem.*, 1965, vol. 37, no. 8, pp. 1034–1035.
4. Perez-Torres I., Zuniga A., Guarner V. Beneficial effects of the amino acid glycine. *MiniRev. Med. Chem.*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 15–32. <https://doi.org/10.2174/1389557516666160609081602>
5. Pérez-Ràfols C., Liu Y., Wang Q., Crespo G. A. Why not glycine electrochemical biosensors? *Sensors (Basel)*, 2020, vol. 20, iss. 14, art. 4049. <https://doi.org/10.3390/s20144049>
6. Shvedova I. D. Prevention and methods of combating the falsification of medicines and biologically active additives on the territory of the Russian Federation. *Law and the State: Theory and Practice*, 2023, no. 6, pp. 394–397. <https://doi.org/10.47643/1815-1337/2023/6/394>
7. Jewell J. P., Norris M. J., Sublett R. L. Colorimetric quantitative method for determining glycine in presence of other amino acids. *Anal. Chem.*, 1965, vol. 37, no. 8, pp. 1034–1035. <https://doi.org/10.1021/ac60227a023>
8. Shan S. A., Rathod I. S., Kanakia D. Colorimetry method for estimation of glycine, alanine and isoleucine. *Indian J. Pharm. Sci.*, 2007, vol. 69, no. 3, pp. 462–464. <https://doi.org/10.1021/ac60227a023>
9. Suzuki Sh., Hachimori Y., Yaceda U. Spectrophotometric determination of glycine with 2,4,6-trichloro-s-triazine. *Anal. Chem.*, 1970, vol. 42, no. 1, pp. 101–103. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2015.12.015>
10. Ahmed Y. Z., Abd El-Kader A. K. Spectrophotometric determination of hydroxylamine, glycine and methio-nine. *Anal. Letters*, 1984, vol. 17, no. 19, pp. 2251–2258. <https://doi.org/10.1080/00032718408065372>
11. Porina K. P., Vasyuk S. O. Quantitative determination of glycine in pharmaceutical formulations. *Farmatsevt. Zhurnal*, 2015, no. 3, pp. 78–83.
12. Prasad R., Surendra P. Spectrophotometric determination of iron (III)-glycine complex. *J. Chem. Educ.*, 2009, vol. 86, no. 4, pp. 494–497. <https://doi.org/10.1021/ed086p494>
13. Tomashevskiy I. A., Golovanova O. A. Spectrofotometric determination of the overall Stability constants of calcium (II) complexes with glycine, L-methionine and L-tryptophan using multiple linear regression. *J. of Applied Spectroscopy*, 2021, vol. 88, no. 1, pp. 5–10. <https://doi.org/10.1007/s10812-021-01132-4>
14. Lea K.-M., Njeqomir R. Spectrophotometric determination of NAC and MPG in pharmaceuticals. *Int. J. Anal. Chem.*, 2011, no. 1, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1155/2011/140756>
15. Musarrat M. H., Asiri A. M., Mohammed M. R. Simultaneous detection of aspartic acid and glycine using $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}$ NPs. *RSC Adv.*, 2020, vol. 10, pp. 129376–129389. <https://doi.org/10.1039/d0ra03263h>
16. Suleymanova E. I. Physico-chemical methods for the determination of glycine and its derivatives. *Vestnik Bashkir State University*, 2023, no. 3 (71), pp. 142–148 (in Russian).
17. Patent RF 2700831 C1, 23.09.2019. *Method for quantitative determination of glycine in biological medical preparations by hydrophilic high-performance liquid chromatography*. O. B. Runova, M. G. Korotkov, O. B. Ustinnikova, appl. 2019101963 from 2019.01.24.
18. Turel I., Bukovec N., Farkas E. Complex formation between some metals and a quinolone family member (ciprofloxacin). *Polyhedron*, 1996, no. 15, pp. 269–275. [https://doi.org/10.1016/s0162-0134\(96\)00218-8](https://doi.org/10.1016/s0162-0134(96)00218-8)

Поступила в редакцию 25.06.2025, одобрена после рецензирования 29.08.2025, принята к публикации 30.08.2025
The article was submitted 25.06.2025, approved after reviewing 29.08.2025, accepted for publication 30.08.2025

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 393–405

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 393–405

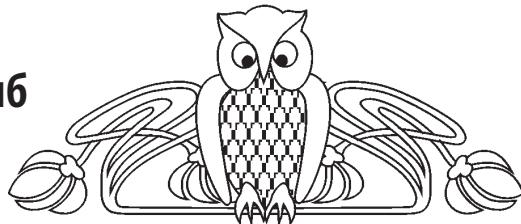
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-393-405>, EDN: NYDEZK

Научная статья

УДК 664.955:543.632.4:543.51

Выявление фальсификации икры рыб методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой



Е. К. Шарапова¹, О. Э. Емельянов², В. Г. Амелин²✉, А. В. Третьяков¹

¹Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Россия, 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5

²Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87

Шарапова Екатерина Константиновна, научный сотрудник, kate.dronova@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3890-530X>

Емельянов Олег Эдуардович, аспирант кафедры химии Института биологии и экологии, mail_e_oleg@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8945-8028>

Амелин Василий Григорьевич, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры химии Института биологии и экологии, amelinvg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7477-7398>

Третьяков Алексей Викторович, кандидат химических наук, заместитель директора, tretyakov81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4984-9502>

Аннотация. Предложено использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой для дифференциации натуральной и имитированной икры по элементному составу различных видов рыб: лососевых, осетровых и частиковых пород. В качестве инструментов многомерного статистического анализа применяли метод главных компонент (МГК) и иерархический кластерный анализ (ИКА). Использование МГК и ИКА позволило эффективно визуализировать различия между пробами икры по признаку подлинности. Установлено, что образцы разных групп располагаются в отдельных квадрантах на графиках МГК и формируют отдельные кластеры на дендрограммах. Анализ графиков нагрузок показал, что ключевыми элементами, ответственными за разделение образцов по подлинности, являются магний, фосфор, цинк и железо. Для икры лососевых рыб основное различие между натуральной и имитированной икрой объясняется концентрациями данных элементов, при этом натуральная икра имеет более высокие значения. В случае икры осетровых рыб дополнительно заметно влияние меди, что также способствует дифференциации натуральной и имитированной икры. На графиках МГК и дендрограммах для осетровых рыб видно четкое разделение между разными типами икры: натуральной, имитированной и икры палтуса. Для частиковых рыб наблюдается дифференциация натуральной и имитированной икры щуки на основе тех же элементов, что и для других видов икры. Доказана высокая эффективность использования масс-спектрометрии в сочетании с хемометрическими методами для выявления фальсификации икры рыб различных видов по их элементному составу.

Ключевые слова: икра лососевых, частиковых и осетровых рыб, элементный состав, фальсификация, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, хемометрика

Для цитирования: Шарапова Е. К., Емельянов О. Э., Амелин В. Г., Третьяков А. В. Выявление фальсификации икры рыб методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 393–405. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-393-405>, EDN: NYDEZK

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

Article

Detection of adulteration of fish caviar by inductively coupled plasma mass spectrometry

Е. К. Sharapova¹, О. Е. Emelyanov², В. Г. Amelin²✉, А. В. Tretyakov¹

¹The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, 5 Zvenigorodskoye Shosse, Moscow 123022, Russia

²Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, 87 Gor'kogo St., Vladimir 600000, Russia

Ekaterina K. Sharapova, kate.dronova@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3890-530X>

Oleg E. Emelyanov, mail_e_oleg@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8945-8028>

Vasiliy G. Amelin, amelinvg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7477-7398>

Aleksey V. Tretyakov, tretyakov81@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4984-9502>



Abstract. The use of inductively coupled plasma mass spectrometry for differentiation of natural and imitated caviar of various fish species: salmon, sturgeon, and particulate species has been proposed. Principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) have been used as tools for multivariate statistical analysis. The use of PCA and HCA have allowed effective visualisation of differences between caviar samples in terms of authenticity. It has been found that samples from different groups have been located in separate quadrants on PCA plots and formed separate clusters on dendograms. The analysis of load plots has showed that magnesium, phosphorus, zinc and iron are the key elements responsible for the separation of samples by authenticity. For salmon fish caviar, the main difference between natural and imitated caviar is due to the concentrations of these elements, with natural caviar having higher values. In the case of sturgeon caviar, the influence of copper is additionally noticeable, which also contributes to the differentiation between natural and imitated caviar. PCA plots and dendograms for sturgeon fish show a clear differentiation between the different types of caviar: natural, imitation and halibut caviar. For particulate fish, differentiation of natural and imitated pike caviar is observed based on the same elements as for other caviar types. The high efficiency of using mass spectrometry in combination with chemometric methods for detection of adulteration of fish caviar of different species by their elemental composition has been proved.

Keywords: salmon, particulate and sturgeon caviar, elemental composition, adulteration, inductively coupled plasma mass spectrometry, chemometrics

For citation: Sharapova E. K., Emelyanov O. E., Amelin V. G., Tretyakov A. V. Detection of adulteration of fish caviar by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 393–405 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-393-405>, EDN: NYDEZK

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

Введение

За последнее время доля сбыта фальсифицированной икры отечественного и импортного производства значительно возросла. Подмена одного вида икры другим может быть опасна для здоровья потребителей. Искусственная икра представляет собой суррогатный продукт, имитирующий по вкусу и внешнему виду натуральную рыбью икру [1–4]. В зависимости от состава имитированная икра, как правило, подразделяется на пектиновую и водорослевую. В продаже нередко встречается и структурированная икра, получаемая из рыбного и морского сырья. Наиболее часто имитированную икру производят с использованием альгината натрия. На первоначальном этапе происходит подготовка рабочего раствора на основе альгината, после чего с помощью капсулатора его подают в раствор хлорида или лактата кальция. В результате «сшивки» (замена натрия на кальций) поверхности образуются «икринки» сферической формы. Затем осуществляется промывка водой полученных капсул от альгинатного раствора с последующим добавлением консервантов, ароматизаторов и красителей (кармин Е120, понко 4R Е124, очаровательный красный Е129, солнечный закат Е110). На заключительной стадии производства осуществляется фасовка и пастеризация готового продукта. При производстве структурированной икры в качестве основного ингредиента используется «икорная масса» – отходы производства икры, а для оболочки – желирующие компоненты (альгинат натрия).

В целях регулирования процессов производства и обеспечения качества икры в России разработаны государственные стандарты, ко-

торые устанавливают требования к характеристикам как натуральной, так и имитированной икры. Данные стандарты включают в себя определенные нормативы по химическому составу, органолептическим и микробиологическим показателям, что способствует обеспечению стабильного уровня качества и безопасности продукции. Так, натуральная икра должна соответствовать ГОСТ 18173-2004 и ГОСТ 7442-2017 по следующим показателям: внешний вид, консистенция, запах, вкус, массовая доля поваренной соли и консервантов, наличие посторонних примесей. Содержание белка в натуральной икре варьируется в диапазоне 27–31% [5].

Для борьбы с проблемой фальсификации и обеспечения высокого уровня контроля качества особое внимание уделяется разработке и внедрению современных методов идентификации. Одним из основных молекулярно-биологических методов для идентификации состава пищевой продукции на текущий момент является полимеразная цепная реакция (ПЦР), в том числе с детекцией продуктов амплификации в реальном времени [6–9]. Показана возможность определения этим методом видового состава животных, которых используют для изготовления рыбных продуктов питания. Так, в работе [6] рассмотрено использование полимеразной цепной реакции с наблюдением в реальном времени (ПЦР-РВ) для идентификации видовой принадлежности икры. Использовали различные тест-системы для идентификации генов лососевых рыб: горбушки, кеты, нерки, семги, форели и кижуч. Метод ПЦР-РВ показал высокую чувствительность и позволил выявить случаи фальсификации икры, особенно в ситуациях, когда в продукты было добавлено

до 25% поддельного сырья, что невозможно выявить при использовании органолептического и химического анализа.

Кроме молекулярно-биологических методов идентификации икры используют и химические методы анализа. В работе [10] акцентируется внимание на проблеме замены натуральной икры имитированной. В целях выявления фальсификации предложено использование метода Кельдаля для определения массовой доли белка. Авторами данной работы установлено, что содержание белка в имитированной икре не превышает 1%, что значительно ниже, чем в натуральной икре (не менее 27%). Для дифференциации икры предложено учитывать органолептические показатели (внешний вид, консистенция, вкус и запах, наличие посторонних примесей, реакция пробы на варку). Сравнение полученных признаков совместно с найденным содержанием белка позволяет оценить образец на предмет его подлинности.

Для установления фальсификации пищевых продуктов, в том числе икры, используют метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП) [11, 12]. С помощью данного метода можно определять многокомпонентный элементный состав и измерять изотопные соотношения тяжелых металлов, что позволяет идентифицировать икру. Так, в работе [12] для определения региона происхождения икры оценивали содержание Th, Bi, Mo, Au и Zr. Содержания этих микроэлементов показали существенные различия в икре из Магаданской и Сахалинской областей, благодаря чему удалось достоверно различить анализируемые продукты по географическому происхождению.

Ранее нами описаны способы установления фальсификации икры лососевых рыб методами ПЦР, ИК-спектроскопии в ближней и средней областях и цветометрии [13]. Метод ПЦР позволил идентифицировать видовую принадлежность образцов, выявляя отсутствие ДНК лососевых рыб или наличие ДНК других видов в фальсифицированной продукции. ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье в сочетании с хемометрической обработкой спектральных данных позволила дифференцировать натуральную и имитированную икру, фиксируя присутствие альгинатов в составе последних. С помощью цифровой цветометрии удалось установить подлинность образцов на основе анализа флуоресценции и диффузного отражения в УФ- и ИК-диапазонах. Комплексное применение данных методов показало

высокую эффективность в идентификации и контроле подлинности икры лососевых рыб.

В настоящей работе рассмотрено применение метода МС-ИСП для идентификации и установления фактов фальсификации икры рыб различных видов по их элементному составу.

Материалы и методы

Аппаратура. Использовали масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 (Agilent Technologies, США), аналитические весы Discovery 214C первого класса точности с пределом взвешивания 0,1 мг (Ohaus Corporation, США), дозаторы Proline Biohit одноканальные механические переменного объема 10–100 мкл, 100–1000 мкл, 1000–5000 мкл (Biohit, Финляндия). Для хемометрической обработки массива данных элементного анализа использовали внешние приложения XLSTAT (версия 2016.02.28451) и The Unscrambler X версии 10.4 (Camo Software, США).

Реактивы. Использовали стандартные растворы ионов натрия, магния, фосфора, калия, кальция железа, меди и цинка (по 10 мкг/мл) (Inorganic Ventures, США). Для проверки градуировочной зависимости использовали стандартный образец SRM 3280 (NIST, США). В качестве внутреннего стандарта использовали растворы ионов висмута, индия, лития, скандия, тербия и иттрия по 10 мг/мл (Inorganic Ventures, США). Рабочие стандартные растворы готовили последовательным разбавлением исходных деионизированной водой (не менее 18 МОм×см, ОСТ 11 029.003-80).

Пробоподготовка. Пробоподготовку осуществляли при помощи системы микроволнового разложения Milestone Ethos Up (Milestone, Италия) с ротором MAXI-44 по МУ А-1/067 «Методические указания по определению микро- и макроэлементов в пищевом сырье, кормах и кормовых добавках с использованием масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой». Использовали программное обеспечение MassHunter 4.3 Workstation Software Version C.01.03 для расчета массовой доли определяемых элементов.

Образцы икры для проведения исследований приобретены в интернет-магазине Ozon (1–5), супермаркетах Ашан (21–35), Пятерочка (17), Яндекс-Маркете (18–20) и предоставлены ФГБУ «Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры» (6–16) (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Характеристики проб икры
Characteristics of caviar samples

№	Вид рыбы / Type of fish	Производитель (данные с упаковки) / Manufacturer (data from packaging)	Добавки / Supplements	Дата изготовления / Date of manufacture
1	Чавыча* / Chinook salmon*	ООО «Сахалинская икра», г. Южно-Сахалинск. ГОСТ 18173-2004 / Sakhalin caviar LLC, Yuzhno-Sakhalinsk. GOST 18173-2004	E200 (сорбиновая кислота / sorbic acid), E211 (бензоат натрия / sodium benzoate)	05.08.2024
2	Кижуч* / Coho*	ООО «Камчатский рыболов», г. Петропавловск-Камчатский. ГОСТ 18173-2004 / Kamchatsky Rybolovskiy LLC, Petropavlovsk-Kamchatsky. GOST 18173-2004	E200, E201 (сорбат натрия / sodium sorbate)	04.05.2024
3	Форель* / Trout*	ООО «Форелька», Карелия, д. Тивдия ТУ 9264-002-18022154-205 / ForeLka LLC, Karelia, Tivdia village. TU 9264-002-18022154-205	E200, E201	15.04.2024
4	Кета* / Chum salmon*	ООО ТК «Смак», г. Южно-Сахалинск. ГОСТ 18173-2004 / TK Smak LLC, Yuzhno-Sakhalinsk. GOST 18173-2004	E200, E201	22.07.2024
5	Нерка* / Sockeye salmon*	Рыболовецкая артель «Колхоз красный труженик», с. Запорожье, Камчатский край. ГОСТ 18173-2004 / Fishing artel Kolkhoz Krasny Truzhenik, Zaporozhye village, Kamchatka Krai. GOST 18173-2004	E200, E201	02.06.2024
6	Горбуша / Pink salmon	Икра зернистая дальневосточных лососевых рыб, соленая. Камчатский край / Caviar granular Far Eastern salmon fish, salted. Kamchatka Krai	—**	—**
7	Нерка / Sockeye salmon	ООО «Устькамчатрыба», п. Усть-Камчатск, Камчатский район / UstKamchatrbya LLC, Ust-Kamchatsk, Kamchatka District	E422 (глицерин / glycerol)	11.07.2024
8	Кета / Chum salmon	ООО «Устькамчатрыба», п. Усть-Камчатск, Камчатский район / UstKamchatrbya LLC, Ust-Kamchatsk, Kamchatka District	E422	11.07.2024
9	Горбуша / Pink salmon	Икра зернистая дальневосточных лососевых рыб, соленая. Камчатский край / Caviar granular Far Eastern salmon fish, salted. Kamchatka Krai	—	11.07.2024
10	Кета / Chum salmon	Икра зернистая дальневосточных лососевых рыб, соленая. Камчатский край / Caviar granular Far Eastern salmon fish, salted. Kamchatka Krai	—	11.07.2024
11	Форель / Trout	Икра зернистая из радужной форели. Армения / Rainbow trout granular caviar. Armenia	—	11.07.2024
12	Кета / Chum salmon	Икра зернистая дальневосточных лососевых рыб, соленая. Камчатский край / Caviar granular Far Eastern salmon fish, salted. Kamchatka Krai	—	11.07.2024

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

№	Вид рыбы / Type of fish	Производитель (данные с упаковки) / Manufacturer (data from packaging)	Добавки / Supplements	Дата изготовления / Date of manufacture
13	Горбуша / Pink salmon	Икра лососевая зернистая соленая. Московская область / Salmon caviar granular salted. Moscow region	—	11.07.2024
14	Нерка / Sockeye salmon	Икра зернистая дальневосточных лососе- вых рыб, соленая. Камчатский край / Caviar granular Far Eastern salmon fish, salted. Kamchatka Krai	—	11.07.2024
15	Горбуша / Pink salmon	Икра горбушки солено-мороженая. Камчатский край / Salted and frozen pink salmon caviar. Kamchatka Krai	—	11.07.2024
16	Кета / Chum salmon	Икра лососевая зернистая соленая. Московская область / Salmon caviar granular salted. Moscow region	—	11.07.2024
17	Имитиро- ванная структурно- рованная икра горбушки / Imitated structured pink salmon caviar	ООО «Лунское море», г. Нижний Новгород / Lunskoe More LLC, Nizhny Novgorod	E211, E202 (сорбат калия / potassium sorbate), E466 (карбоксиметилцел- люзова / carboxymethylcel- lulose), E401(альгинат на- трия / sodium alginate), E414 (гуммиарабик / gum arabic), E415 (ксантан / xanthan), E412 (гуаровая камедь / guar gum), E327 (лактат кальция / cal- cium lactate), E331(цитрат натрия / sodium citrate), E120 (кармин / carmine), E160C (экстракт паприки / paprika extract), E110 (желтый закат / sunset yellow), E124 (понко 4R / ponzo 4R)	16.05.2024
18	Горбуша / Pink salmon	Икра лососевая зернистая соленая / Salmon caviar granular salted	— **	2024
19	Кижуч / Coho	Икра лососевая зернистая соленая / Salmon caviar granular salted	— **	2024
20	Кета / Chum salmon	Икра лососевая зернистая соленая / Salmon caviar granular salted	— **	2024
21	Сельдь / Herring	ООО «Лунское море», г. Нижний Новгород ТУ 10.20.26-014-26180181-2019 / Lunskoe More LLC, Nizhny Novgorod TU 10.20.26-014-26180181-2019	E407 (карагинан / carra- geenan), E621 (глутамат натрия / monosodium glutamate), E202, E211	15.10.2024
22	Минтай / Pollock	АО «Русское море», Московская обл. ТУ ВУ 200656098.099-2017 / Russian Sea JSC, Moscow Region TU VU 200656098.099-2017	E1414 (модифицированный крахмал / modified starch), E407, E211, E202, E120, E160C	20.11.2024
23	Треска / Cod	ООО «Лунское море», г. Нижний Новгород ТУ 10.20.26-014-26180181-2019 / Lunskoe More LLC, Nizhny Novgorod TU 10.20.26-014-26180181-2019	E410 (камедь / gum), E621, E415, E412, E200, E211	18.11.2024

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

№	Вид рыбы / Type of fish	Производитель (данные с упаковки) / Manufacturer (data from packaging)	Добавки / Supplements	Дата изготовления / Date of manufacture
24	Треска / Cod	СП «Санта Бремор», Беларусь ТУ ВУ 200656098.099-2017 / Santa Bremor SP, Belarus TU VU 200656098.099-2017	E202, E407, E120, E160C	03.10.2024
25	Щука / Pike	ООО ПК «Кихчик», г. Подольск. ГОСТ 1573-2011 / PC Kikhchik LLC, Podolsk GOST 1573-2011	—	28.08.2024
26	Имитация икры щуки / Imitation pike caviar	ООО «Европром», г. Санкт-Петербург. СТО 47960138-003-2018 / Europrom LLC, St. Petersburg STO 47960138-003-2018	E1422 (дикрахмаладипат ацетилированный / acety- lated distarch adipate), E621, E627 (гуанилат на- трия / sodium guanylate), E631 (инозинат натрия / sodium inosinate), E433 (твин - 80 / twin - 80), E160a (бета каротин / beta carotene), E300 (аскорби- новая кислота / ascorbic acid), E307 (токоферол / tocopherol), E150d (сахар- ный колер / caramel color), E401, E466, E412, E321 (бутилигидрокситолуол / butylated hydroxytoluene)	18.09.2024
27	Треска / Cod	ООО «Авистрон», г. Москва. ТУ 9264-010-71294732-09 / Avistron LLC, Moscow TU 9264-010-71294732-09	E536 (гексацианофер- рат калия / potassium hexacyanoferrate), E200, E300, E315, E110	10.07.2024
28	Сазан / Carp	ООО «Лунское море», г. Нижний Новгород. ТУ 10.20.26-014-26180181-2019 / Lunskoe More LLC, Nizhny Novgorod TU 10.20.26-014-26180181-2019	E621, E415, E410, E412 E200, E211	04.04.2024
29	Судак / Pikeperch	ООО «Лунское море», г. Нижний Новгород. ТУ 10.20.26-014-26180181-2019 / Lunskoe More LLC, Nizhny Novgorod TU 10.20.26-014-26180181-2019	E407, E407a, E621, E509 (хлорид кальция / calcium chloride), E450 (пи- рофосфат натрия / sodium pyrophosphate), E331, E202, E211, E124, E110	15.05.2024
30	Палтус / Halibut	ООО «Авистрон», г. Москва ТУ 10.20.26-010-71294732-2017 / Avistron LLC, Moscow TU 10.20.26-010-71294732-2017	E536, E153 (уголь рас- тительный / vegetable charcoal), E200, E300, E315	17.04.2024
31	Палтус / Halibut	ООО «Виктория», Московская обл. ТУ 10.20.26-191-00472093-2017 / Victoria LLC, Moscow region TU 10.20.26-191-00472093-2017	E621, E150d, E151 (брилли- антовый черный BN / brilliant black BN), E172 (оксиды железа / iron oxides), E330 (лимонная кислота / citric acid), E211, E202	20.03.2024

Окончание табл. 1 / Continuation of the Table 1

№	Вид рыбы / Type of fish	Производитель (данные с упаковки) / Manufacturer (data from packaging)	Добавки / Supplements	Дата изготовления / Date of manufacture
32	Имитация черной икры / Imitation of black caviar	ООО «Лунское море», г. Нижний Новгород СТО 26180181-2019 / Lunskoe More LLC, Nizhny Novgorod СТО 26180181-2019	E153, E401, E406, E211, E202, E509, E330	26.11.2024
33	Имитация черной икры / Imitation of black caviar	ООО «Лунское море», г. Нижний Новгород СТО 26180181-2019 / Lunskoe More LLC, Nizhny Novgorod СТО 26180181-2019	E153, E401, E406 (агар / agar), E211, E202, E509, E330	26.10.2024
34	Имитация черной икры / Imitation of black caviar	ООО ТД «Балтийский берег», г. Санкт- Петербург. СТО 15167786-002-2017 / TD Baltic Coast LLC, St. Petersburg. СТО 15167786-002-2017	E261 (ацетат калия / potassium acetate), E631, E627, E401, E406, E321, E306, E153	19.09.2024
35	Осетр / Sturgeon	ООО РТФ «Диана», Волгоградская обл. ТУ 10.20.26-003-04914412-2017 / RTF Diana LLC, Volgograd region. TU 10.20.26-003- 04914412-2017	Пищевая соль / Table salt	26.11.2024

Примечание. *Проведенные ранее исследования [13] показали факт фальсификации проб 1–5, **данные отсутствуют.

Note. *Previous studies [13] have shown the fact of s falsification of samples 1–5, **no data available.

Результаты и их обсуждение

Применение хемометрических алгоритмов – метода главных компонент (МГК) и иерархического кластерного анализа (ИКА) – широко используется для обработки и интерпретации многомерных химических данных [14–18]. Данные методы позволили наглядно показать различие в элементном составе анализируемой икры (табл. 2).

Икра лососевых рыб. На графике счетов (рис. 1, а), полученном методом МГК, видно четкое разделение проб на две группы: образцы имитированной икры (номера 1–5 и 17) расположены в левой части графика, в то время как образцы натуральной икры (номера 6–16 и 18–20) преимущественно сосредоточены в правой. Такое распределение образцов в координатах первых двух главных компонент указывает на то, что первая главная компонента (PC1), объясняющая около 44% общей дисперсии данных, отражает основное различие между двумя группами. Вторая главная компонента (PC2), объясняющая примерно 19% дисперсии, отражает внутригрупповые

различия и в меньшей степени влияет на разделение образцов по типу икры. График нагрузок (см. рис. 1, б) показывает, какие именно переменные ответственны за разделение проб по подлинности. Так, при рассмотрении данного графика видно, что элементы Mg, P, Zn, K и Fe имеют наиболее высокие значения проекций на PC1, то есть обладают наибольшими нагрузками по первой компоненте.

Обозначенные переменные вносят главный вклад в различие между группами: их высокие нагрузки на PC1 указывают, что различие в содержании Mg, P, Zn, K и Fe в образцах (рис. 2) во многом определяет положение образцов на оси PC1. Иными словами, разделение натуральной и имитированной икры по PC1 обусловлено преимущественно разницей в концентрациях этих элементов. Для натуральной икры характерно более высокое содержание Mg, P, Zn, K, Fe (соответствует положительному направлению PC1), тогда как в имитированной икре концентрация указанных переменных значительно меньше (соответствует отрицательному направлению PC1).

Таблица 2 / Table 2

Результаты элементного анализа икры рыб разных видов, нг/г
Results of elemental analysis of fish caviar of different species, ng/g

№	Вид рыбы / Type of fish	Na	Mg	P	K	Ca	Fe	Cu	Zn
1	Чавыча* / Chinook salmon*	$13,9 \times 10^3$	9,31	13,1	1915	1013	24,2	0,22	0,19
2	Кижуч* / Coho*	$18,3 \times 10^3$	14,7	17,7	2936	2226	17,3	0,05	0,31
3	Форель* / Trout*	$13,9 \times 10^3$	0,00	7,00	659	1741	11,6	0,01	0,25
4	Кета* / Chum salmon*	$12,3 \times 10^3$	9,65	2629	1558	805	7,00	0,06	0,40
5	Нерка* / Sockeye salmon*	$14,4 \times 10^3$	12,8	2383	2128	2360	34,0	0,28	0,25
6	Горбуша / Pink salmon	$17,0 \times 10^3$	484	7826	3454	769	27,3	2,03	23,7
7	Нерка / Sockeye salmon	$10,5 \times 10^3$	694	4958	1922	806	22,0	67,1	35,6
8	Кета / Chum salmon	$15,8 \times 10^3$	1454	8103	3591	2091	34,6	6,86	25,4
9	Горбуша / Pink salmon	$15,1 \times 10^3$	1249	9593	4525	1487	35,6	1,98	27,3
10	Кета / Chum salmon	$10,0 \times 10^3$	697	7927	4057	824	23,3	9,21	26,1
11	Форель / Trout	$21,4 \times 10^3$	518	8232	3684	1071	19,2	2,17	41,8
12	Кета / Chum salmon	$18,7 \times 10^3$	934	6386	2390	773	27,1	2,09	16,3
13	Горбуша / Pink salmon	$10,6 \times 10^3$	835	5505	2228	726	21,7	5,14	18,1
14	Нерка / Sockeye salmon	$9,43 \times 10^3$	637	4695	1679	672	20,7	58,4	32,5
15	Горбуша / Pink salmon	$11,0 \times 10^3$	741	7503	3633	1826	45,9	2,29	21,7
16	Кета / Chum salmon	$22,3 \times 10^3$	1260	6675	3187	1443	16,5	4,48	16,9
17	Горбуша / Pink salmon	$13,9 \times 10^3$	28,1	181	329	1316	14,5	0,11	0,990
18	Горбуша / Pink salmon	$11,7 \times 10^3$	774	5358	2066	740	26,6	5,96	17,3
19	Кижуч / Coho	$4,32 \times 10^3$	493	5192	1495	671	19,9	3,90	25,6
20	Кета / Chum salmon	$12,4 \times 10^3$	732	5245	2398	668	20,0	4,82	18,3
21	Сельдь / Herring	$13,4 \times 10^3$	64,7	746	1523	292	8,50	0,31	8,58
22	Минтай / Pollock	$19,0 \times 10^3$	66,4	1961	1725	110	4,52	0,45	14,5
23	Треска / Cod	$17,1 \times 10^3$	106	1639	2868	1323	12,1	0,32	11,6

Окончание табл. 1 / Continuation of the Table 1

№	Вид рыбы / Type of fish	Na	Mg	P	K	Ca	Fe	Cu	Zn
24	Треска / Cod	$18,1 \times 10^3$	44,5	1749	1706	98,1	5,44	0,49	15,4
25	Щука / Pike	$13,7 \times 10^3$	175	2856	233	366	23,9	0,63	43,1
26	Имитация икры щуки / Imitation pike caviar	$12,8 \times 10^3$	5,58	41,4	55,5	1154	6,51	0,04	0,591
27	Треска / Cod	$17,1 \times 10^3$	35,9	1576	1472	376	6,27	0,35	12,0
28	Сазан / Carp	$16,4 \times 10^3$	81,4	1593	2874	1317	13,5	0,36	12,1
29	Судак / Pikeperch	$16,8 \times 10^3$	78,9	1319	2874	1299	12,3	0,26	9,44
30	Палтус / Halibut	$12,8 \times 10^3$	25,8	2088	502	69,8	2,16	0,31	16,2
31	Палтус / Halibut	$10,9 \times 10^3$	26,5	1924	631	3182	15,9	0,31	14,7
32	Имитация черной икры / Imitation of black caviar	$12,6 \times 10^3$	8,08	424	227	1275	6,12	0,05	0,321
33	Имитация черной икры / Imitation of black caviar	$14,1 \times 10^3$	7,47	4,50	433	673	4,16	0,01	0,30
34	Имитация черной икры / Imitation of black caviar	$13,6 \times 10^3$	1,85	7,29	9,16	951	4,70	0,06	0,29
35	Осетр / Sturgeon	$13,6 \times 10^3$	148	3700	916	115	22,8	1,16	23,4

Примечание. * – Фальсификат икры.

Note. * – Counterfeit caviar.

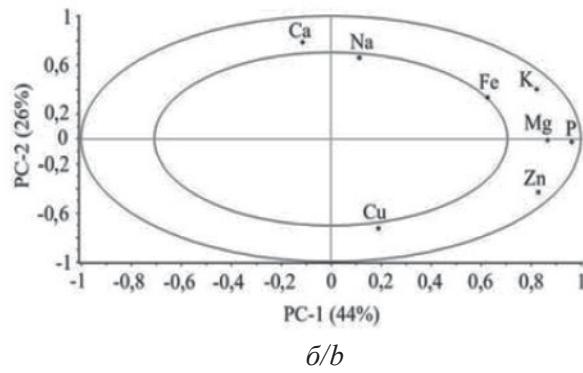
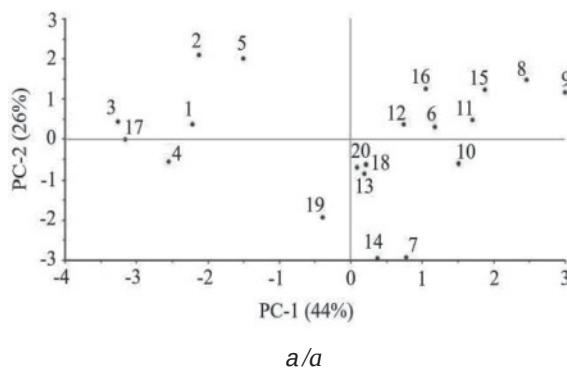


Рис. 1. Графики счетов (а) и нагрузок (б) для разделения проб икры лососевых рыб по подлинности
Fig. 1. Count plots (a) and loadings (b) for separating salmonid fish caviar samples by authenticity

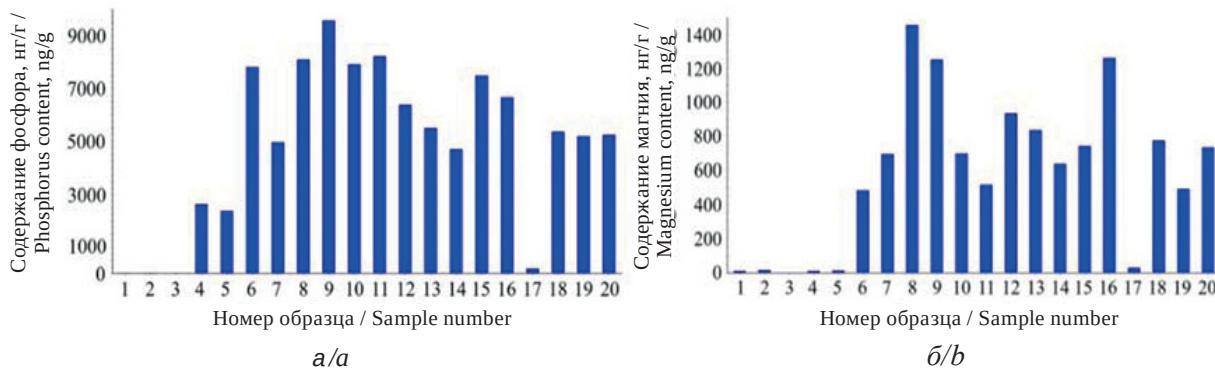


Рис. 2. Сравнительный анализ содержания P (а) и Mg (б) в анализируемых пробах икры лососевых рыб

Fig. 2. Comparative analysis of P (a) and Mg (b) content in analysed samples of salmon fish caviar

С помощью иерархического кластерного анализа проведена четкая дифференциация проб икры по подлинности (рис. 3). Образцы фальсифицированной икры (номера 1–5 и 17) находятся в отдельном кластере, расположенному в верхней части дендрограммы, тогда как пробы натуральной икры (номера 6–16 и 18–20) формируют собственный, обособленный кластер в нижней части. Важно отметить, что ветви кластеров, соответствующие натуральной и имитированной икре, не пересекаются, что подтверждает четкое разделение между этими двумя группами по элементному составу. Кроме того, расстояние между двумя кластерами на дендрограмме указывает на их существенное различие, что коррелирует с результатами анализа методом МГК. Таким образом, анализ графика ИКА подтверждает возможность использования иерархической кластеризации данных для классификации икры и выявления ее фальсификата.

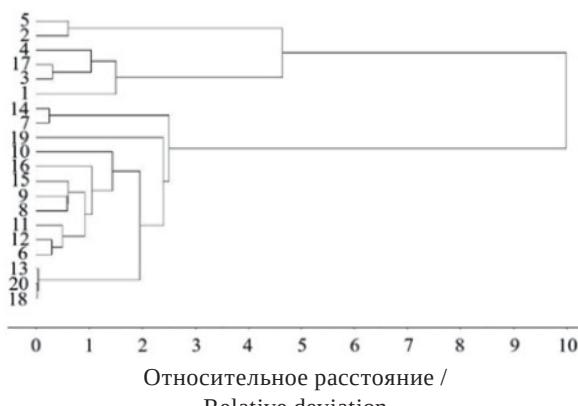


Рис. 3. График МГК для дифференции проб натуральной и имитированной икры лососевых рыб

Fig. 3. HCA plot for sample differentiation between natural and imitation salmon fish caviar samples

Икра осетровых рыб. Для дифференциации натуральной и имитированной черной икры использованы такие же методы обработки данных, как и в случае с красной икрой (МГК и ИКА). Указанные алгоритмы позволили четко различить пробы черной икры по их элементному составу. Анализ, проведенный с использованием метода главных компонент для дифференциации натуральной и имитированной черной икры, показал четкое разделение между тремя типами икры (рис. 4, а). На графике счетов видно, что точка от пробы натуральной черной икры (образец 35) размещается в отдельной области, в то время как часто используемая под видом осетровых окрашенная в черный цвет икра палтуса (образцы 30 и 31) расположена ближе друг к другу, но в другой области. Пробы имитированной черной икры (образцы 32–34) занимают отдельное место в правой части графика, что подтверждает четкое разделение между этими тремя типами икры. Первая главная компонента (PC-1) объясняет 66% общей дисперсии данных, что указывает на ее значимость в различении этих образцов. График нагрузок (рис. 4, б) показывает, что на первую главную компоненту в наибольшей степени влияют те же химические элементы, как и при анализе красной икры (Mg, K, P, Fe, Zn). Однако в данном случае дополнительно заметно влияние меди, которая, как и указанные выше элементы, оказывает значительное влияние на различие между типами икры.

Результаты иерархического кластерного анализа, представленные на дендрограмме (рис. 5), подтверждают четкое разделение между различными типами черной икры. Образцы разделены на два основных кластера, что хорошо видно на дендрограмме, построенной с исполь-

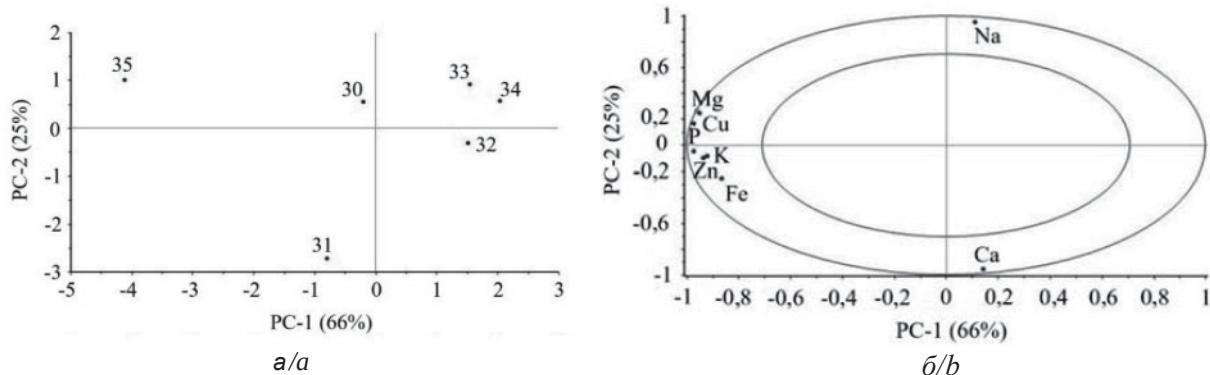


Рис. 4. Графики счетов (а) и нагрузок (б) для разделения проб икры осетровых рыб по подлинности

Fig. 4. Graphs of counts (a) and loads (b) for separation of sturgeon caviar samples by authenticity

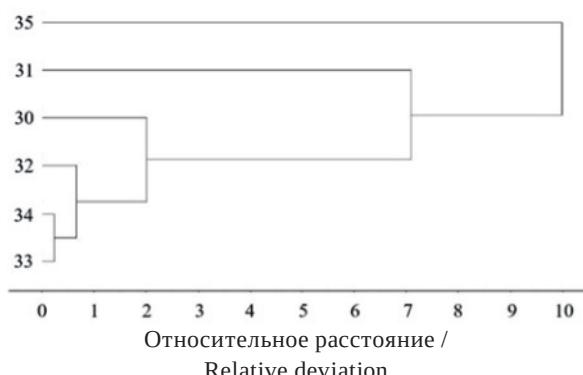


Рис. 5. График ИКА для дифференции проб натуральной и имитированной икры осетровых рыб

Fig. 5. HCA plot for differentiation of samples of natural and imitated sturgeon caviar

зованием метода одиночной связи и квадратного Евклидова расстояния. Так, натуральная черная икра (проба 35) формирует отдельный кластер в верхней части дендрограммы. Таким образом, расположение пробы 35 указывает на значительное отличие от других образцов по элементному составу, что подтверждается результатами МГК. Пробы 30 и 31 (икра палтуса,

окрашенная в черный цвет) образуют разные кластеры. Обособленность проб икры палтуса свидетельствует о некотором различии в составе этих проб по сравнению с натуральной черной икрой. Пробы 32–34 (имитированная черная икра) образуют отдельный кластер в нижней части дендрограммы, что говорит о значительном различии с натуральной икрой.

Икра частиковых рыб. На графике МГК (рис. 6, а) видно четкое разделение проб натуральной и имитированной икры щуки. Проба натуральной икры щуки (№ 25) расположена в третьем квадранте, а имитированной (№ 26) – в четвертом. Такое разделение обусловлено первой главной компонентой, которая объясняет 52% общей дисперсии данных. График нагрузок (см. рис. 6, б) показывает, что на формирование PC-1 наибольшее влияние оказывают элементы Mg, Zn, Cu, P и Fe. Высокая нагрузка этих переменных на первую компоненту позволяет предположить, что именно различия в их содержании в значительной степени определяют дифференциацию между натуральной и имитированной икрой щуки.

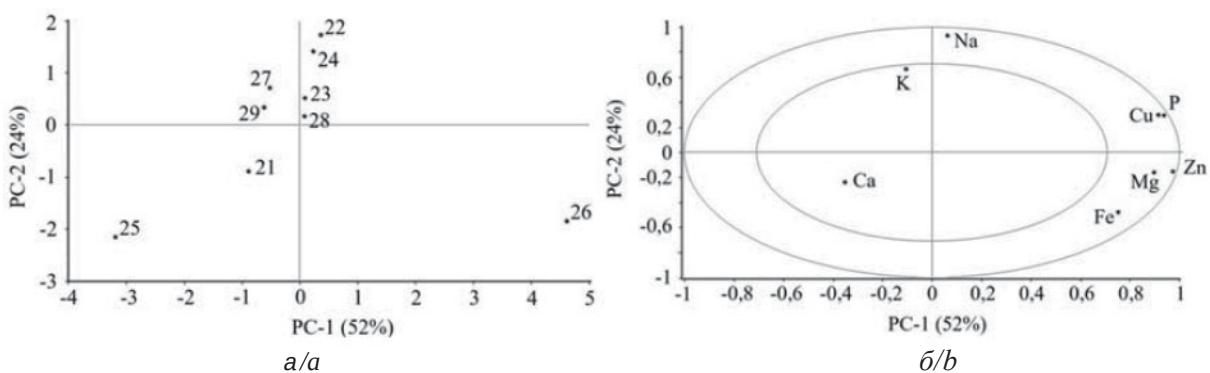


Рис. 6. Графики счетов (а) и нагрузок (б) для икры рыб частиковых пород

Fig. 6. Count (a) and load (b) plots for fish caviar of particulate species

Заключение

В данной работе показана эффективность использования масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в сочетании с хемометрическими методами для дифференциации натуральной и имитированной икры. Полученные результаты подтвердили высокую точность предложенного подхода, который позволяет разделять группы проб на основе их элементного состава. С помощью методов МГК и ИКА удалось выявить различия между натуральной и имитированной икрой. Установлено, что основными элементами, ответственными за разделение икры по подлинности, являются: Mg, P, Zn, K, Fe – для красной икры, Mg, P, Zn, K, Fe, Cu – для черной икры, Mg, Zn, Cu, P и Fe – для икры частиковых рыб. Таким образом, сочетание метода МС-ИСП с хемометрическими подходами обеспечило высокую точность и надежность при дифференциации и классификации икры. Данный подход имеет большой потенциал и может быть эффективным инструментом для борьбы с фальсификатом икры.

Список литературы

1. Воронцова Е. В., Воронцов А. Л. Обеспечение качества и безопасности пищевой продукции как основа обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации в условиях глобализации пищевого рынка // Юридический вестник ДГУ. 2021. Т. 40, вып. 4. С. 75–80. <https://doi.org/10.21779/2224-0241-2021-40-4-75-80>
2. Tavakoli S., Luo Y., Regenstein J. M., Daneshvar E., Bhattacharya A., Tan Y., Hong H. Sturgeon, caviar, and caviar substitutes: From production, gastronomy, nutrition, and quality change to trade and commercial mimicry // Rev. Fish. Sci. Aquacult. 2021. Vol. 29, № 39. P. 753–768. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1873244>
3. Machado T. M., Tabata Y. A., Takahashi N. S., Casarini L. M., Neiva C. R. P., Henriques M. B. Caviar substitute produced from roes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Acta Sci. Technol. 2016. Vol. 38, № 2. P. 233–240. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v28i2.27944>
4. Farag M. A., Abib B., Tawfik S., Shafik N., Khattab A. R. Caviar and fish roe substitutes: Current status of their nutritive value, bio-chemical diversity, authenticity and quality control methods with future perspectives // Trends Food Sci. Technol. 2021. Vol. 110. P. 405–417. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.015>.
5. Ситникова Н. В. Идентификация и фальсификация икры в России // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В. Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. 2007. № 2 (28). С. 84–101.
6. Калюжная Т. В., Орлова Д. А., Родак Г. Н. Идентификация икры лососевых пород рыб с помощью полимеразной цепной реакции с наблюдением в реальном времени // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 4. С. 88–92. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2021.4.88>
7. Santiago-Felipe S., Tortajada-Genaro L. A., Puchades R., Maquieira A. Recombinase polymerase and enzyme-linked immunosorbent assay as a DNA amplification-detection strategy for food analysis // Anal. Chim. Acta. 2014. Vol. 811. P. 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.12.017>
8. Taboada L., Sanchez A., Sotelo C. G. A new real-time PCR method for rapid and specific detection of ling (*Molva molva*) // Food Chem. 2017. Vol. 228. P. 469–476. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.117>.
9. Pappalardo A. M., Petraccioli A., Capriglione T., Ferrito V. From fish eggs to fish name: Caviar species discrimination by coiba-rflp, an efficient molecular approach to detect fraud in the caviar trade // Molecules. 2019. Vol. 24, № 13. Article 2468. <https://doi.org/10.3390/molecules24132468>
10. Абрамова Л. С., Козин А. В., Гусева Е. С. Проблема фальсификации зернистой икры лососевых рыб и пути решения // Пищевые системы. 2022. Т. 5, № 4. С. 319–326. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-319-326>
11. Mazarakioti E. C., Zotos A., Thomatou A. A., Kontogeorgos A., Patakas A., Ladas A. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), a useful tool in authenticity of agricultural products' and foods' origin // Foods. 2022. Vol. 11, № 22. Article 3705. <https://doi.org/10.3390/foods11223705>
12. Третьяков А. В., Абраменкова О. И., Подколзин И. В., Соловьев А. И. Идентификация географической принадлежности мяса и икры методом химического фингерпринтинга // Ветеринария сегодня. 2012. № 2 (2). С. 39–46.
13. Amelin V. G., Emel'yanov O. E., Tret'yakov A. V., Gergel' M. A., Zaitseva E. V. Identification and detection of adulterations of salmon caviar by PCR, IR Spectrometry, and digital colorimetry // J. Anal. Chem. 2025. Vol. 80, № 4. P. 766–777. <https://doi.org/10.1134/S1061934825700194>
14. Vasconi M., Tirloni E., Stella S., Coppola C., Lopez A., Bellagamba F., Bernardi C., Moretti V. M. Comparison of chemical composition and safety issues in fish roe products: Application of chemometrics to chemical data // Foods. 2020. Vol. 9, № 5. P. 540–545. <https://doi.org/10.3390/foods9050540>
15. Родионова О. Е. Хемометрический подход к исследованию больших массивов химических данных // Российский химический журнал. 2006. Т. 50, № 2. С. 128–144.
16. Родионова О. Е., Померанцев А. Л. Хемометрика: достижения и перспективы // Успехи химии. 2006. Т. 75, № 4. С. 302–321.
17. Oliveri P., Malegori C., Casale M. Chemometrics: Multivariate analysis of chemical data // Chemical Analy-

- sis of Food (Second Edition). Academic Press, 2020. P. 33–76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813266-1.00002-4>
18. Houhou R., Bocklitz T. Trends in artificial intelligence, machine learning, and chemometrics applied to chemical data // *Analytical Science Advances*. Wiley, 2021. P. 128–141. <https://doi.org/10.1002/ansa.202000162>
- References**
1. Vorontsova E. V., Vorontsov A. L. Ensuring the quality and safety of food products as a basis for ensuring food security of the Russian Federation in the context of food market globalization. *Law Herald of Dagestan State University*, 2021, vol. 40, iss. 4, pp. 75–80 (in Russian). <https://doi.org/10.21779/2224-0241-2021-40-4-75-80>
 2. Tavakoli S., Luo Y., Regenstein J. M., Daneshvar E., Bhatnagar A., Tan Y., Hong H. Sturgeon, caviar, and caviar substitutes: From production, gastronomy, nutrition, and quality change to trade and commercial mimicry. *Rev. Fish. Sci. Aquacult.*, 2021, vol. 29, no. 39, pp. 753–768. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1873244>
 3. Machado T. M., Tabata Y. A., Takahashi N. S., Casarini L. M., Neiva C. R. P., Henriques M. B. Caviar substitute produced from roes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Sci. Technol.*, 2016, vol. 38, no. 2, pp. 233–240. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v28i2.27944>
 4. Farag M. A., Abib B., Tawfik S., Shafik N., Khattab A. R. Caviar and fish roe substitutes: Current status of their nutritive value, bio-chemical diversity, authenticity and quality control methods with future perspectives. *Trends Food Sci. Technol.*, 2021, vol. 110, pp. 405–417. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.015>
 5. Sitnikova N. V. Identification and adulteration of caviar in Russia. *Scientific Letters of Russian Customs Academy the St.-Petersburg branch named after Vladimir Bobkov*, 2007, no. 2 (28), pp. 84–101 (in Russian).
 6. Kalyuzhnaya T. V., Orlova D. A., Rodak G. N. Identification of salmonid fish eggs using polymerase chain reaction with real-time observation. *International Journal of Veterinary Medicine*, 2021, no. 4, pp. 88–92 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2021.4.88>
 7. Santiago-Felipe S., Tortajada-Genaro L. A., Puchades R., Maquieira A. Recombinase polymerase and enzyme-linked immunosorbent assay as a DNA amplification-detection strategy for food analysis. *Anal. Chim. Acta*, 2014, vol. 811, pp. 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.12.017>
 8. Taboada L., Sanchez A., Sotelo C. G. A new real-time PCR method for rapid and specific detection of ling (*Molva molva*). *Food Chem.*, 2017, vol. 228, pp. 469–476. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.117>
 9. Pappalardo A. M., Petraccioli A., Capriglione T., Ferrito V. From fish eggs to fish name: Caviar species discrimination by coi-bar-rflp, an efficient molecular approach to detect fraud in the caviar trade. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 13, article 2468. <https://doi.org/10.3390/molecules24132468>
 10. Abramova L. S., Kozin A. V., Guseva E. S. Problem of adulteration of salmon fish caviar and ways of solution. *Food Systems*, 2022, vol. 5, no. 4, pp. 319–326 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-319-326>
 11. Mazarakioti E. C., Zotos A., Thomatou A. A., Kontogeorgos A., Patakas A., Ladavos A. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), a useful tool in authenticity of agricultural products' and foods' origin. *Foods*, 2022, vol. 11, no. 22, article 3705. <https://doi.org/10.3390/foods11223705>
 12. Tret'yakov A. V., Abramenkova O. I., Podkolzin I. V., Solov'ev A. I. Identification of the geographical origin of meat and caviar by chemical fingerprinting. *Veterinary Science Today*, 2012, no. 2 (2), pp. 39–46 (in Russian).
 13. Amelin V. G., Emel'yanov O. E., Tret'yakov A. V., Gergel' M. A., Zaitseva E. V. Identification and detection of adulterations of salmon caviar by PCR, IR Spectrometry, and digital colorimetry. *J. Anal. Chem.*, 2025, vol. 80, no. 4, pp. 766–777. <https://doi.org/10.1134/S1061934825700194>
 14. Vasconi M., Tirloni E., Stella S., Coppola C., Lopez A., Bellagamba F., Bernardi C., Moretti V. M. Comparison of chemical composition and safety issues in fish roe products: Application of chemometrics to chemical data. *Foods*, 2020, vol. 9, no. 5, pp. 540–545. <https://doi.org/10.3390/foods9050540>
 15. Rodionova O. E. A chemometric approach to the study of large chemical data sets. *Russian Journal of General Chemistry*, 2006, vol. 50, no. 2, pp. 128–144 (in Russian).
 16. Rodionova O. E., Pomerantsev A. L. Chemometrics: Achievements and perspectives. *Russian Chemical Reviews*, 2006, vol. 75, no. 4, pp. 302–321 (in Russian).
 17. Oliveri P., Malegori C., Casale M. Chemometrics: Multivariate analysis of chemical data. In: *Chemical Analysis of Food (Second Edition)*. Academic Press, 2020, pp. 33–76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813266-1.00002-4>
 18. Houhou R., Bocklitz T. Trends in artificial intelligence, machine learning, and chemometrics applied to chemical data. In: *Analytical Science Advances*. Wiley, 2021, pp. 128–141. <https://doi.org/10.1002/ansa.202000162>

Поступила в редакцию 07.09.2025, одобрена после рецензирования 28.09.2025, принята к публикации 30.09.2025
The article was submitted 07.09.2025, approved after reviewing 28.09.2025, accepted for publication 30.09.2025

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 406–415

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 406–415

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-406-415>, EDN: OKRRZD

Научная статья

УДК 541.123.3+543.572.3+544.123

Трёхкомпонентная взаимная система из фторидов и вольфраматов натрия и стронция



А. А. Матвеев[✉], И. К. Гаркушин, М. А. Сухаренко

Самарский государственный технический университет, Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244

Матвеев Андрей Александрович, аспирант, matveevaa.97@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7755-0154>

Гаркушин Иван Кириллович, доктор химических наук, профессор кафедры общей и неорганической химии, gik49@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6038-8519>

Сухаренко Мария Александровна, кандидат химических наук, доцент кафедры общей и неорганической химии, sukharenko_maria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8406-4268>

Аннотация. В работе приведено теоретическое и экспериментальное исследование трёхкомпонентной взаимной системы $\text{Na}^+ \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^- \text{WO}_4^{2-}$. В теоретической части проведено геометрическое моделирование фазового комплекса. Термодинамическим методом, согласно закону Гесса, подтвержден вариант разбиения с тремя фазовыми треугольниками $\text{NaF} - \text{SrF}_2 - \text{SrWO}_4$, $\text{NaF} - 2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4$, $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4 - \text{Na}_2\text{WO}_4$. В соответствии с выбранным вариантом разбиения проведено моделирование вариантов ликвидусов трёхкомпонентной взаимной системы $\text{Na}^+ \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^- \text{WO}_4^{2-}$. Экспериментально разбиение подтверждено методом рентгенофазового анализа смеси 50 экв% Na_2WO_4 и 50 экв% SrF_2 , отвечающей точке полной конверсии. Описаны основные реакции химического взаимодействия для смесей, отвечающих точкам эквивалентности. Дифференциальным термическим анализом, а также рентгенофазовым анализом и термогравиметрией изучена серия полигермических разрезов, из которых определены направления на три точки нонвариантных равновесий и координаты (состав и температура) тройных эвтектика и двух перитектик. Точки нонвариантных равновесий расположены в фазовых треугольниках $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4 - \text{Na}_2\text{WO}_4$ и $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4 - \text{NaF}$. Рассмотренный фазовый комплекс трёхкомпонентной взаимной системы $\text{Na}^+ \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^- \text{WO}_4^{2-}$ представлен пятью полями кристаллизации – фторидов натрия и стронция, вольфрамата стронция, соединения $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4$ инконгруэнтного плавления и вольфрамата натрия. Теоретическое и экспериментальное рассмотрение трёхкомпонентной взаимной системы $\text{Na}^+ \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^- \text{WO}_4^{2-}$ показало, что доминирующее поле кристаллизации принадлежит вольфрамату стронция как более тугоплавкому компоненту. Минимальное поле кристаллизации принадлежит вольфрамату натрия. Уточнено древо фаз системы и данные по температурам плавления и составам точек нонвариантных равновесий по сравнению с полученными ранее данными по системе.

Ключевые слова: система, фазовый комплекс, ликвидус, эвтектика, перитектика, химическое взаимодействие

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSSE-2023-0003) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета.

Для цитирования: Матвеев А. А., Гаркушин И. К., Сухаренко М. А. Трёхкомпонентная взаимная система из фторидов и вольфраматов натрия и стронция // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 406–415. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-406-415>, EDN: OKRRZD

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

Article

A three-component reverse system of sodium and strontium fluorides and toluomates

А. А. Matveyev[✉], И. К. Garkushin, М. А. Sukharensko

Samara State Technical University, 244 Molodogvardeiskay St., Samara 443100, Russia

Andrey A. Matveyev, matveevaa.97@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7755-0154>

Ivan K. Garkushin, gik49@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6038-8519>

Maria A. Suharenko, sukharenko_maria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8406-4268>

Abstract. The paper presents a theoretical and experimental study of the three-component mutual system $\text{Na}^+ \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^- \text{WO}_4^{2-}$. In the theoretical part, geometric modeling of phase complex is carried out. The thermodynamic method, according to Hess's law, confirmed the partition variant with three phase triangles $\text{NaF} - \text{SrF}_2 - \text{SrWO}_4$, $\text{NaF} - 2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4$, $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4 - \text{Na}_2\text{WO}_4$. In accordance with the chosen partition option, the simulation of the liquidus variants of the three-component mutual system $\text{Na}^+ \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^- \text{WO}_4^{2-}$ has been carried



out. The separation has been experimentally confirmed by X-ray phase analysis of a mixture of 50 eq% Na_2WO_4 and 50 eq% SrF_2 corresponding to the full conversion point. The main reactions of chemical interaction for mixtures corresponding to equivalence points are described. A series of polythermal sections has been studied by differential thermal analysis, as well as X-ray phase analysis and thermogravimetry, from which the directions to three points of non-invariant equilibria and the coordinates (composition and temperature) of the triple eutectic and two peritectic have been determined. The points of non-invariant equilibria are located in the phase triangles $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4 - \text{Na}_2\text{WO}_4$ and $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4 - \text{NaF}$. The considered phase complex of the three-component mutual system $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$ is represented by five crystallization fields – sodium and strontium fluorides, strontium tungstate, $2\text{NaF} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4$ compounds of incongruent melting and sodium tungstate. Theoretical and experimental consideration of the three-component mutual system $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$ showed that the dominant crystallization field belongs to strontium tungstate as a more refractory component. The minimum crystallization field belongs to sodium tungstate. The system's phase tree and data on melting temperatures and compositions of non-standard equilibrium points have been refined in comparison with the previously obtained data on the system.

Keywords: system, phase complex, liquidus, eutectic, peritectic, chemical interaction

Acknowledgments. The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic no. FSSE-2023-0003) as part of the state assignment of Samara State Technical University.

For citation: Matveev A. A., Garkushin I. K., Sukharensko M. A. A three-component reverse system of sodium and strontium fluorides and toluo-
mates. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 406–415 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-406-415>, EDN: OKRRZD

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

Введение

Вольфраматы щелочных и щелочноземельных металлов широко используются в качестве монокристаллов в лазерной технике и как люминесцентные материалы [1]. При этом кристаллы вольфрамата стронция являются наиболее технологичными, так как имеют близкие к рекордным характеристикам эффекты вынужденного комбинационного рассеяния [2]. Получают монокристаллы вольфрамата стронция различными методами [3–6], в том числе используя информацию по фазовым диаграммам систем из двух и более компонентов, включающих вольфраматы и галогениды щелочных и щелочноземельных элементов. Фазовые диаграммы показывают взаимную

растворимость солей и химическое взаимодействие в невзаимных и взаимных солевых системах.

Целью данной работы является изучение физико-химического взаимодействия в трехкомпонентной взаимной системе из фторидов и вольфраматов натрия и стронция.

Материалы и методы

Трёхкомпонентная взаимная система $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$ состоит из четырёх индивидуальных веществ, термические и термодинамические свойства которых приведены в табл. 1 и на рис. 1 [7, 8]. Квадрат составов включает четыре двухкомпонентные системы, три из которых изучены ранее [9–15].

Таблица 1 / Table 1

Термические и термодинамические свойства индивидуальных веществ [7, 8]
Thermal and thermodynamic properties of individual substances [7, 8]

Вещество / Substance	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C} / T_{\text{мelt}}, ^\circ\text{C} /$	$T_{\text{фп}}, ^\circ\text{C} / T_{\text{fp}}, ^\circ\text{C} /$	$\Delta_f H^\circ_{298}, \text{кДж/моль} / \text{kJ/mol}$	$\Delta_f G^\circ_{298}, \text{кДж/моль} / \text{kJ/mol}$
NaF	996	–	−572,831	−542,572
Na_2WO_4	696	$\beta \rightarrow \gamma$ 585	−1547,661	−1433,099
		$\alpha \rightarrow \beta$ 573		
		–		
SrF_2	1477	–	−1220,891	−1168,335
SrWO_4	1535	–	−1635,015	−1527,578
$\text{Na}_4\text{F}_2\text{WO}_4$ (D_u)	693	–	−2693,323*	−2518,243*

Примечание. * – рассчитано по аддитивности.

Note. * – calculated by additivity.

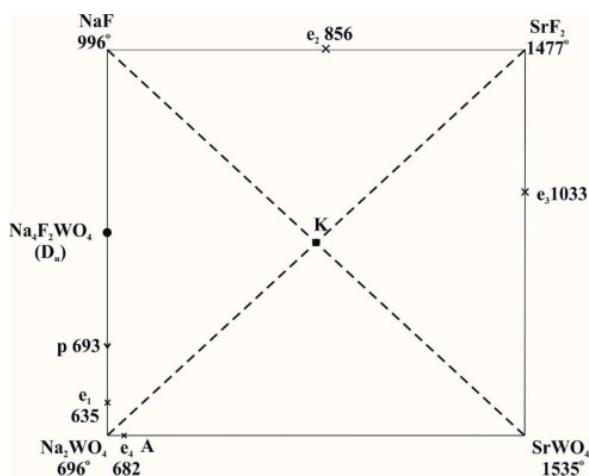


Рис. 1. Квадрат составов системы $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$

Fig. 1. The square of the system compositions
 $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$

Система $\text{NaF}-\text{Na}_2\text{WO}_4$ [9]. В системе образуется эвтектика (e_1) при температуре 632°C и 89,5 экв.%, Na_2WO_4 и перитектика (p_1) при температуре 690°C и 72,5 экв.%. Na_2WO_4 отвечает инконгруэнтному плавлению соединения $2\text{NaF}\cdot\text{Na}_2\text{WO}_4$.

Система $\text{NaF}-\text{SrF}_2$ [10]. Отмечено образование эвтектики (e_2) при температуре 858°C и 49,5 экв.% SrF_2 .

Система $\text{Na}_2\text{WO}_4-\text{SrWO}_4$ [11–13]. В системе образуется эвтектика (e_3) при 685°C из 2,0% экв. SrWO_4 .

Система $\text{SrF}_2-\text{SrWO}_4$. Система не исследована из-за высоких температур плавления исходных веществ, в теоретической части работы проведена приближенная оценка координат эвтектики с использованием данных литературы по изученным аналогичным системам $\text{CaF}_2-\text{CaWO}_4$ [13, 14] и $\text{BaF}_2-\text{BaWO}_4$ [14, 15].

В работе применены теоретический и экспериментальные методы исследования фазовых диаграмм. Среди теоретических методов использованы метод геометрического моделирования вариантов разбиения и построения моделей ликвидусов тройной взаимной системы, термодинамический метод,

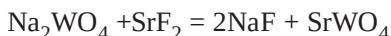
основанный на расчете стандартных значений энталпий и энергий Гиббса реакций обмена [12, 13]. Примененные экспериментальные методы – дифференциальный термический анализ (ДТА) [16–20], термогравиметрический анализ (ТГА) [19, 20], рентгенофазовый анализ (РФА) [21, 22].

Теоретический анализ

В неисследованной системе $\text{SrF}_2-\text{SrWO}_4$ рассчитаны координаты эвтектики при помощи аналитического описания в Microsoft Excel и построения линейных зависимостей $f(t) = g(z(\text{Me}))$ и $f(x(\text{MeF}_2)) = g(z(\text{Me}))$, где $f(t)$ – функциональная зависимость температуры плавления эвтектики от порядкового номера металла в соединении $\text{Me} = \text{Ca}, \text{Ba}$, $f(x(\text{MeF}_2))$ – функциональная зависимость содержания в эвтектике фторида щелочноземельного металла от его порядкового номера [23, 24]. По полученным уравнениям $t(z) = -2,5556z + 1130,8$ и $x(z) = 0,3056z + 49,889$ рассчитаны координаты эвтектики в системе $\text{SrF}_2-\text{SrWO}_4$: температура плавления 1033°C , содержание $\text{SrF}_2 = 61,50$ экв.%.

После нанесения на квадрат составов полных данных по ограничивающим элементам (см. рис. 1) приведем варианты возможного разбиения фазового комплекса взаимной системы $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$ геометрическим методом с учетом образующегося соединения инконгруэнтного плавления состава $2\text{NaF}\cdot\text{Na}_2\text{WO}_4$ (D_n). Предполагается пять вариантов разбиения квадрата составов на вторичные фазовые треугольники, из которых два диагональных типа (рис. 2, g , d), диагональное и адиагональное разбиение (см. рис. 2, a , b), один вариант с адиагональным разбиением (см. рис. 2, b).

Для выбора варианта разбиения проведён термодинамический расчет теплового эффекта и энергии Гиббса реакции обмена в точке полной конверсии K при стандартных условиях по значениям энталпий и энергий Гиббса образования исходных веществ, приведенных в табл. 1:



$$\Delta_f H^0_{298} = (\Delta_f H^0_{298}(\text{SrWO}_4) + 2\Delta_f H^0_{298}(\text{NaF})) - (\Delta_f H^0_{298}(\text{Na}_2\text{WO}_4) + \Delta_f H^0_{298}(\text{SrF}_2)) = \\ = 2(-572,831) + (-1635,015) - (-1547,0 + (-1220,891)) = -12,786 \text{ кДж.}$$

$$\Delta_f G^0_{298} = (\Delta_f G^0_{298}(\text{SrWO}_4) + 2\Delta_f G^0_{298}(\text{NaF})) - (\Delta_f G^0_{298}(\text{Na}_2\text{WO}_4) + \Delta_f G^0_{298}(\text{SrF}_2)) = \\ = 2(-542,572) + (-1527,578) - (-1433,099 + (-1168,335)) = -11,288 \text{ кДж.}$$

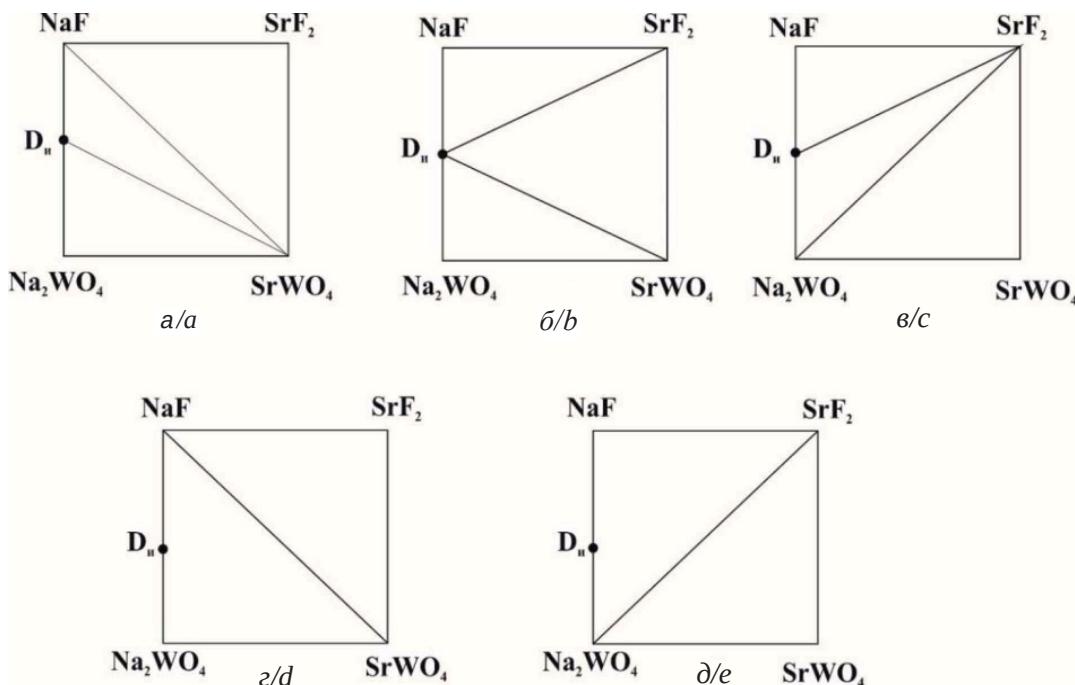


Рис. 2. Варианты разбиения трехкомпонентной взаимной системы $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$
 Fig. 2. Options for splitting a three-component mutual system $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$

Термодинамические данные показывают, что стабильной диагональю является $\text{NaF} - \text{SrWO}_4$, а второй стабильной секущей является $\text{Na}_4\text{F}_2\text{MoO}_4 - \text{SrWO}_4$. Методом РФА подтверждено разбиение данной системы на три фазовых треугольника: $\text{NaF} - \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4$, $\text{NaF} - \text{D}_u - \text{SrWO}_4$ и $\text{NaF} - \text{D}_u - \text{SrWO}_4$, т. е. подтверждается первый вариант разбиения геометрическим методом (см. рис. 2, а).

Следующим этапом приведем варианты моделирования ликвидуса (рис. 3) тройной взаимной системы для выбранного термодинамически и экспериментально подтвержденного (см. рис. 2, а) варианта разбиения на вторичные фазовые треугольники квадрата составов.

Реальный вариант ликвидуса системы будет приведен в экспериментальной части.

Экспериментальная часть

Исследование фазовых равновесий проводили с помощью дифференциального термического анализа (ДТА) на установке с верхним подводом платина – платинородиевых термопар. Для нагрева смесей использована печь шахтного типа, в которую помещали платиновые микротигли (изделия № 108–3 по ГОСТ 13498–68) с исследуемым составом и индифферентным веществом – свежепрокаленным Al_2O_3 (чда). Холодные спай термопар термо-

статировали при 0°C с помощью сосуда Дьюара с тающим льдом. Сигнал от термопар поступал на АЦП и преобразовывался в цифровой сигнал с выводом на компьютер. Фиксировали температурную и дифференциальную кривые. Градуировку термопар осуществляли по известным температурам плавления и полиморфных модификаций безводных неорганических солей [16–20]. Скорость нагрева (охлаждения) образцов – 10–15 К/мин. Погрешность измерения температуры составляла $\pm 2,5^\circ\text{C}$. Составы всех смесей, приведенные в настоящей работе, выражены в молярных концентрациях эквивалентов, температуры в градусах Цельсия. Масса исходных смесей составляла 0,3 г.

Учитывая, что некоторые соли имеют слишком высокую температуру плавления, эксперимент осуществлен с помощью ТГА. Термогравиметрические измерения проводили на дериватографе Q – 1500D. Исследования выполняли в режиме контролируемой скорости нагревания 20°C в минуту до 1000°C в атмосфере воздуха в платиновых тиглях.

В работе использовали следующие реактивы: NaF – «хч» (содержание основного вещества 99,9 мас. %), SrF_2 – «хч» (содержание основного вещества 99,9 мас. %), SrWO_4 – «ч» (содержание основного вещества 99,0 мас. %), Na_2WO_4 – «ч»

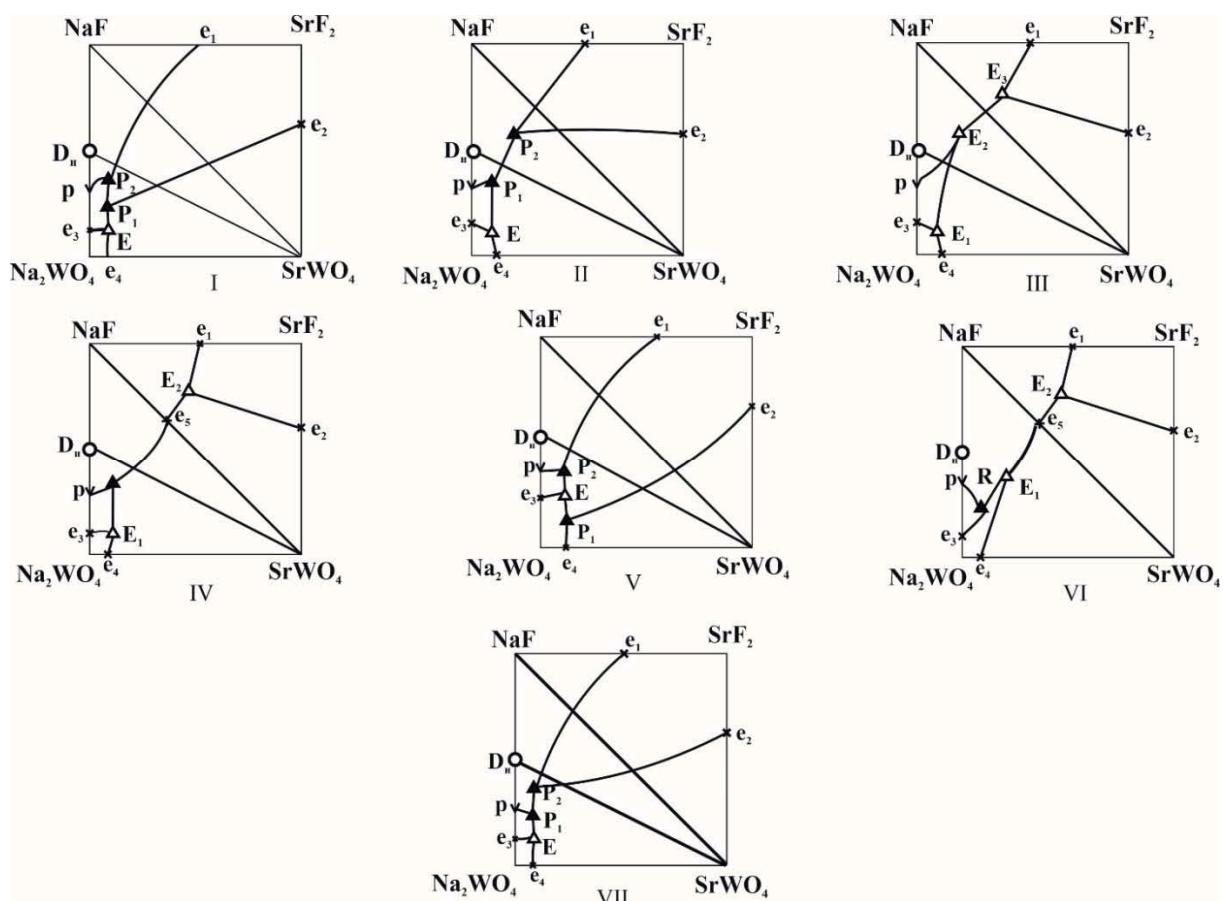


Рис. 3. Варианты моделей ликвидусов в трехкомпонентной взаимной системе $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$

Fig. 3. Variants of liquidus models in a three-component mutual system $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$

(содержания основного вещества 99,0 мас. %). Таким образом, были приняты данные литературы по температурам плавления и полиморфным переходам для используемых солей [7, 8]. Исходные реактивы были предварительно высушены и после охлаждения в сухом боксе помещены в бюксы, а бюксы – в эксикатор с осушителем (силикагель).

Для обоснования разбиения методом РФА была исследована смесь, которая отвечает точке

полномой конверсии К (см. рис. 1). Смесь исходных веществ (50 экв. % Na_2WO_4 + 50 экв. % SrF_2) была переплавлена, выдержанна при 600°C в течение 2 ч и закалена при 0°C во льду.

На рентгенограмме (рис. 4) отмечено три фазы: NaF , SrF_2 и SrWO_4 , что подтверждает термодинамический вариант разбиения на три фазовых треугольника $\text{NaF} - \text{D}_n - \text{SrWO}_4$, $\text{D}_n - \text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4$ и $\text{NaF} - \text{SrF}_2 - \text{SrWO}_4$ (см. рис. 2, a).

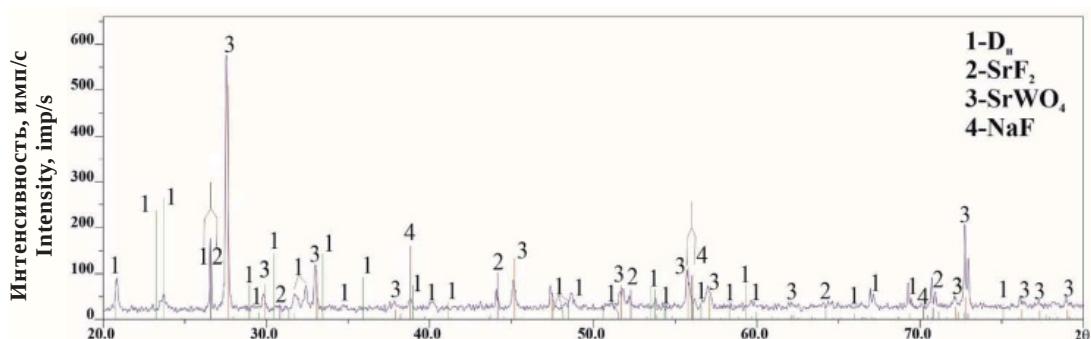


Рис. 4. Рентгенограмма смеси 50 экв. % Na_2WO_4 + 50 экв. % SrF_2

Fig. 4. Radiograph of a mixture of 50 eq. % Na_2WO_4 + 50 eq. % SrF_2

Для нахождения точек нонвариантных равновесий и граничных точек на моновариантных кривых исследован ряд политермических разрезов АВ (рис. 5), $\text{NaF} - \text{SrWO}_4$ (рис. 6), $\text{E} \rightarrow \bar{\text{E}} \rightarrow \text{SrWO}_4$, $\text{P}_1 \rightarrow \bar{\text{P}}_1 \rightarrow \text{SrWO}_4$, (рис. 7, 8).

Из $T - x$ -диаграммы разреза $\text{NaF} - \text{SrWO}_4$ (см. рис. 6) определены граничные точки a и K на моновариантных кривых $e_2\text{P}_2$ и $e_3\text{P}_2$. Из $T - x$ -диаграммы разреза АВ (см. рис. 5) определены направления на тройные эвтектику $\bar{\text{E}}$ и перитектику $\bar{\text{P}}_1$ и их температуры плавле-

ния – 625°C, 673°C соответственно. Исследованием разрезов $\text{E} \rightarrow \bar{\text{E}} \rightarrow \text{SrWO}_4$ (см. рис. 7) и $\text{P}_1 \rightarrow \bar{\text{P}}_1 \rightarrow \text{SrWO}_4$ (см. рис. 8) определены составы тройных эвтектики (10 экв.% NaF + 87 экв.% Na_2WO_4 + 3 экв.% SrWO_4) и перитектики P_1 (20,5 экв.% NaF + 73,5 экв.% Na_2WO_4 + 6 экв.% SrF_2). Состав P_2 определен исследованием разреза $\text{P}_2 \rightarrow \bar{\text{P}}_2 \rightarrow \text{SrF}_2$ (22,5 экв.% NaF + 55 экв.% Na_2WO_4 + 22,5 экв.% SrF_2).

Проекция фазового комплекса системы представлена на рис. 9.

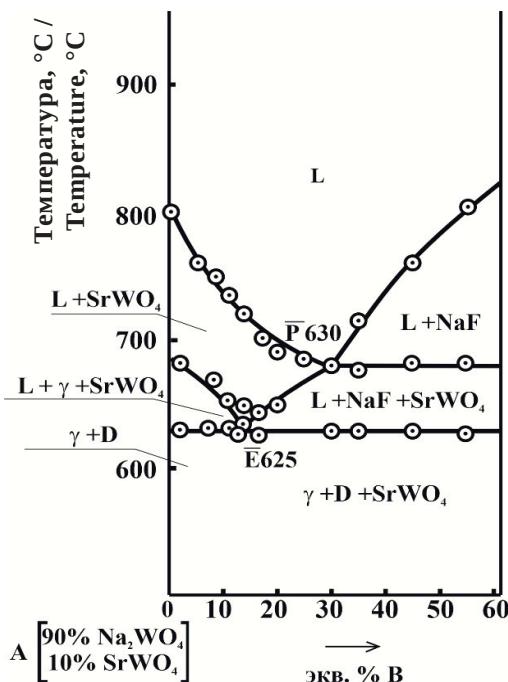


Рис. 5. $T - x$ -диаграмма разреза АВ
Fig. 5. $T - x$ is the diagram of the AB section

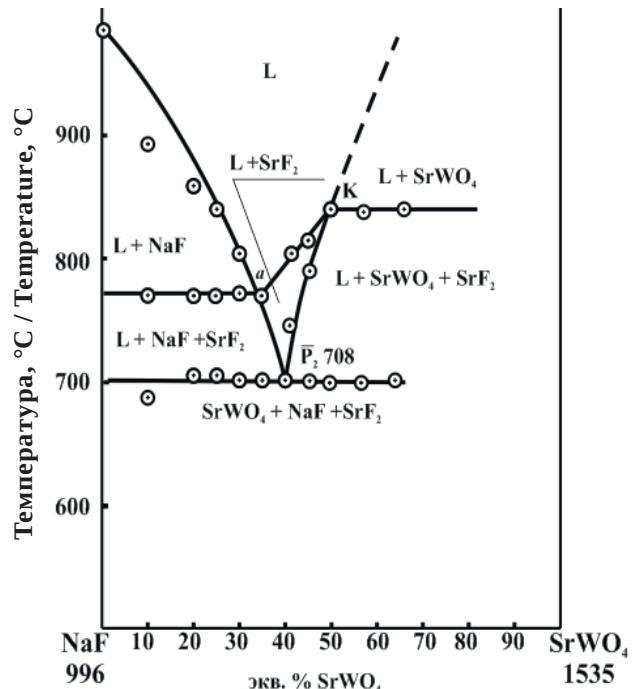


Рис. 6. $T - x$ -диаграмма разреза $\text{NaF} - \text{SrWO}_4$
Fig. 6. $T - x$ -section diagram $\text{NaF} - \text{SrWO}_4$

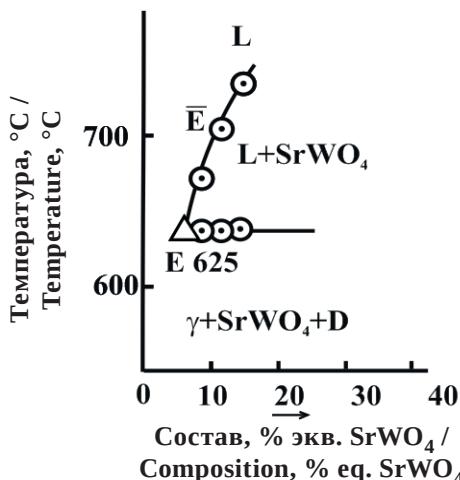


Рис. 7. $T - x$ -диаграмма разреза $\text{E} \rightarrow \bar{\text{E}} \rightarrow \text{SrWO}_4$
Fig. 7. $T - x$ section diagram $\text{E} \rightarrow \bar{\text{E}} \rightarrow \text{SrWO}_4$

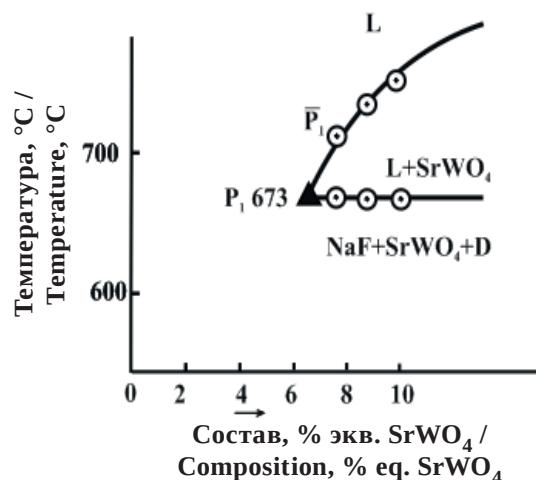


Рис. 8. $T - x$ -диаграмма разреза $\text{P}_1 \rightarrow \bar{\text{P}}_1 \rightarrow \text{SrWO}_4$
Fig. 8. $T - x$ section diagram $\text{P}_1 \rightarrow \bar{\text{P}}_1 \rightarrow \text{SrWO}_4$

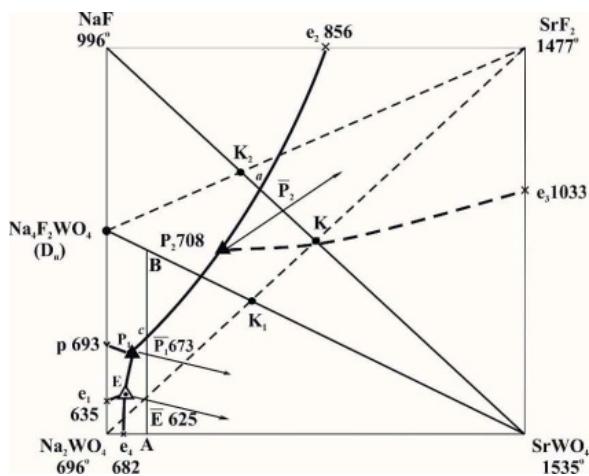


Рис. 9. Фазовый комплекс системы $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$
Fig. 9. The phase complex of the system $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$

Результаты и их обсуждение

Фазовый комплекс системы $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$ представлен пятью полями кристаллизации: фторидов натрия и стронция, вольфрама-

та стронция, соединения $\text{Na}_4\text{F}_2\text{WO}_4$ и граничными твердыми растворами на основе γ -вольфрамата натрия. Подтверждён вариант разбиения системы, приведенный на рис. 2, а, и модель ликвидуса, приведенная на рис. 3, II. Две нонвариантные точки (E , P_1) расположены в фазовом треугольнике $\text{Na}_2\text{WO}_4 - \text{SrWO}_4 - \text{Na}_4\text{F}_2\text{WO}_4$, а перитектика P_2 – в фазовом треугольнике $\text{NaF} - \text{SrWO}_4 - \text{Na}_4\text{F}_2\text{WO}_4$. Фазовые реакции для элементов квадрата составов приведены в табл. 2. Максимальное поле кристаллизации на квадрате составов принадлежит самому тугоплавкому компоненту – вольфрамату стронция, минимальное после кристаллизации отвечает вольфрамату натрия.

Проведено сравнение данных по характеристикам точек нонвариантных равновесий настоящей работы с данными приведенными в ранее исследованной системе $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$ в работе [25]. Температура тройной эвтектики

Таблица 2 / Table 2

Фазовые реакции в системе $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$
Phase reactions in the system $\text{Na}^+, \text{Sr}^{2+} \parallel \text{F}^-, \text{WO}_4^{2-}$

Элементы диаграммы / Chart elements	Равновесия / The balance	Фазовые реакции / Phase reactions
Поля кристаллизации / Fields of crystallization		
$e_1 E e_4 \text{Na}_2\text{WO}_4$	Дивариантное / The divergent	$\text{Ж} \rightleftharpoons \gamma$ (OTP на основе $\gamma - \text{Na}_2\text{WO}_4$)
$e_1 E P_1 p$	Дивариантное / The divergent	$L \rightleftharpoons D_n$
$p \text{NaFe}_2 P_2 P_1$	Дивариантное / The divergent	$L \rightleftharpoons \text{NaF}$
$e_2 P_2 e_3 \text{SrF}_2$	Дивариантное / The divergent	$L \rightleftharpoons \text{SrF}_2$
$e_3 P_2 P_1 E e_4 \text{SrWO}_4$	Дивариантное / The divergent	$L \rightleftharpoons \text{SrWO}_4$
Линии / Lines		
$e_2 P_2$	Моновариантное / Monovariant	$L \rightleftharpoons \text{NaF} + \text{SrF}_2$
$P_2 P_1$	Моновариантное / Monovariant	$L \rightleftharpoons \text{NaF} + \text{SrWO}_4$
$P_2 e_3$	Моновариантное / Monovariant	$L \rightleftharpoons \text{SrF}_2 + \text{SrWO}_4$
$p P_2$	Моновариантное / Monovariant	$L \rightleftharpoons D_n + \text{NaF}$
$P_1 E$	Моновариантное / Monovariant	$L \rightleftharpoons D_n + \text{SrWO}_4$
$e_1 E$	Моновариантное / Monovariant	$L \rightleftharpoons D_n + \gamma$
$e_4 E$	Моновариантное / Monovariant	$L \rightleftharpoons \gamma + \text{SrWO}_4$
Точки / Points		
E	Нонвариантное / Non-invariant	$L \rightleftharpoons \gamma + D_n + \text{SrWO}_4$
P_1	Нонвариантное / Non-invariant	$L + \text{NaF} \rightleftharpoons D_n + \text{SrWO}_4$
P_2	Нонвариантное / Non-invariant	$L + \text{SrF}_2 \rightleftharpoons \text{NaF} + \text{SrWO}_4$

632°C при содержании компонентов (экв. %): 26,1 NaF + 2,6 SrF₂ + 71,3 Na₂WO₄, что на 7°C ниже по сравнению с приведенной в работе. Температура тройной перитектики P₁ 681°C с содержанием компонентов (экв. %): 52,9 NaF + + 2,2 SrF₂ + 44,9 Na₂WO₄, что на 8°C ниже, чем в приведенной работе. Температура тройной перитектики P₂ составляет 708°C с содержанием компонентов (экв. %): 54 NaF + 11,7 SrF₂ + + 34,3 Na₂WO₄, что на 6°C ниже, чем в приведенной работе. Также нами установлен другой вариант разбиения, то есть древо фаз имеет различное строение в связи с диагональным разбиением в [25].

Заключение

Уточнен фазовый комплекс системы, который включает три фазовых треугольника NaF – SrF₂ – SrWO₄, NaF – 2NaF·Na₂WO₄ – SrWO₄, 2NaF·Na₂WO₄ – SrWO₄ – Na₂WO₄. Тройные эвтектика E₁ 625°C и перитектика P₁ 673 расположены в фазовом треугольнике 2NaF·Na₂WO₄ – SrWO₄ – Na₂WO₄, тройная перитектика P₂ 708 – в фазовом треугольнике NaF – 2NaF·Na₂WO₄ – SrWO₄.

Наличие значительного поля кристаллизации вольфрамата стронция в квадрате составов можно использовать для выращивания монокристаллов SrWO₄, а эвтектическую смесь (с добавкой SrO) – для получения вольфрама из расплава электролизом.

Список литературы

1. Басиев Т. Т. Новые кристаллы для лазеров на вынужденном комбинационном рассеянии // Физика твердого тела. 2006. Т. 74, № 6. С. 1354–1358.
2. Андрюнас К. ВКР-самопреобразование лазерного излучения Nd³⁺ в кристаллах двойных вольфраматов // Письма в ЖЭТФ. 1985. Т. 42, № 3. С. 333–336.
3. Лебедев А. В. Синтез, структурные и спектроскопические исследования вольфраматов и молибдатов стронция и бария как активных ВКР-сред: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Краснодар, 2013. 26 с.
4. Rubin I. I. Preparation and fabrication of molybdate signal crystals for optical maser studies // J. Amer. Ceram. Soc. 1969. Vol. 49, № 2. P. 100–102.
5. Хирено Ш. Развитие электромагнитных материалов, полученных методом гидротермального синтеза // Керамика Японии. 1973. Т. 8, № 9. С. 664–673.
6. Каминский А. А. Лазерные кристаллы. М. : Наука, 1975. 256 с.
7. Термические константы веществ. Вып. X. Таблицы принятых значений: Li, Na / под ред. В. П. Глушко. М. : ВИНИТИ, 1981. 297 с.
8. Термические константы веществ. Вып. IX. Таблицы принятых значений: Be, Mg, Ca, Sr, Ba / под ред. В. П. Глушко. М. : ВИНИТИ, 1979. 574 с.
9. Игнатьева Е. О., Дворянова Е. М., Гаркушин И. К., Кондратюк И. М. Прогнозирование и экспериментальное подтверждение характеристик эвтектик в двухкомпонентных системах МГ – M₂ЭO₄(M – Li,Na; Г – F,Cl,Br,J; Э – Cr,Mo,W) // Вестн. Иркут. гос. ун-та. 2011. Т. 57, № 10. С. 153–157.
10. Диаграммы плавкости солевых систем. Ч. II. Двойные системы с общим анионом / под ред. В. И. Посыпайко. М. : Металлургия, 1977. 203 с.
11. Мохосоев М. В., Алексеев Ф. П., Луцыйк В. И. Диаграммы состояния молибдатных и вольфраматных систем. Новосибирск : Наука, 1978. 217 с.
12. Гаркушин И. К., Сухаренко М. А., Бурчаков А. В., Миллов С. Н. Моделирование и исследование фазовых равновесных состояний и химического взаимодействия в системах из молибдатов и вольфраматов s¹ - и s² –элементов. М. : Инновационное машиностроение, 2022. 353 с.
13. Jingru Cui, Yaoyao Li, Huiya Li, Dejia Liu, Jianzhong Xu, Haiyun Ma, Yuanyuan Han, Hongqiang Qu, Liyong Wang. Synthesis of Tb³⁺ doped SrMoO₄/SiO₂ nanophosphor and its sensing properties for inorganic ions and tyrosine // Microchemical Journal. 2022. Vol. 181. Art. 107736. <https://doi.org/10.1016/j.mi-csoc.2022.107736>
14. Трунин А. С. Комплексная методология исследования многокомпонентных систем. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 1997. 308 с.
15. Dibirov Ya. A., Iskanderov E. G., Isakov S. I. Phase Equilibria in the CaMoO₄–CaSO₄–CaF₂–CaCl₂ System // Inorg. Materials. 2023. Vol. 59. P. 494–499. <https://doi.org/10.1134/S0020168523050023>
16. Егунов В. П., Гаркушин И. К., Фролов Е. И., Мощенский Ю. В. Термический анализ и калориметрия : учеб. пособие. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2013. 583 с.
17. Егунов В. П. Введение в термический анализ. Самара : СамВен, 1996. 270 с.
18. Егунов В. П. ДТА. Методические указания к практическим и лабораторным работам (по дифференциальному термическому анализу). Самара : СамГТУ, 2006. 31 с.
19. Уэндландт У. Термические методы анализа. М. : Мир, 1978. 514 с.
20. Ситникова В. Е., Пономарева А. А., Успенская М. В. Методы термического анализа. Практикум. СПб. : Ун-т ИТМО, 2021. 152 с.
21. Ковба Л. М., Трунов В. К. Рентгенофазовый анализ. М. : Изд-во МГУ, 1976. 232 с.



22. Князев А. В., Сулейманов Е. В. Основы рентгенофазового анализа : учеб.-метод. пособие. М. : Изд-во МГУ, 2005. 23 с.
23. Гаркушин И. К., Истомова М. А., Трунова А. Н., Парфенов С. Н., Гаркушин А. И. Методы расчета свойств элементов, простых веществ, соединений и смесей : учеб. пособие. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2017. 467 с.
24. Карапетьянц М. Х. Методы сравнительного расчета физико-химических свойств. М. : Ленанд, 2014. 408 с.
25. Салманова С. Д., Гасаналиев А. М., Гаматаева Е. Ю. Физико-химическое взаимодействие в пятерной взаимной системе $\text{Li},\text{Na},\text{Ca},\text{Sr}|\text{F},\text{WO}_4$ // Системные технологии. 2016. № 19-20. С. 72–77.

References

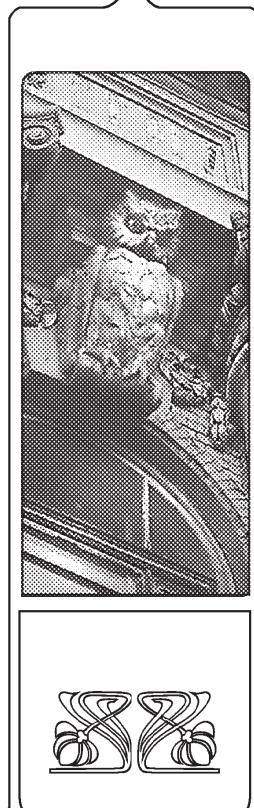
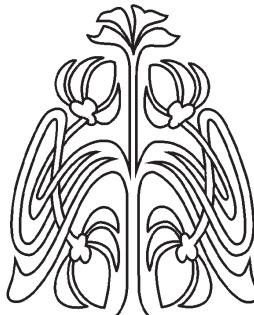
1. Basiev T. T. New crystals for lasers on forced raman scattering. *Solid State Physics*, 2006, vol. 74, no. 6, pp. 1354–1358 (in Russian).
2. Andryunas K. WKR-self-transformation of Nd^{3+} laser radiation in crystals of double tungstates. *Letters in JETF*, 1985, vol. 42, no. 3, pp. 333–336 (in Russian).
3. Lebedev A. V. *Synthesis, Structural and Spectroscopic Studies of Tungstates and Molybdates of Strontium and Barium as Active Research Media*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Phys. and Math.). Krasnodar, 2013. 26 p. (in Russian).
4. Rubin I. I. Preparation and fabrication of molybdate signal crystals for optical maser studies. *J. Amer. Ceram. Soc.*, 1969, vol. 49, no. 2, pp. 100–102.
5. Hirano S. Development of electromagnetic materials obtained by hydrothermal synthesis. *Ceramics of Japan*, 1973, vol. 8, no. 9, pp. 664–673 (in Russian).
6. Kaminsky A. A. *Lazernyye kristally* [Laser crystals]. Moscow, Nauka, 1975. 256 p. (in Russian).
7. *Termicheskiye konstanty veshchestv. Vyp. X. Tablitsy prinyatykh znacheniy: Li, Na*. Pod red. V. P. Glushko [Glushko V. P., ed. Thermal constants of substances. Issue X. Tables of accepted values: Li, Na]. Moscow, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information Publ., 1981. 297 p. (in Russian).
8. *Termicheskiye konstanty veshchestv. Vyp. IX. Tablitsy prinyatykh znacheniy: Be, Mg, Ca, Sr, Ba*. Pod red. V. P. Glushko [Glushko V. P., ed. Thermal constants of substances. Issue IX. Tables of accepted values: Be, Mg, Ca, Sr, Ba]. Moscow, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information Publ., 1979. 574 p. (in Russian).
9. Ignatieva E. O., Dvoryanova E. M., Garkushin I. K., Kondratyuk I. M. Prediction and experimental confirmation of eutectic characteristics in two-component $\text{MG} - \text{M}_2\text{EO}_4$ systems ($\text{M} = \text{Li},\text{Na}$; $\text{G} = \text{F},\text{Cl},\text{Br},\text{J}$; $\text{E} = \text{Cr},\text{Mo},\text{W}$). *Vestnik Irkutsk State University*, 2011, vol. 57, no. 10, pp. 153–157 (in Russian).
10. *Diagrammy plavkosti solevykh sistem. Ch. II. Dvoynyye sistemy s obshchim anionom*. Pod red. V. I. Posypayko [Posypayko V. I., ed. Melting diagrams of salt systems. Part II. Double systems with a common anion]. Moscow, Metallurgiya, 1977. 203 p. (in Russian).
11. Mokhosoev M. V., Alekseev F. P., Lutsyk V. I. *Diagrammy sostoyaniya molibdatnykh i vol'framatnykh sistem* [Diagrams of the state of molybdate and tungstate systems]. Novosibirsk, Nauka, 1978. 217 p. (in Russian).
12. Garkushin I. K., Sukhareko M. A., Burchakov A. V., Milov S. N. *Modelirovaniye i issledovaniye fazovykh ravnovesnykh sostoyaniy i khimicheskogo vzaimodeystviya v sistemakh iz molibdatov i vol'framatov s¹ - i s²-elementov* [Modeling and investigation of phase equilibrium states and chemical interaction in systems of s¹- and s²-element molybdates and tungstates]. Moscow, Innovatsionnoye mashinostroyeniye, 2022. 353 p. (in Russian).
13. Jingru Cui, Yaoyao Li, Huiya Li, Dejia Liu, Jianzhong Xu, Haiyun Ma, Yuanyuan Han, Hongqiang Qu, Liyong Wang. Synthesis of Tb^{3+} doped $\text{SrMoO}_4/\text{SiO}_2$ nanophosphor and its sensing properties for inorganic ions and tyrosine. *Microchemical Journal*, 2022, vol. 181, art. 107736. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107736>
14. Trunin A. S. *Kompleksnaya metodologiya issledovaniya mnogokomponentnykh sistem* [Complex methodology of multicomponent systems research]. Samara, Samara State Technical University Publ., 1997. 308 p. (in Russian).
15. Dibirov Ya. A., Iskanderov E. G., Isakov S. I. Phase Equilibria in the $\text{CaMoO}_4 - \text{CaSO}_4 - \text{CaF}_2 - \text{CaCl}_2$ System. *Inorg. Materials*, 2023, vol. 59, pp. 494–499. <https://doi.org/10.1134/S0020168523050023>
16. Egunov V. P., Garkushin I. K., Frolov E. I., Moshchenskii Yu. V. *Termicheskiy analiz i kalorimetriya: ucheb. posobiye* [Thermal analysis and calorimetry: Textbook]. Samara, Samara State Technical University Publ., 2013. 583 p. (in Russian).
17. Egunov V. P. *Vvedeniye v termicheskiy analiz* [Introduction to thermal analysis]. Samara, SamVen, 1996. 270 p. (in Russian).
18. Egunov V. P. *DTA. Metodicheskiye ukazaniya k prakticheskim i laboratornym rabotam (po differentsiyal'nomu termicheskому analizu)* [DTA. Guidelines for practical and laboratory work (on differential thermal analysis)]. Samara, Samara State Technical University Publ., 2006. 31 p. (in Russian).
19. Wendlandt U. *Termicheskiye metody analiza* [Thermal methods of analysis]. Moscow, Mir, 1978. 514 p. (in Russian).
20. Sitnikova V. E., Ponomareva A. A., Uspenskaya M. V. *Metody termicheskogo analiza. Praktikum* [Methods of Thermal Analysis. Practical training]. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2021. 152 p. (in Russian).



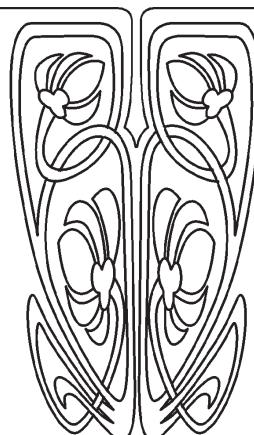
21. Kovba L. M., Trunov V. K. *Rentgenofazovyi analiz* [X-ray phase analysis]. Moscow, Moscow University Press, 1976. 232 p. (in Russian).
22. Knyazev A. V., Suleymanov E. V. *Osnovy rentgenofazovogo analiza: ucheb.-metod. posobiye* [Fundamentals of X-ray phase analysis. Educational method. stipend]. Moscow, Moscow University Press, 2005. 23 p. (in Russian).
23. Garkushin I. K., Istomova M. A., Trunova A. N., Parfenov S. N., Garkushin A. I. *Metody rascheta svoystv elementov, prostykh veshchestv, soyedineniy i smesey: ucheb. posobiye* [Methods for calculating the properties of elements, simple substances, compounds and mixtures: Textbook]. Samara, Samara State Technical University Publ., 2017. 467 p. (in Russian).
24. Karapetyants M. H. *Metody sravnitel'nogo rascheta fiziko-khimicheskikh svoystv* [Methods of comparative calculation of physico-chemical properties]. Moscow, Lenand, 2014. 408 p. (in Russian).
25. Salmanova S. D., Gasanaliev A. M., Gamataeva E. Yu. Physico-chemical interaction in the five-dimensional mutual system $\text{Li},\text{Na},\text{Ca},\text{Sr}||\text{F},\text{WO}_4$. *System Technologies*, 2016, no. 19-20, pp. 72–77 (in Russian).

Поступила в редакцию 09.09.2025, одобрена после рецензирования 14.10.2025, принятая к публикации 15.10.2025
The article was submitted 09.09.2025, approved after reviewing 14.10.2025, accepted for publication 15.10.2025

БИОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 416–421

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 416–421
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-416-421>
EDN: RLDM

Научная статья
УДК 579.262

Разнообразие ризосферных бактерий-галофитов береговой полосы оз. Эльтон

Н. Н. Липатов^{1,2}, Н. С. Величко², Е. Н. Сигида², Ю. П. Федоненко^{1,2}✉

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

²Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ИБФРМ РАН), Россия, 410049, г. Саратов, просп. Энтузиастов, д. 13

Липатов Никита Николаевич, ¹студент кафедры биохимии и биофизики, ²лаборант лаборатории биохимии, nikitalipat@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5667-3604>

Величко Наталья Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимии velichko_n@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9734-3947>

Сигида Елена Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимии, sigida_e@ibppm.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9223-4589>

Федоненко Юлия Петровна, кандидат биологических наук, доцент, ¹доцент кафедры биохимии и биофизики, ²заведующий лабораторией биохимии, fedonenko_yu@ibppm.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0255-8190>

Аннотация. Галофильные микроорганизмы привлекают внимание исследователей благодаря приобретенной в ходе адаптации к существованию в экстремальных условиях способности синтезировать биополимеры с уникальными свойствами, потенциально востребованными в биотехнологии. Бактерии, обитающие в ризосфере растений, пронизрастающих в почвах с повышенным уровнем минерализации, часто демонстрируют рост-стимулирующую активность. Целью исследования являлся анализ таксономического разнообразия бактерий ризосфера преобладающих галофитов береговой полосы соленого бессточного самосадочного озера Эльтон (Волгоградская область). Из образцов ризосфера растений семейства *Chenopodiaceae* были получены накопительные культуры микроорганизмов, с последующим выделением бактериальной ДНК, амплификацией и секвенированием нуклеотидных последовательностей вариабельных фрагментов V3-V4 гена 16S рибосомальной РНК. Анализ микробиома ризосфера *Climacoptera lachnophylla* (Iljin) Botsch., *Salsola soda* L., *Anabasis salsa* (C. A. Mey.) Benth. ex Volkens продемонстрировал большее видовое разнообразие по сравнению с микробиомами образцов почвы и соли береговой зоны озера. Отмечено доминирование филумов *Proteobacteria* и *Firmicutes* во всех анализируемых образцах при различном соотношении их представителей. Микробиота ризосфера исследуемых растений была представлена в основном известными видами семейств *Halomonadaceae* и *Bacillaceae*, которые по литературным данным довольно часто обладают способностью продуцировать такие регулирующие развитие растений метаболиты, как индолил-3-уксусную кислоту и сидерофоры.

Ключевые слова: 16S рРНК, микробиота, ризосфера, галофилы

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта Российского научного фонда № 24-24-00407 (<https://rscf.ru/project/24-24-00407/>).

Для цитирования: Липатов Н. Н., Величко Н. С., Сигида Е. Н., Федоненко Ю. П. Разнообразие ризосферных бактерий-галофитов береговой полосы оз. Эльтон // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 416–421. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-416-421>, EDN: RLRDMM

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

Article

Diversity of rhizosphere bacteria of halophytes of the coastal strip of lake Elton

N. N. Lipatov^{1,2}, N. S. Velichko², E. N. Sigida², Yu. P. Fedonenko^{1,2} 

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

²Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms – Subdivision of the Federal State Budgetary Research Institution Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), 13 Entuziastov, Saratov 410049, Russia

Nikita N. Lipatov, nikitalipat@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5667-3604>

Natalya S. Velichko, velichko_n@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9734-3947>

Elena N. Sigida, sigida_e@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9223-4589>

Yulia P. Fedonenko, fedonenko_yu@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0255-8190>

Abstract. Halophilic microorganisms attract the attention of researchers due to their ability, acquired during adaptation to existence in extreme conditions, to synthesize biopolymers with unique properties that are potentially in demand in biotechnology. Bacteria inhabiting the rhizosphere of plants growing in soils with an increased level of mineralization often demonstrate growth-stimulating activity. The aim of the study was to analyze the taxonomic diversity of rhizosphere bacteria of the predominant halophytes of the coastal strip of the salty endorheic sedimentary lake Elton (Volgograd region). Enrichment cultures of microorganisms were obtained from rhizosphere samples of plants of the *Chenopodiaceae* family, with subsequent isolation of bacterial DNA, amplification and sequencing of nucleotide sequences of variable fragments V3-V4 of the 16S ribosomal RNA gene. The analysis of the rhizosphere microbiome of *Climacoptera lachnophylla* (Iljin) Botsch., *Salsola soda* L., *Anabasis salsa* (C. A. Mey.) Benth. ex Volkens demonstrated a higher species diversity compared to the microbiomes of the soil and salt samples from the lake's coastal zone. The dominance of the *Proteobacteria* and *Firmicutes* phyla was noted in all analyzed samples with different ratios of their representatives. The rhizosphere microbiota of the studied plants was represented mainly by known species of the Halomonadaceae and Bacillaceae families, which, according to literature data, quite often have the ability to produce such metabolites regulating plant development as indole-3-acetic acid and siderophores.

Keywords: 16S rRNA, microbiota, rhizosphere, halophiles

Acknowledgements. The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. 24-24-00407 (<https://rscf.ru/project/24-24-00407/>).

For citation: Lipatov N. N., Velichko N. S., Sigida E. N., Fedonenko Yu. P. Diversity of rhizosphere bacteria of halophytes of the coastal strip of lake Elton. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 416–421 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-416-421>, EDN: RLRDMM

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

Введение

Глобальное изменение климата, сопровождающееся загрязнением окружающей среды, сокращением водных ресурсов, истощением и деградацией почв, является причиной прогрессирующего снижения пригодных для сельскохозяйственной обработки территорий [1]. В засушливых регионах широко распространена проблема засоления, обусловленная накоплением в поверхностных слоях почвы растворимых солей, таких как сульфаты и хлориды, вызывающая явление опустынивания [2]. Иррациональная деятельность человека, в том числе излишняя интенсивность использования сельскохозяйственных земель и чрезмерное применение неорганических удобрений, усугубляет эту проблему [3]. Засоление почвы оказы-

вает отрицательное влияние на рост, развитие и продуктивность солеучувствительных растений (гликофитов), к которым относятся важнейшие сельскохозяйственные злаковые культуры, такие как рис, кукуруза и пшеница [4]. Избыток соли снижает эффективность фотосистем и угнетает дыхание растений [5]. Солевой стресс вызывает образование в тканях растений активных форм кислорода, подавляющих активность ферментов и нарушающих функции мембран и клеточных стенок, что приводит к замедлению роста и развития корней и побегов [6].

Одним из методов рационального ведения сельского хозяйства, позволяющим эффективно снижать зависимость от химикатов и повышать устойчивость растений к стрессу, может являться использование PGP (plant-growth-promoting)-бактерий, стимулирующих рост и

развитие растений. Природным резервуаром таких микроорганизмов, толерантных к повышеному уровню температуры, засоленности и pH среды, является ризосфера галофитов. По литературным данным известно, что многие представители галофильных бактерий обладают рост-стимулирующими свойствами, благодаря синтезу фитогормонов и комплексов хелатирования железа, стимуляции процессов формирования развитой корневой системы, а также посредством снижения уровня ингибирующих концентраций этилена и защиты растений от окислительного стресса [7–10]. Обитание в экстремальных условиях привело к формированию у галофильных микроорганизмов ряда адаптивных механизмов устойчивости к колебаниям pH и температуры, связанных с продукцией экстраклеточных биополимеров, высокой минерализации ферментов, осмолитов и поверхностно-активных веществ, потенциально востребованных в биотехнологии [11–13].

Способность галофильных бактерий выживать в широком диапазоне концентрации солей (0–25% NaCl), а также особенности их метаболизма накладывают определенные ограничения на использование классических микробиологических методов для анализа микробного разнообразия. В настоящее время метагеномика и другие независимые от культивирования «омиксные» технологии с успехом используются для характеристики микробиома гиперсоленых сред [14].

Целью нашего исследования являлась характеристика разнообразия галофильных бактерий из ризосфера преобладающих галофитов береговой полосы соленого бессточного самосадочного озера Эльтон (Волгоградская область) с использованием метагеномного анализа.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись микроорганизмы, выделенные из образцов соли, почвы и ризосфера растений *Climacoptera lachnophylla* (Iljin) Botsch., *Salsola soda* L., *Anabasis salsa* (C. A. Mey.) Benth. ex Volkens, собранных во время экспедиции на соленое бессточное самосадочное озеро Эльтон (49°08'00" с. ш. 46°42'00" в. д., Волгоградская область) 5 июня 2024 г. В период экспедиционных исследований температура воздуха колебалась от 35°C – днем до 22°C – в ночной период. Атмосферных осадков во время проведения экспедиции не было.

Отбор почвы осуществляли не менее чем на трех участках исследования, отбирали по 5 случайных образцов растений одного вида, которые извлекали вместе с корневой системой, аккуратно срываючи слой почвы, и помещали в стерильные контейнеры. Образцы соли собирали по аналогичной схеме из пяти квадратных участков размеров 100×100 см, не менее 10 случайных образцов из верхнего слоя соли (0–20 см). Отдельные образцы были объединены в один контейнер для получения наиболее представительного материала.

Состав сред и условия культивирования. Для получения накопительных культур корни растений (1 г) помещали в колбу с 10 мл стерильной питательной среды S-G (pH 7,5), содержащей NaCl (5%) [15]. Через 5 мин встраивания корни из колбы удаляли стерильным пинцетом. Также в колбу с 10 мл стерильной среды S-G помещали 1 г образца соли. Культивирование осуществляли на шейкере-инкубаторе ES 20 (BioSan, Латвия) в течение 3 суток при температуре 38 °C и 120 об/мин. Далее бактериальные осадки отделяли от среды культивирования центрифугированием при 3000 об/мин в течение 40 мин на центрифуге Allegra X-30R (Beckman Coulter, США). Осадок ресуспенсировали в стерильном фосфатном буфере (0,01 М, pH 7,4) и осаждали центрифугированием при тех же условиях.

Методы идентификации культур и определения состава микробного сообщества. Таксономический состав бактериального сообщества анализируемых проб соли и ризосферной почвы определяли с применением высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S рrНК. Для этого ДНК выделяли из полученных осадков с использованием набора FastDNA Spin Kit For Soil (MP Biomedicals, Германия). Оценку качества выделенной ДНК проводили визуализацией электрофорезом в 0,8% агарозном геле. Концентрацию выделенной ДНК определяли на флуориметре Qubit 2.0 с использованием реагентов Qubit™ dsDNA Quantification Assay Kits (ThermoFisher Scientific, США) согласно инструкциям производителя. Фрагментация 1 мкг геномной ДНК проводилась ультразвуком на приборе Covaris S220 (Covaris Inc, США) в соответствии с рекомендациями производителя. Библиотека ДНК для секвенирования была подготовлена с использованием набора реактивов NEBNext Ultra II (New England Biolabs, США) согласно протоколу производителя «16S

Metagenomic Sequencing Library Preparation» (Part #15044223 Rev. B). Оценку качества полученной библиотеки фрагментов ДНК проводили на чипах с использованием 2100 Bioanalyzer (Agilent Technologies, США).

Амплификацию (Thermal Cycler T100, Bio-Rad, США) проводили с универсальными бактериальными праймерами с дополнительной последовательностью адаптера (курсив): 337F (5'-*TCGTCCGCAGCGTCAGAT GTGTAT AAGAGACAGCCTACGGNGGCWGCAG*-3') и 805R (5'-*GTCTCG TGGGCTCGGAGATGTGT ATAAGAGACAGGACTACHVGGGTATCTAAT CC*-3') и высокоточной Q5® High-Fidelity DNA полимеразы (New England Biolabs, США) при следующем режиме: начальная денатурация 98° С, 30 с; 25 циклов: денатурация 98°С, 30 с, 55° С, 20 с, 72° С, 20 с; завершающая элонгация – 72° С, 2 мин. По окончании амплификации ПЦР-смеси очищали с помощью магнитных частиц AMPure XP beads согласно протоколу. Готовый пул библиотек разводили и денатурировали с помощью реагентов набора MiSeq Reagent kit v3 и секвенировали на платформе Illumina MiSeq (Illumina, Inc., США) согласно протоколу производителя. Анализ данных производился с помощью программы QIIME2 и базы данных Silva138.

Результаты и их обсуждение

Растения семейства Маревые, которые в системе APG III входят в состав семейства Амарантовые (Amaranthaceae), являются преобладающими в полупустынных равнинных ландшафтах. Многие их представители имеют важное хозяйственное значение, например, некоторые виды ежовника (*Anabasis*), солянки (*Salsola*), лебеды (*Atriplex*) и солероса (*Salicornia*) являются кормовыми культурами для верблюдов и овец. Эти растения распространены в береговой полосе гипергалинного оз. Эльтон, где произрастают в условиях экстремальных природноклиматических возмущений, характерных для аридных зон юга России [16]. Очевидно, что ризосферная микрофлора, частично нивелируя воздействие неблагоприятных абиотических факторов, может стимулировать рост и развитие растений.

Использование баркодирования ДНК позволяет быстро и достоверно идентифицировать организмы и определить их таксономическое положение по коротким генетическим маркерам

в ДНК. В данной работе представлены исследования микробиоты ризосферы галофитов сем. Chenopodiaceae береговой полосы оз. Эльтон. Так как анализ микрофлоры был ориентирован на выявление потенциальных РГР-бактерий, то выделению ДНК предшествовало накопительное культивирование микроорганизмов.

Современные исследования микробиомов различных экологических ниш преимущественно используют секвенирование вариабельных областей V3-V4 или V4 гена 16S рРНК [17]. Подобный подход имеет ряд практических преимуществ, поскольку снижает затраты, связанные с подготовкой библиотек ДНК и процессом секвенирования, обеспечивает более высокую производительность, по сравнению с полногеномным секвенированием, и требует меньшего количества образцов, что делает его особенно востребованным для анализа образцов с низким содержанием ДНК или загрязненных образцов. Кроме того, время секвенирования участков V3-V4 приблизительно в два-три раза меньше, чем полноразмерных генов 16S рРНК [18].

Индекс Шеннона, расчет которого позволяет оценить видовое разнообразие бактерий, составил $2,481 \pm 0,011$, $3,246 \pm 0,016$ и $3,273 \pm 0,019$ соответственно, для бактериальных сообществ ризосфер *S. soda* L., *A. salsa* (C. A. Mey.) Benth. ex Volkens и *C. lachnophylla* (Iljin) Botsch. Индекс Шеннона для образцов соли и почвы, которые использовали в качестве сравнения, составил $0,792 \pm 0,02$ и $2,382 \pm 0,015$. Очевидно, что большее видовое разнообразие бактериальных сообществ ризосферы обусловлено выделением корнями растений метаболитов, увеличивающих доступность питательных веществ и позволяющих некоторым видам, представленным только в ризосфере, противостоять условиям осмотического стресса [19].

Исследование таксономического и функционального разнообразия прокариот в образцах соли выявило доминирование двух основных филумов *Proteobacteria* (85,91%) и *Firmicutes* (14%). При этом филум *Proteobacteria* был представлен практически одним видом *Halomonas elongata* (99,9%), а менее 0,1% приходилось на представителей *Halomonas* spp. и *Azospirillum* spp. Среди *Firmicutes* доминировали представители класса *Bacilli* – *Bacillus* spp., а также было продемонстрировано присутствие представителей родов *Lactobacillus*, *Marinilactibacillus*, *Lysinibacillus* и *Virgibacillus*, количество которых, однако, не превышало 0,5%. Также в об-

разцах соли было установлено присутствие двух представителей класса *Clostridia* – *Clostridium* spp. и *Sporosalibacterium* spp.

Большим видовым разнообразием по сравнению с предыдущим образцом характеризовалась микробиота почвы, в которой было выявлено присутствие представителей филумов *Proteobacteria* (50,43%) и *Firmicutes* (45,13%), а также *Halanaerobiaeota* (4,41%). *Proteobacteria* были представлены только родом *Halomonas*: *Halomonas elongata* (27,76%), *Halomonas caseinilytica* (21,62%), *Halomonas cupida* (0,57%) и *Halomonas* spp. (4,49%). К филуму *Firmicutes* в составе сообщества принадлежали *Virgibacillus pantothenicus* (38,11%) и значительно менее представленные *Bacillus* spp. (4,49%), *Virgibacillus* spp. (2,23%). *Halanaerobiaeota* был представлен только одним родом *Orenia*.

Как отмечалось выше, видовой состав сообществ микроорганизмов ризосфера растений на почвах с повышенным уровнем минерализации значительно богаче, по сравнению с таковым сообществ почвы вне корневой системы. Так, в бактериальном сообществе ризосферы *Salsola soda* L. помимо филумов *Proteobacteria* (20,25%) и *Firmicutes* (53,74%) было установлено наличие представителей филума *Halanaerobiaeota* (25,99%). Для *Proteobacteria* было отмечено преобладание *Halomonas elongata* (18,09%), а также присутствие *Halomonas caseinilytica*, *Halomonas* spp., *Lysobacter* spp. и представителей семейства *Rhizobiaceae*, доля каждого из которых не превышала 2%. Среди *Firmicutes* в исследуемом сообществе были идентифицированы представители *Staphylococcaceae*, с преобладающим видом *Staphylococcus succinus* (3,43%), и *Bacillaceae* (*Bacillus* spp.). Также в составе сообщества было установлено наличие анаэробных бактерий рода *Orenia*.

Близким по составу, но отличным по отношению филумов, было микробное сообщество ризосферы *Climacoptera lachnophylla* (Iljin) Botsch: *Proteobacteria* (69,75%), *Firmicutes* (28,4%) и *Halanaerobiaeota* (1,7%). Среди представителей *Proteobacteria* в этом сообществе превалировали представители рода *Halomonas* (46,02%): *Halomonas elongata*, *Halomonas caseinilytica* и *Halomonas* spp. Класс *Bacilli* в основном был представлен семейством *Bacillaceae* с преобладанием *Virgibacillus* (13,5%) и *Bacillus* (13,28%), а также незначительным присутствием (1,22%) *Terribacillus*, *Sediminibacillus*,

Aquibacillus, *Oceanobacillus* и *Gracilibacillus*. *Halanaerobiaeota* был представлен единственным видом *Orenia chitinitropha*.

В составе сообщества бактерий, выделенного из ризосферы *Anabasis salsa* (C. A. Mey.) Benth. ex Volkens, было установлено наличие представителей пяти филумов: *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinobacteriota*, *Halanaerobiaeota* и *Gemmimonadota*, однако бактерии трех последних филумов в сумме составили менее 0,2% всех бактерий сообщества. К преобладающим семействам данного бактериального сообщества следует отнести *Halomonadaceae* (*Halomonas elongata* (22,54%), *Halomonas cupida* (2,95%), *Halomonas* spp. (0,88%)); *Bacillaceae* (*Bacillus* (47,78%), *Virgibacillus* (19,62%) и *Terribacillus* (2,35%)), *Idiomarinaceae* и *Garciellaceae*. Среди виргибацил установлено присутствие *Virgibacillus pantothenicus*. Показано, что семейство *Idiomarinaceae* представлено только родом *Idiomarina*.

Заключение

Таким образом, для ризосферных сообществ исследуемых растений показано достаточно высокое бактериальное альфа-разнообразие, с преобладанием представителей родов *Halomonas* и *Bacillus*. Наличие редких видов может объясняться таким стохастическим фактором, как дрейф. По литературным данным известно, что многие виды родов *Halomonas* и *Bacillus* продукцируют метаболиты, регулирующие развитие растений, например, индолил-3-уксусная кислота и сидерофоры; а их эффективность была подтверждена в экспериментах *in vivo* [19–22]. Галотолерантность можно рассматривать как предпочтительный признак при выборе PGP-бактерий для использования в качестве биопрепаратов для увеличения производительности сельскохозяйственных культур на засоленных почвах.

Список литературы / References

1. Egamberdieva D., Wirth S., Bellingrath-Kimura S. D., Mishra J., Arora N. K. Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in Microbiology*, 2019, vol. 10, art. 2791. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02791>
2. Stavi I., Thevs N., Priori S. Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science*, 2021, vol. 9, art. 330. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>

3. Ondrasek G., Rengel Z. Environmental salinization processes: Detection, implications and solutions. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 754, art. 142432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142432>
4. Ondrasek G., Rathod S., Manohara K. K., Gireesh C., Anantha M. S., Sakhare A. S., Parmar B., Yadav B. K., Bandumula N., Raihan F. et al. Salt stress in plants and mitigation approaches. *Plants*, 2022, vol. 11, art. 717. <https://doi.org/10.3390/plants11060717>
5. Santos T. B. dos, Ribas A. F., Souza S. G. H. de, Budzinski I. G. F., Domingues D. S. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: A review. *Stresses*, 2022, vol. 2, pp. 113–135. <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>
6. Rossi M., Borromeo I., Capo C., Glick B. R., Del Gallo M., Pietrini F., Forni C. PGPB improve photosynthetic activity and tolerance to oxidative stress in *Brassica napus* grown on salinized soils. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, art. 11442. <https://doi.org/10.3390/app112311442>
7. Saghafi D., Delangiz N., Lajayer B. A., Ghorbanpour M. An overview on improvement of crop productivity in saline soils by halotolerant and halophilic PGPRs. *3 Biotech*, 2019, vol. 9, no. 7, art. 261. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1799-0>
8. Etesami H., Beattie G. A. Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. *Frontiers in Microbiology*, 2018, vol. 9, art. 148. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00148>
9. Meinzer M., Ahmad N., Nielsen B. L. Halophilic plant-associated bacteria with plant-growth-promoting potential. *Microorganisms*, 2023, vol. 11, no. 12, art. 2910. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122910>
10. Kumar V., Raghuvanshi N., Pandey A. K., Kumar A., Thoday-Kennedy E., Kant S. Role of halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria in mitigating salinity stress: Recent advances and possibilities. *Agriculture*, 2023, vol. 13, no. 1, art. 168. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010168>
11. Margesin R., Schinner F. Potential of halotolerant and halophilic microorganisms for biotechnology. *Extremophiles*, 2001, vol. 5, no. 2, pp. 73–83. <https://doi.org/10.1007/s007920100184>
12. Martínez G. M., Pire C., Martínez-Espinosa R. M. Hypersaline environments as natural sources of microbes with potential applications in biotechnology: The case of solar evaporation systems to produce salt in Alicante County (Spain). *Current Research in Microbial Sciences*, 2022, vol. 3, art. 100136. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100136>
13. Biswas J., Jana S. K., Mandal S. Biotechnological impacts of *Halomonas*: A promising cell factory for industrially relevant biomolecules. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 2023, vol. 39, no. 2, pp. 348–377. <https://doi.org/10.1080/02648725.2022.2131961>
14. Oren A. Novel insights into the diversity of halophilic microorganisms and their functioning in hypersaline ecosystems. *npj Biodiversity*, 2024, vol. 3, art. 18. <https://doi.org/10.1038/s44185-024-00050-w>
15. Sehgal S. N., Gibbons N. E. Effect of some metal ions on the growth of *Halobacterium cutirubrum*. *Canadian Journal of Microbiology*, 1960, vol. 6, pp. 156–169. <https://doi.org/10.1139/m60-018>
16. Zinchenko T. D., Shitikov V. K., Golovatyuk L. V., Gusakov V. A., Lazareva V. I. Plankton and bottom communities in the saline rivers of Lake Elton basin: Statistical analysis of dependences. *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, pp. 225–230. <https://doi.org/10.1134/S2079096118030083>
17. Abellan-Schneyder I., Matchado M. S., Reitmeier S., Sommer A., Sewald Z., Baumbach J., List M., Neuhaus K. Primer, pipelines, parameters: Issues in 16S rRNA gene sequencing. *Msphere*, 2021, vol. 6, no. 1, art. e01202-20. <https://doi.org/10.1128/mSphere.01202-20>
18. Wensel C. R., Pluznick J. L., Salzberg S. L., Sears C. L. Next-generation sequencing: Insights to advance clinical investigations of the microbiome. *Journal of Clinical Investigation*, 2022, vol. 132, no. 7, art. e154944. <https://doi.org/10.1172/JCI154944>
19. Wang R., Cui L., Li J., Li W. Factors driving the halophyte rhizosphere bacterial communities in coastal salt marshes. *Frontiers in Microbiology*, 2023, vol. 14, art. 1127958. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1127958>
20. Oliva G., Di Stasio L., Vigliotta G., Guarino F., Cicatelli A., Castiglione S. Exploring the potential of four novel halotolerant bacterial strains as plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) under saline conditions. *Applied Sciences*, 2023, vol. 13, no. 7, art. 4320. <https://doi.org/10.3390/app13074320>
21. Desale P., Patel B., Singh S., Malhotra A., Nawani N. Plant growth promoting properties of *Halobacillus* sp. and *Halomonas* sp. in presence of salinity and heavy metals. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2014, vol. 54, no. 8, pp. 781–791. <https://doi.org/10.1002/jobm.201200778>
22. Etesami H., Glick B. R. Halotolerant plant growth-promoting bacteria: Prospects for alleviating salinity stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 2020, vol. 178, art. 104124. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104124>

Поступила в редакцию 26.05.2025; одобрена после рецензирования 03.06.2025; принятая к публикации 25.06.2025
 The article was submitted 26.05.2025; approved after reviewing 03.06.2025; accepted for publication 25.06.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 422–436

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 422–436

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-422-436>, EDN: TGVZTK

Научная статья

УДК 581.95

Дополнение к сводке «Флора Нижнего Поволжья» класса однодольные Туфасеae – Hydrocharitaceae (по системе Энглера) по материалам гербария СГУ (SARAT)



В. А. Болдырев, Е. А. Нющенко, М. В. Степанов

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

Болдырев Владимир Александрович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники и экологии, boldyrev52@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0322-3755>

Нющенко Екатерина Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и экологии, arhipovaea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1946-4628>

Степанов Михаил Владимирович, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и экологии, stepanovmv_69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4930-625X>

Аннотация. В статье приводятся результаты сравнительного анализа распространения видов растений, относящихся к семействам Typhaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae на территории Нижнего Поволжья по материалам гербария Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского (SARAT). Виды семейств Typhaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae приурочены к прибрежно-водным и водным местообитаниям, уязвимым по отношению к антропогенному фактору, особенно в условиях степной зоны. Анализ распространения этих видов позволит определить способы охраны таких биотопов. За все время существования гербария СГУ (SARAT) было собрано значительное число ценного материала, который в настоящее время обрабатывается и систематизируется. Для уточнения распространения видов были проанализированы данные сводки «Флоры Нижнего Поволжья» и гербария СГУ (SARAT), поскольку при написании первого тома фонды гербария были использованы лишь частично. В гербарии СГУ (SARAT) зарегистрировано 23 вида Potamogetonaceae, к Hydrocharitaceae относится девять, Alismataceae – шесть, Typhaceae – пять, Juncaginaceae – два, Ruppiaceae и Butomaceae – по одному из 60 видов, указанных в литературе для территории Нижнего Поволжья. Самым многочисленным является семейство Potamogetonaceae (736 листов), далее в порядке убывания следуют Alismataceae (352), Hydrocharitaceae (226), Typhaceae (148), Butomaceae (118), Juncaginaceae (77) и Ruppiaceae (6). В фонде на сегодняшний день имеется 1725 гербарных листов, относящихся к исследованным семействам, сборы которых проводились с 1902 по 2021 г. на территории Нижнего Поволжья. Наибольшее число экземпляров было загербаризировано на территории Саратовской области (1236 листов), на втором месте стоит Астраханская область (242), на третьем – Волгоградская (163), на четвертом – Республика Калмыкия (22). В результате сравнительного анализа для 37 видов расширено представление об их распространении на исследованной территории.

Ключевые слова: гербарий СГУ (SARAT), Туфасеae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae, Саратовская, Волгоградская, Астраханская области, Республика Калмыкия

Для цитирования: Болдырев В. А., Нющенко Е. А., Степанов М. В. Дополнение к сводке «Флора Нижнего Поволжья» класса однодольные Туфасеae – Hydrocharitaceae (по системе Энглера) по материалам гербария СГУ (SARAT) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 422–436. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-422-436>, EDN: TGVZTK

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

Article

Addition to the summary “Flora of the Lower Volga Region” of the class of Liliopsida Typhaceae – Hydrocharitaceae (according to the Engler system) based on the materials of the herbarium of the SARAT State University

В. А. Болдырев, Е. А. Нющенко, М. В. Степанов

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

Vladimir A. Boldyrev, boldyrev52@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0322-3755>

Ekaterina A. Nyuschenko, arhipovaea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1946-4628>

Michail V. Stepanov, stepanovmv_69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4930-625X>



Abstract. The article presents the results of a comparative analysis of the distribution of plant species belonging to the families Typhaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae in the Lower Volga region based on the materials of the herbarium of the Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky (SARAT). Species of the families Typhaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae are confined to coastal-aquatic and aquatic habitats vulnerable to anthropogenic factors, especially in the steppe zone. Analysis of the distribution of these species will help determine the methods of protecting such biotopes. During the entire existence of the herbarium of the Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky (SARAT), a significant amount of valuable material has been collected, which is currently being processed and systematized. To clarify the distribution of species, the data from the summary of the "Lower Volga Region Flora" and the Saratov State University Herbarium (SARAT) were analyzed, since only part of the herbarium data was used when writing the first volume. The Saratov State University Herbarium (SARAT) registered 23 species of Potamogetonaceae, nine belong to Hydrocharitaceae, six to Alismataceae, five to Typhaceae, two to Juncaginaceae, one each of Ruppiaceae and Butomaceae out of 60 species listed in the literature for the Lower Volga region. The most numerous is the Potamogetonaceae family (787 herbarium specimens), followed in descending order by Alismataceae (366), Hydrocharitaceae (243), Typhaceae (155), Butomaceae (121), Juncaginaceae (90), and Ruppiaceae (7). The collection currently contains 1,769 herbarium specimens belonging to the studied families, which were collected from 1902 to 2021 in the Lower Volga region. The largest number of specimens were herbarized in the Saratov region (1,260 herbarium specimens), followed by the Astrakhan region (262) and the Volgograd region (179). As a result of a comparative analysis for 37 species, the understanding of their distribution in the studied territory was expanded.

Keywords: Saratov State University Herbarium (SARAT), Typhaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae, Saratov, Volgograd, Astrakhan regions, Republic of Kalmykia

For citation: Boldyrev V. A., Nyushchenko E. A., Stepanov M. V. Addition to the summary "Flora of the Lower Volga Region" of the class of Liliopsida Typhaceae – Hydrocharitaceae (according to the Engler system) based on the materials of the herbarium of the SARAT State University. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 422–436 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-422-436>, EDN: TGVZTK

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

Введение

Виды семейств Typhaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae приурочены к прибрежно-водным и водным местообитаниям, уязвимым по отношению к антропогенному фактору, особенно в условиях степной зоны. Анализ распространения этих видов позволит определить способы охраны таких биотопов.

Гербарий Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского был создан более века назад – в 1909 г. – одновременно с образованием кафедры ботаники, он является крупнейшей коллекцией в Нижнем Поволжье и входит в международный список гербариев [1]. В настоящее время его фонд насчитывает более 100 000 листов. Как отмечалось ранее, за прошедшие 110 лет накопилось большое количество ценного материала по однодольным растениям, который в настоящее время обрабатывается и систематизируется [2].

Материалы и методы

Для уточнения распространения видов были проанализированы данные сводки «Флоры Нижнего Поволжья» [3] и гербария СГУ (SARAT). При написании первого тома данные гербария были использованы лишь частично, в связи с этим мы сочли возможным проанализировать имеющиеся фонды.

Было проведено переопределение всех имеющихся гербарных образцов [3–7]. Материалом для исследования послужила база данных класса Liliopsida гербария СГУ (SARAT).

Номенклатура видов соответствует стандартам, принятым в базе данных Plants of the World Online [8]. Порядок размещения видов приводим в соответствии со сводкой «Флора Нижнего Поволжья» [3].

Уточнение современной административной принадлежности упоминаемых в этикетках населенных пунктов осуществлялось на основании документов, опубликованных в сети Интернет [9–12]. В работе принято районирование (Саратовская область: С1–С5, Волгоградская область: В1–В7, Астраханская область: А1–А5, Республика Калмыкия: К1–К3), указанное во «Флоре Нижнего Поволжья». Содержание этикеток приводится в авторской редакции.

Результаты и их обсуждение

TYPHACEAE – РОГОЗОВЫЕ

Typha latifolia L.

C1: Калининский район: с. М. Екатериновка, пойма пруда Водокачки, Ахнолиева, SARAT-V-SE-3014; **Ртищевский район:** с. Макарово, озеро в пойме Хопра «Страшное» левый берег, 10.06.1921, Монакова, SARAT-V-SE-3013; **Турковский район:** с. Студенка, берег р. Хопер, 02.07.1992, Legit Борисова Э., Determ Буланый Ю., SARAT-V-SE-3125; **C2: Аткарский**

район: болото сев-зап. с. Нестеровка (ныне с. Приречное), 27.06.1978, Legit Жидяева М. В., Determ Соколова С. Б., SARAT-V-SE-3123; **Базарно-Карабулакский район:** с. Алексеевка, берег пруда, 27.06.1993, Legit Мичурин В. Г., Шейпак О. А., Решетникова Т. Б., Еленевский А. Г., Determ Решетникова Т. Б., 12.05.1995, SARAT-V-SE-3124; **Красноармейский район:** Бобровка-Паницкая, болотинка в заболоченной пойме р. Карамыш, 23.06.1995, Legit Решетникова Т., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-3127; **Татищевский район:** ст. Курдюм, русло реки, 03.07.1953, Козлова, SARAT-V-SE-3016; **С3: Вольский район:** с. Терса, высохший водоем, 24.06.1992, Legit Решетникова Т. Б., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-3126; **Хвалынский район:** Хвалынское лесничество, квартал 15-19, край болота, 23.07.1955, Антонова, SARAT-V-SE-3015; **С5 Энгельсский район:** левый берег Волги, Мостотряд, 04.07.1977, Legit Калинина, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3122.

Typha angustifolia L.

С2: Лысогорский район: река Медведица к востоку от с. Невежкино, Legit Кулаков, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3006; центральная пойма в 4,5 км к югу от с. Б. Копены, берег озера, 12.06.1939, Простомолотова, SARAT-V-SE-3007.

Typha laxmannii Lepech.

С3: Хвалынский район: окр. с. Елховка, берег пруда, 18.07.2009, Седова О. В., Закурдаева М. В., Бекренева Е. С., SARAT-V-SE-3022; окр. с. Елховка, экотонная зона, 19.07.2009, Седова О. В., Закурдаева М. В., Бекренева Е. С., SARAT-V-SE-3023; **С5: Ровенский район:** с. Ровное, пойма, 06.07.1975, Legit Цыкун Т., Determ Папченков В., SARAT-V-SE-3020; **А5: Володарский район:** Астраханский гос. заповедник, Обжоровский участок, Взморье, на острове в устье реки Обжоровой, 02.08.1936, Князевская В., SARAT-V-SE-3019; **Камызякский район:** дельта Волги, Дамчик, 26.08.1920, Legit Чернов В., Determ Папченков В., SARAT-V-SE-3017.

Sparganium erectum L.

С1: Петровский район: с. Синенькие, старица р. Медведицы, 02.07.1994, Решетникова Т. Б., Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-4962; **Романовский район:** с. Б. Карай, заросшая старица р. Карай, 17.07.1991, Буланый Ю. И., SARAT-V-SE-4959; **Ртищевский район:** пруд в окр. с. Макарово, около воды, Legit неизвестен, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3081; с. Макарово, пойма Хопра, озеро в лесу, 10.07.1921,

Монакова, SARAT-V-SE-3056; окр. с. Макарово, пойма р. Хопра, 08.1921, Монакова, SARAT-V-SE-3053; с. Макарово, озеро в лесу, 06.08.1921, Legit Монакова, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3071; Макарьевский з-к, старица р. Хопер, по берегу, 15.07.1991, Legit Решетникова Т. Б., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-4960; с. Подгоренки, пересыхающая канава, 11.07.1991, Legit Решетникова Т. Б., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-4964; **С2: Аткарский район:** болото северо-западнее с. Нестеровка (ныне с. Приречное), 27.06.1978, Legit Жидяева М. В., Determ Соколова С. Б., SARAT-V-SE-4955; окр. с. Нестеровка (ныне с. Приречное), на заболочен. лугах, 26.06.1972, Legit Жидяева М. В., Determ Архипова Е. А., Шелест В. Д., SARAT-V-SE-4956; окр. с. Озерное, берег зарастающего водоема, 20.06.1977, Legit Жидяева М. В., Determ Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-4954; с. Озерное, старица в пойме р. Медведица, 27.07.1991, Буланый Ю. И., SARAT-V-SE-4968; с. Языковка, 07.05.1969, Маевский В. В., SARAT-V-SE-4948; **Базарно-Карабулакский район:** с. Яковлевка, берег р. Узы, 02.07.1993, Решетникова Т. Б., Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-4958; Яковлевка-Шняево, берег р. Узы, 02.07.1998, Мичурин В. Г., Шейпак О. А., Решетникова Т. Б., Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-4963; у с. Алексеевка, 11.07.2007, Legit Трунова Т. А., Determ Архипова Е. А.; **Лысогорский район:** пойменное озеро к востоку от с. Невежкино, Legit Кулаков, Determ Титкова, SARAT-V-SE-3084; в пойме р. Медведицы у с. Лысые Горы, 16.06.1949, Legit Худошин, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3063; с. Лысые Горы, болото, 05.07.1956, Глузман И., SARAT-V-SE-3075; с. Лысые Горы, прибрежные заросли по р. Медведице, 21.07.1992, Legit Купатадзе Г., Фатин С. Д., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-4969; окр. с. Атаевка, р. Медведица, 2014, Шелест В. Д., SARAT-V-SE-26712; озеро Лебяжье N 51°37' E 44.49°N 18.09.2003 Архипова Е. А., SARAT-V-SE-26711; **Татищевский район:** д. Идолга, у родника, 21.06.1934, SARAT-V-SE-3051; с. Ягодная Поляна, северный лесной массив, ручей, прямо в воде, 07.07.1949, Legit неизвестен, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3087; окр. станции Курдюм, русло реки, 03.07.1953, Шамаева, SARAT-V-SE-3082; ст. Курдюм, ручей, 03.07.1953, Люмина, SARAT-V-SE-3054; **С3: Вольский район:** с. Терса, Ванюшин пруд, у берега в осоковых зарослях, 25.06.1992, Legit Решетникова Т. Б., Determ Еленевский А. Г.,



SARAT-V-SE-4961; **Хвалынский район:** окр. г. Хвалынска, берег пруда Балалайка, 10.07.2007, Legit Варюшин, Агишев, Determ Архипова Е. А., Шелест В. Д., SARAT-V-SE-4937; **A4: Харабалинский район:** Харабали, пойма Ахтубы, 10.07.1935, Legit неизвестен, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3070; пойма Волго-Ахтубы, 19.08.1935, Смотрина, SARAT-V-SE-4952;

Sparganium emersum Rehmann

C3: Вольский район: окр. г. Вольска, у ручья, 15.07.1988, Legit неизвестен, Determ Архипова Е. А., Шелест В. Д., SARAT-V-SE-4975; **Воскресенский район:** окр. ост. п. 251 км, берег р. Чардым, 19.07.2009, Legit Съестнова Л., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-7065; **Хвалынский район:** трасса Саратов – Сызрань, «Лосиное озеро», мелководье пруда, 10–15 см от уреза воды 19.07.2009, Седова О. В., Бекренева Е. С., Закурдаева М. В., SARAT-V-SE-4973, SARAT-V-SE-4974; **C4: Балаковский район:** берег р. Сазанлеи в окр. г. Балаково, 10.07.1920, Трауберг Ю., SARAT-V-SE-4978; **B6: Быковский район:** с. Верхний Балыклей, 17.08.1932, Зайченко, SARAT-V-SE-3106; **Палласовский район:** лиман М. Булахта, высохший берег, 16.07.1932, Legit Тереножкин, Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-3066, SARAT-V-SE-3067; **A4: Харабалинский район:** Харабали, пойма Ахтубы, 10.07.1935, Legit неизвестен, Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4953;

POTAMOGETONACEAE – РДЕСТОВЫЕ
Potamogeton natans L.

C3: Хвалынский район: трасса Саратов – Сызрань, Лосиное озеро, пруд, в воде, 18.07.2009, Седова О. В., Бекренева Е. С., Закурдаева М. В., SARAT-V-SE-3234; пруд «Старый» №7, 03.07.2007, Legit Трунова Т. А., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22789; **C4: Балаковский район:** водоем вне поймы Волги, в окр. Балаково, 27.07.1940, Трауберг Ю., SARAT-V-SE-3585-3587; **A3: Красноярский район:** дельта Волги, окр. с. Пушкино, 30.08.1920, Чернов В., SARAT-V-SE-3594;

Potamogeton nodosus Poir.

C1: Аткарский район: р. Медведица к юго-востоку от с. Старая Лопуховка, 09.06.1975, Legit Ефимова, Котина, Determ Седова О. В., Архипова Е. А., 24.10.2018, SARAT-V-SE-7064; **Ртищевский район:** с. Подгоренки, в реке Хопер, 22.07.1991, Legit Еленевские А. Г., Л., Решетникова Т. Б., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-3606; с. Подгоренки у железной дороги, в реке Хопер, 22.07.1991, Legit Еленевские А. Г., Л.,

Решетникова Т. Б., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-3609; **C5: Энгельсский район:** пруд «Голубоеозеро» вдоль СКАД, в окр. с. Шумейка, копанный пруд, N 51 33 21.8 E 46 16 39.2, 18.06.2011, Закурдаева М. В., Седова О. В., Бекренева Е. С., SARAT-V-SE-1782; **A3: Красноярский район:** Пушкино, 30.08.1920, SARAT-V-SE-4548;

Potamogeton lucens L.

A3: Красноярский район: Пушкино, 31.08.1920, Legit неизвестен, SARAT-V-SE-3190;

Potamogeton gramineus L. s. l.

A3: Красноярский район: Пушкино, 31.08.1920, Legit неизвестен, Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4862;

В гербарии СГУ имеются листы, относящиеся к *Potamogeton heterophyllus* Schreb., в базе данных International Plant Names Index (IPNI, 2024) он рассматривается как синоним *Potamogeton gramineus* L., в сводке «Флора Нижнего Поволжья» [3] этот вид включен в полиморфный комплекс *Potamogeton gramineus* L. s. l., с пометкой «встречен в одном из солоноватых лиманов Доно-Арчединского песчаного массива в бассейне среднего Дона». Приводим все местонахождения этого вида, не относящиеся к указанной территории.

C1: Самойловский район: с. Благовещенка, пруд, в воде, N 51 22 02,6 E 43 56 14,505.08.2012, Legit Закурдаева М. В., Бекренева Е. С., Determ Папченков В. Г., SARAT-V-SE-1768; **C2: Саратов:** Зеленый остров. Песчаное озеро, 16.08.1935, Чуевская, SARAT-V-SE-3163; Зеленый остров, средина озера Бритвенного, 16.08.1935, Князевская, SARAT-V-SE-3162; Зеленый остров, в воде в конце озера Песчаного, 28.08.1935, Князевская, SARAT-V-SE-3164; о. Казачий, Волгоградское водохранилище, 10.09.2005, Седова О. В., SARAT-V-SE-7824; **C3: Вольский район:** окр. г. Вольска, 09.1923, Янишевский Д.; **C5: Балаковский район:** р. Маянга, близ с. Маянги, 23.08.1927, Смоленская, SARAT-V-SE-3181; **Энгельсский район:** Покровск, озеро за Сазанкой, 17.09.1926, Янишевский Д.; левый берег Волги, д/о «Ударник», 30.06.1954, Бирю, SARAT-V-SE-3177; д/о «Ударник», левый берег Волги, вода, 30.06.1954, Legit неизвестен, SARAT-V-SE-3174; левый берег Волги, д/о «Ударник», 30.06.1954, Манистина, SARAT-V-SE-3169; **B4: Калачевский район:** озеро Лопатино, в окр. хутора Б. Набатово, 06.09.1926, Фурсаев А. Д.; **A4: Харабалинский район:** с. Селитренное, пойма Волго-Ахтубы,

20.07.1935, Пахмурина Е., SARAT-V-SE-3165;
A5: Володарский район: Астраханский гос. заповедник, Обжоровский участок, Взморье, 25.07.1936, Князевская В., SARAT-V-SE-3167; **Камызякский район:** Астраханский заповедник, Дамчикский участок, коса на вытечке р. Правой Моренной, 18.07.1946, Вишневская, SARAT-V-SE-3171; Астраханский гос. заповедник, Дамчикский участок, ерик Гранушин, в воде, 01.08.1940, Яковлева Л., SARAT-V-SE-3169;

Potamogeton sarmaticus Maemets

B2: Алексеевский район: правобережная пойма р. Бузулука в 4-х верстах ниже станицы Алексеевской, низкий уровень, покрытый водой и мощным травостоем, в воде, 04.07.1926, Legit Nicolukin A., Determ Хлызова Н., SARAT-V-SE-3514; правобережная пойма р. Бузулука в 4-х верстах ниже станицы Алексеевской, в воде на нижнем уровне поймы, 07.07.1926, Legit Nicolukin A., Determ Хлызова Н., SARAT-V-SE-3513; *Potamogeton perfoliatus* L.

C3: Воскресенский район: с. Усовка, 25.08.1972, Чигуряева А. А., SARAT-V-SE-3274, SARAT-V-SE-3275; о. Чардым, Волгоградское водохранилище, 08.07.2005, Седова О. В., SARAT-V-SE-7813; о. Чардым, Волгоградское водохранилище, 15.07.2005, Седова О. В., SARAT-V-SE-7814; **Хвалынский район:** берег р. Волга у с. Михайловка, Саратовское водохранилище, 12.07.2004, Legit Архипова Е. А., Determ Седова О. В., Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3637; **C4: Балаковский район:** пойма р. Волги в окр. Балакова, 27.07.1920, Трауберг, SARAT-V-SE-3482; из озера «Иловатое» в окр. г. Балакова, 05.07.1920, Трауберг Ю., SARAT-V-SE-3483; **Ивантеевский район:** п. Мирный, р. М. Иргиз, 07.06.2007, Буланый Ю. SARAT-V-SE-3462; **Пугачевский район:** к югу от г. Пугачева, в реке Иргиз, 06.09.1928, Тереножкин И. И., SARAT-V-SE-3288;

Potamogeton compressus L.

C1: Аткарский район: окр. д. Палатовки, болото в пойме р. Медведицы, 11.07.1920, Беляков Е., SARAT-V-SE-3138; **Ртищевский район:** пойма р. Хопра – левый берег у с. Макарово, 1925, Legit Монакова, Determ Клинкова Г. Ю., SARAT-V-SE-3140;

Potamogeton acutifolius Link

C4: Балаковский район: In paludosus propeu. Balakovo, 1920, Legit Trauberg I., SARAT-V-SE-3453; из водоема около дороги в гор. Николаевск в окр. Балакова, 30.06.1920, Legit Trauberg I., SARAT-V-SE-3455, SARAT-V-

SE-3456, SARAT-V-SE-3457, SARAT-V-SE-3458;

C5: Краснокутский район: временный водоем в окр. с. Дьяковка, 01.07.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Седова О. В., Архипова Е. А., SARAT-V-SE-7040; **Питерский район:** пруд рядом с пр. Большой, 11.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Седова О. В., Архипова Е. А., SARAT-V-SE-1706; **Федоровский район:** пруд Терешкин, массово, илистый грунт, 15.06.2015, Legit Давиденко О. Н., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-1652;

Potamogeton trichoides Cham. et Schlecht.

C1: Аткарский район: с. Лисичкино, болотце у родника в пойме р. Медведицы, 06.1920, Legit Беляков Е., Determ Клинкова Г. Ю., SARAT-V-SE-3439; окр. г. Аткарска, пойма реки Медведицы, 01.06.1918, Беляков Е. В., SARAT-V-SE-4876; окр. с. Щербиновка, в пойме р. Медведицы заражающий водоем, 22.06.1975, Жидяева М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-4878; **C3: Хвалынский район:** пруд «Старый» № 7, 03.07.2007, Legit Трунова Т. А., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22805; **C4: Балаковский район:** пруд в с. Новониколаевский на р. Куличиха, на илистом грунте на глубине до 50 см, массово, 06.06.2015, Legit Давиденко О. Н., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-1458; в реке Сазанлей в окр. г. Балаково, 10.07.1920, Legit Трауберг Ю., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4881; пойма р. Волги, в окр. Балаково, 27.07.1920, Legit Трауберг, Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4882, SARAT-V-SE-4885, SARAT-V-SE-4886, SARAT-V-SE-4889, SARAT-V-SE-4890; **K3: Черноземельский район:** Сарпинские озера, оз. Светлое, 28.06.1929, Фурсаев Ал.

Potamogeton friesii Rupr.

C1: Аткарский район: окр. с. Лисичкино, 14.06.1920, Беляков Е., SARAT-V-SE-3159, SARAT-V-SE-3160; озеро в пойме р. Медведицы у с. Лисичкино, 14.06.1920, Беляков Е. В. SARAT-V-SE-3544; **C3: Хвалынский район:** окр. с. Елшанка, пруд, в воде, N 52 33 42,2; E 48 01 4,0 08.08.2008, Седова О. В., Закурдаева М. В., Бекренева Е. С., SARAT-V-SE-3158; пруд по дороге на с. Елшанка (в Елашниках), 30.06.2005, Legit Серова Л. А., Determ Щербаков А. В.;

Potamogeton pusillus L.

C4: Балаковский район: пойма р. Волги в окр. г. Балаково, 27.07.1920, Трауберг, SARAT-V-SE-4883, SARAT-V-SE-4884, SARAT-V-SE-4887, SARAT-V-SE-4888, SARAT-V-SE-4891; **K3: Малодербетовский район:** Сарпинские озера, оз. Пришиб, 28.06.1929, Фурсаев А. Д.;



Potamogeton obtusifolius Mert. et Koch

C5: Краснокутский район: временный водоем в окр. с. Дьяковка (у трассы и кладбища), 30.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Седова О. В., Архипова Е. А., SARAT-V-SE-7062;

Potamogeton berchtoldii Fieb.

C2: Аткарский район: с. Озерное, болото, 09.07.1968, Legit Шабункина, Determ Лопырева, SARAT-V-SE-3542; **Вольский район:** окр. с. Покровка, заводь р. Латрыка, 23.07.1923, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4509; **Новобурасский район:** с. Тепловка, рыборазводный пруд, 26.07.1990, Legit Фатин С., Буланый Ю., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4556, SARAT-V-SE-4557; **Саратовский район:** р. Латрык, ок. дер. Сбродовки, стоячие воды, 23.07.1923, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4503, SARAT-V-SE-4504, SARAT-V-SE-4505; р. Латрык у дер. Неклюдовка, 23.07.1923, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4506; **C3: Хвалынский район:** пруд «Старый» №7, 03.07.2007, Legit Трунова Т. А., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22806; **C4: Балаковский район:** с. Хлебновка, р. Мокрая Солянка, за с. Хлебновка, глинистый грунт, единично в сообществе *Potamogeton pectinatus*, 06.06.2015, Legit Давиденко О. Н., Determ Щербаков А. В., 2.03.2017, SARAT-V-SE-1457; Ново-Николаевский пруд в с. Новониколаевский на р. Куличиха, на илистом грунте на глубине до 50 см, массово, 06.06.2015, Legit Давиденко О. Н., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4500; **Духовницкий район:** пруд в с. Полеводинский, илистый грунт, на глубине до 60 см, обильно в сообществах *Ceratophyllum demersum*, 07.06.2015, Legit Давиденко О. Н., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-1456; **C5: Ершовский район:** окр. с. Дмитриевка, в р. Миус, 27.06.1961, Гарбузов, SARAT-V-SE-3130; **Новоузенский район:** пруд Солянка у хут. Ветляный, глинистый грунт, 14.06.2015, Legit Давиденко О. Н., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-1459; **Пугачевский район:** с. Новые Порубежки, озеро Солянка, 06.08.1950, Legit Рамзаева, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3132; **K3: Малодербетовский район:** Сарпинские озера, южный конец оз. Барманцак, 06.1927, Legit Фурсаев А. Д., Determ Щербаков А. В.

Potamogeton crispus L.

C5: Дергачевский район: Алтатинский орошаемый участок, в воде, место слияния р. р. Красной и Красненькой, Legit Булычева, SARAT-

V-SE-4846, SARAT-V-SE-4848; **Новоузенский район:** пр. Солянка в с. Дмитриевка, 10.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Давиденко О. Н., SARAT-V-SE-1708; **Озинский район:** с. Первоцелинное, озеро, 01.07.2004, Елевинский А. Г., Буланый Ю., SARAT-V-SE-4860; **Пугачевский район:** р. Лагуниха в окр. с. Рахмановка, 28.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Невский С. А., SARAT-V-SE-7048; оз. Лебяжье в 2 км сев. с. Еремино, 27.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Невский С. А., SARAT-V-SE-7049; **Ровенский район:** с. Ровное, Ремизова, SARAT-V-SE-3154; пруд б/н в окр. с. Кривояр, 29.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Невский С. А., SARAT-V-SE-7050; **Энгельсский район:** Покровск (ныне г. Энгельс), Сазанка, озеро за баками, 27.08.1922, Legit Чернов В., SARAT-V-SE-4851; г. Энгельс, р. Волга, 25.07.1995, Буланый Ю., SARAT-V-SE-4857; 800 м севернее с. Березовка, р. Березовка, в воде у земляной дамбы, 01.08.2012, Legit Архипова Е. А., Лаврентьев М. В., Степанов М. В., Determ Седова О. В., Архипова Е. А., SARAT-V-SE-22771.

Stuckenia filiformis (Pers.) Börner

Федоровский район: с. Еруслан, плотинный пруд Волчий, в воде, N 51 12 09,6 E 47 22 09,5, 03.06.2012, Седова О. В., Бекренева Е. С., Закурдаева М. В., SARAT-V-SE-1779, SARAT-V-SE-1780. Это местообитание является самым северным на территории Нижнего Поволжья. В сводке «Флора Нижнего Поволжья» [3] указано, что «наиболее северное местообитание – в Краснокутском районе Саратовской области».

Zannichellia palustris L.

C2: Татищевский район: р. Курдюм окр. д. Сторожево (Долгий мост), 25.08.1919, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-4895, SARAT-V-SE-4902; **C4: Балаковский район:** в стоячем водоеме в окр. г. Балаково, 05.09.1919, Трауберг Ю., SARAT-V-SE-4900.

RUPPIACEAE – РУППИЕВЫЕ

Ruppia maritima L.

A4: Харабалинский район: берег соленого озера между барханами у ст. Чапчачи, Астрахан. ж. д., 01.10.1922, Калинина Л. В., SARAT-V-SE-22849.

JUNCAGINACEAE – СИТНИКОВИДНЫЕ

Triglochin maritima L.

C1: Балашовский район: Балашов, пойма Хопра, 09.06.1934, Куничкина А., SARAT-V-SE-3736; окр. Балашова, пойма Хопра, 06.07.1934, Legit Куничкина А., SARAT-

V-SE-3722; Балашов, пойма Хопра, болото, 06.07.1934, Legit Куничкина А., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3711; окр. с. Б. Мелик, засоленный луг, 07.07.2010, Legit Чеботарева О. В., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-26705, SARAT-V-SE-26704; с. Б. Мелик, злаково-разнотравный луг, 26.06.2012, Мулдашева Е. М., Чеботарева О. В., Буланый Ю. И., SARAT-V-SE-26703; окр. г. Балашова, пойма Хопра, 06.07.1934, Legit Куничкина А., SARAT-V-SE-26699; с. Б. Мелик, засоленный луг, 23.08.2011, Мулдашева Е. М., Чеботарева О. В., SARAT-V-SE-26695; 7 км зап. с. Репная Вершина, уроч. Большие мочажины, засоленный луг, 07.07.2021, Буланый Ю., SARAT-V-SE-24651; **Калининский район:** з/с «Казачка», масс. № 2, дно долы Гатного, 19.06.1930, Куницына, SARAT-V-SE-3730; г. Калининск, в 1 км к сев-западу, засоленный луг у р. Баланды, 23.09.2010, Legit Гребенюк С. И., SARAT-V-SE-26707; **Петровский район:** с. Синенькие, заболоченный луг по р. Медведица, 26.06.1994, Еленевский А. Г., Решетникова Т. Б., Мичурин В. Г., SARAT-V-SE-24644; **Романовский район:** Б. Карай, луговинки вдоль р. Карай в пойме, 23.06.1992, Буланый Ю. И., SARAT-V-SE-24646; **С2: г. Саратов и его окр.:** Лысая гора, 28.05.1930, бригада студентов, SARAT-V-SE-3718; **Аткарский район:** окр. с. Нестеровка, сырой луг в центр. пойме р. Медведицы, 14.06.1971, Legit Жидяева М. В., Соколова С. Б., Архипова Е. А., SARAT-V-SE-24649; окр. с. Нестеровка, зарастающее болото в пойме р. Медведицы, 20.06.1971, Legit Жидяева М. В., Determ Соколова С. Б., SARAT-V-SE-24648; **Красноармейский район:** Бобровка – Паницкая, луговинки бл. заболоченной поймы р. Карамыш, 23.06.1995, Legit Решетникова Т., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-24645; **Лысогорский район:** у р. Песковатки в 7 км к югу от с. Б. Копены, 13.06.1939, Legit Простомолотова, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3714; озеро Лебяжье N 51.35'37" E 44.49'59", 18.09.2003, SARAT-V-SE-26700; **Новобурасский район:** близ ст. Бурысы, окраина болота «Моховое», 26.05.1975, Legit Гребенюк С. И., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-26706; **Татищевский район:** в 3 км от ст. Курдюм, луг, Legit Михайлова, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3703; в 200 метрах севернее ст. Курдюм, участок незасоленной поймы, 10.06.1951, Legit Ковачева, SARAT-V-SE-3724; севернее ст. Курдюм на 200 м, участок незасоленной поймы, 09.06.1951, Вишнякова, SARAT-

V-SE-3727; ст. Курдюм, 16.06.1953, Васильева, SARAT-V-SE-3700; ст. Курдюм, луг, 03.07.1953, Гришина, SARAT-V-SE-3701; ст. Курдюм, пойма, 03.07.1953, Плотникова, SARAT-V-SE-3702; ст. Курдюм, луг, 03.07.1953, Legit Козлова, SARAT-V-SE-3734; ст. Курдюм, пойма, 03.07.1953, Legit Лапшина, SARAT-V-SE-3735; ст. Курдюм, луг, 10.06.1954, Legit Шатунова, Determ Терешкова Т. В., SARAT-V-SE-3716; ст. Курдюм, пойма реки Курдюм, 10.06.1954, Legit Медведева, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3715; ст. Курдюм, 10.06.1954, Legit Пыринова, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3731; ст. Курдюм, на берегу реки, 14.06.1954, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3709; ст. Курдюм, луг, 24.06.1955, Legit Ятрова, ARAT-V-SE-3717; в окр. ст. Курдюм, засоленный луг р. Курдюм, 24.06.1955, Григорьева, SARAT-V-SE-3707; ст. Курдюм, р. Курдюм, левый берег, 27.06.1957, Legit Гайдамаченко, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3706; окр. ст. Курдюм, левобережная пойма, 27.06.1957, Legit Тереножкина, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3713; окр. ст. Курдюм, левобережная пойма, 27.06.1957, Legit Алексеева З., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3712; ст. Курдюм, луг, 30.06.1959, Legit Рыжкова, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3708; окр. пос. Татищево, пойма р. Идолга, засоленный луг, 10.08.1996, Березуцкий М. А. SARAT-V-SE-3737; окр. с. Сторожевка, 29.06.2009, Legit Чеботарева О. В., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-26701, SARAT-V-SE-26702; Октябрьский Городок, пойма р. Идолги, 1934, Чигуряева А., SARAT-V-SE-26698; заливные луга р. Курдюм, ок. станции Курдюм, 1919, Чернов В., SARAT-V-SE-26696; ст. Курдюм, заболоченный луг по речке Курдюмке, 22.05.1990, Legit Решетникова Т. Determ Буланый Ю., Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-24647; **C5: Ершовский район:** окр. с. Дмитриевка, на берегу пруда на засоленной почве, 25.05.1980, Legit Гребенюк С. И., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-26706; **Озинский район:** 6 км к северу от Синегорского, засоленный луг, N 51.20'28,2" E 49.55'44,7", 16.07.2012, Legit Буланый Ю. И., Архипова Е. А., Determ Архипова Е. А.; балка Солянка, 08.08.2011, Невский С. А., SARAT-V-SE-26693.

Triglochin palustris L.

C1: Аткарский район: окр. с. Лисичкино, 18.06.1920, Legit Беляков Е., SARAT-V-SE-3739; **Калининский район:** с. Анастасьево, заболоченный лужок, 29.06.1990, Буланый Ю. SARAT-

V-SE-24642; **Петровский район:** с. Синенькие, осоковое болото, 26.06.1994, Еленевский А., Решетникова Т., Мичурин В. SARAT-V-SE-24641; **C2: Саратов и его окр.:** Гуселки, Legit Чернов В., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3738; на р. Гуселке, 28.08.1928, Legit Попов, SARAT-V-SE-3752; **Базарно-Карабулакский район:** Хватовка-Казанла, заболоченный лужок, 28.06.1993, Мичурин В. Г., Шейпак О. А., Решетникова Т. Б., Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-24643; **Базарно-Карабулакский район:** Базарный Карабулак, сырой луг у реки, 17.07.1982, Legit Сецинская, Determ Рябова, SARAT-V-SE-24636; **Лысогорский район:** с. Широкий Карамыш, поемные луга, расположенные к с. Гадаевки, 21.06.1935, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3740; овраг в долине Медведицы, к N от с. Б. Копены, 15.07.1939, Простомолотова, SARAT-V-SE-3751; **Татищевский район:** ст. Курдюм, 16.06.1959, Артемьева, SARAT-V-SE-3741; ст. Курдюм, луг, 17.06.1959, Legit Ноздрин, SARAT-V-SE-3747; окр. пос. Татищево, пойма р. Идолги, засоленный луг, 10.08.1996, Березуцкий М., SARAT-V-SE-3753; **C3: Хвалынский район:** окр. с. Сосновая Маза, берег пруда, 16.07.2009, Закурдаева М. В., Седова О. В., Бекренева Е. С., SARAT-V-SE-22508; **C4: Балаковский район:** с. Хлебновка, берег р. М. Иргиз, 06.08.1970, Legit Арефьева Н. В., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-24639; Хлебновка, 06.08.1970, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-24637; **C5: Ершовский район:** северо-западнее с. Дмитриевка, у пруда на лугово-каштановой солончаковой почве в ситнягово-ситниковом фитоценозе, 22.05.1980, Гребенюк С. И., SARAT-V-SE-24631; **Краснокутский район:** окр. с. Дьяковка, выгон, 28.06.1938, Шарова В., SARAT-V-SE-3749, SARAT-V-SE-24634, SARAT-V-SE-24633; **Озинский район:** окр. с. Непряхино, восточнее в 300 м, солончаковый луг, 18.07.1982, Legit Гребенюк С. И., SARAT-V-SE-24630; **A2: Енотаевский район:** около Замьян, 17.10.1937, Legit Кениг Г., SARAT-V-SE-3742.

ALISMATACEAE – ЧАСТУХОВЫЕ

Alisma plantago-aquatica L.

C1: Аркадакский район: около болота западнее п. Комсомольский, 17.08.1979, Legit Горгос Е. В., SARAT-V-SE-27658; **Аткарский район:** к с-з от с. Старая Лопуховка, в «ямах» пересыхающей речки, 27.07.1977, Legit Протоклирова Т., SARAT-V-SE-27688; **Балашовский район:** Балашов, пойма Хопра, Тростянские луга, 06.06.1934, Legit Куничкин А., Determ Архипо-

ва Е.А., SARAT-V-SE-17932; с. Пады, левый берег р. Хопер, около воды, 19.07.1991, Legit Костикова Е., Determ Буланый Ю., SARAT-V-SE-27674; **Калининский район:** с. Анастасино, в воде, 05.06.1991, Буланый Ю. И., SARAT-V-SE-27670; **Петровский район:** с. Синенькие, лужи в пойме р. Медведицы, 26.06.1994, Еленевский А. Г., Решетникова Т. Б., Мичурин В. Г., SARAT-V-SE-27675; **Ртищевский район:** окр. с. Макарово, дно балки, 11.07.1971, Determ Тарасов А. О., SARAT-V-SE-17993; **Самойловский район:** с. Николаевка, 06.1984, Трифонова И. Ю., SARAT-V-SE-5149; р. п. Самойловка, берег болота, 07.1990, Дурнова Н. А., SARAT-V-SE-27667; **Турковский район:** с. Марьино, терраса р. Мокр. Карай, 13.07.1986, Legit Кутник, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27660; с. Студенка, берег р. Щербено, 08.08.1995, Legit Борисова Э., Задорнова Л., Determ Буланый Ю., SARAT-V-SE-27671; **C3: Вольский район:** г. Вольск, зеленая зона, заболоченная балка, Якушев, SARAT-V-SE-27637; **Воскресенский район:** о. Чардым, 1960, SARAT-V-SE-17980; **Хвалынский район:** Хвалынское лесничество, квартал 19-20, болото, 23.06.1955, Антонова, SARAT-V-SE-17965; окр. с. Подлесное, берег пруда, N 52 25 26,6 E 48 25 1,1 06.08.2008, Седова О. В., Закурдаева М. В., Бекренева Е.С., SARAT-V-SE-24502; окр. с. Сосновая Маза, неглубокий овраг с высохшим дном, 22.07.2007, Legit Серова Л. А., Архипова Е. А., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27640; **C4: Балаковский район:** г. Балаково, берег Волги, 15.08.1974, Legit Ермакова, SARAT-V-SE-17998, SARAT-V-SE-17999, SARAT-V-SE-18000; **K3: Малодербетовский район:** Сарпинские озера, оз. Унгун-Тиричи, 21.08.1935, Legit Захаров, Determ Маевский, SARAT-V-SE-17938.

Alisma x bjoerkqvistii Tzvelev

C1: Аткарский район: окр. г. Аткарск, 23.06.1918, Determ Щербаков А.В., SARAT-V-SE-5130.

Alisma lanceolatum With.

C1: Аткарский район: с. Щербиновка, водоем, пойма р. Медведица, 25.06.1971, Жидяева М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-26735; **C3: Воскресенский район:** с. Андреевка, пойма р. Терешки, 15.06.1954, Legit Лаврова, Determ Клинкова Г. Ю., SARAT-V-SE-3798; с. Андреевка, пойма р. Терешки, 15.06.1954, Legit Климанова, Determ Клинкова Г. Ю., SARAT-V-SE-3820; с. Андреевка, пойма р. Терешки, 15.06.1954, Legit Косолапова В., Determ Архипова Е. А.,

SARAT-V-SE-3832; **C4: Балаковский район:** окр. с. Криволучье-Сура, дорога на сухой овраг, берег старицы р. Б. Иргиз, 19.08.2012, Архипова Е. А., SARAT-V-SE-26749; водоем в окрестностях г. Балаково, 27.07.1920, Legit Трауберг Ю., SARAT-V-SE-26740; **Пугачевский район:** г. Пугачев, берег р. Иргиза, 27.07.1987, Шолохова О. А., SARAT-V-SE-3813;

Damasonium alisma Mill.

C5: Александрово-Гайский район: с. Варфоломеевка, лиман Чун-Кур, под водою, 20.06.1956, Манистина Н., SARAT-V-SE-1753; в 11 км к северу от с. Варфоломеевка, лиман Урусов, опис. бланк, 30, 31, 21.06.1956, Legit Бирюкова, SARAT-V-SE-1750; с. Варфоломеевка, лиман Крутой, слой воды – 7 см, 18.07.1957, Манистина Н., SARAT-V-SE-1749; **A2: Енотаевский район:** сухой лиман в 3-4 км за Владимировкой, 17.06.1932, Фурсаев Ал.; **K3: Малодербетовский район:** Сарпинские оз., оз. Пришиб, 05.09.1928, Фурсаев А. Д.

Sagittaria sagittifolia L.

C1: Аркадакский район: берег р. Хопер, у воды и в воде, 18.07.1979, Горгос Е. В., SARAT-V-SE-5098; около берега р. Хопер, 15.08.1979, Горгос Е. В., SARAT-V-SE-5099; **Аткарский район:** окр. с. Щербино, в прибрежной зоне озера в пойме р. Медведицы, 15.06.1977, Legit Жидяева М. В., Determ Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-5126; окр. с/х «Красноармеец», «Танькино озеро», в прибрежной зоне, 25.06.1964, Жидяева М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-5129; с. Ст. Лопуховка, берег реки Медведицы, 20.06.1973, Legit Кулакова В., Белова О., Determ Протоклита, SARAT-V-SE-26772; окр. с. Ст. Лопуховка, река Медведица, 20.06.1973, Legit Бонарева Т. М., Determ Протоклита Т. Б., SARAT-V-SE-26771; окр. с. Белгаза, топкий берег озера Кривое, 06.06.1972, Legit Сабитова, Determ Гразанова, SARAT-V-SE-26768; река Медведица, восточнее с. Ст. Лопуховка, 1972, Legit Кондратьева В., Determ Федулова, SARAT-V-SE-26767; **Балашовский район:** Тростянские луга, болото, 12.06.1934, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-5042; окр. Балашова, пойма р. Хопра, 09.06.1934, Legit Куничкина А., SARAT-V-SE-5073; с. Пады, берег р. Хопер, в воде, 19.07.1991, Legit Костикова Е., Determ Буланый Ю., SARAT-V-SE-5118; **Калининский район:** окр. с. Колокольцовки, 12.08., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-5075; **Петровский район:** с. Синенькие, р. Медведица, 30.06.1994, Legit Решетникова Т. Б., Мичурин В. Г., Determ

Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-5119; **Романовский район:** с. Большой Карай, берег оз. Скавское, 07.07.1992, Буланый Ю., SARAT-V-SE-5122; **Ртищевский район:** окр. с. Северко, 15.07.1971, Determ Тарасов А. О., SARAT-V-SE-5063; Подгоренки, Кривое озеро, старица Хопра, 11.07.1991, Еленевский А. Г., Еленевская Л., Решетникова Т. Б., SARAT-V-SE-5117; Подгоренки, Кривое озеро, старица Хопра, в воде, 11.07.1991, Решетникова Т., SARAT-V-SE-5123; **Самойловский район:** п. Садовый, в воде, у берега, 07.06.1991, Маркова Е., SARAT-V-SE-5121; **Турковский район:** с. Марьино, тер. р. М. Карай, 13.07.1968, Legit Кутник, Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-5100; р. п. Турки р. Хопер, 16.06.1990, Буланый Ю., SARAT-V-SE-5125; **C2: Саратов и его окр.:** Зеленый остров, около берега Бритвенного озера, 16.08.1935, Determ Чуевская З., SARAT-V-SE-5054; Зеленый остров, на середине озера Карасева, на иловатой вязкой почве, в acc. *Sagittaria sagittifolia* – *Potamogeton perfoliatus*, 23.08.1935, Князевская, SARAT-V-SE-5017, SARAT-V-SE-5016; Зеленый остров, в воде около берега оз. Краснова, на вязкой ил. почве, в acc. *Potamogeton perfoliatus*, 01.09.1935, Князевская, SARAT-V-SE-5053; Зеленый остров, между озер Трех братьев и Щучьего, в небольшом понижении на иловатой песч. сырой почве, в acc. *Salix alba* – *S. triandra* – *Solanum dulcamara*, 28.07.1938, Князевская, SARAT-V-SE-5037; Зеленый остров, в воде у берега озера Бритвенного, на вязкой иловатой почве, в acc. *Sparganium ramosum* - *Potamogeton perfoliatus* + *Elodea canadensis*, 16.08.1938, Князевская, SARAT-V-SE-5038; Зеленый остров, 05.09.1951, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-5041; Зеленый остров, в Щучьем озере, 05.09.1951, SARAT-V-SE-5026; долина р. Волги, Зеленый остров, 12.08.1947, Legit Тарасов, SARAT-V-SE-5095, SARAT-V-SE-5096; долина р. Волги, займище ок. г. Саратова, 1920, Чернов В., SARAT-V-SE-5114; 222 **Аткарский район:** с. Озерное, болото у ж.-д. моста через р. Идолгу, 16.07.1968, Legit Корсукова, Determ Чернышенко, SARAT-V-SE-5018; окр. с. Мумовское, в прибрежной зоне р. Колышлей, 20.06.1971, Жидяева М. В., Соколова С. Б., SARAT-V-SE-5127; **Аткарский район:** окр. с. Нестеровка (ныне с. Приречное), пойма р. Медведицы, засыхающее болото, 26.06.1972, Жидяева М. В., Соколова С. Б., SARAT-V-SE-5128; окр. с/х «Красноармеец», «Танькино озеро», в прибрежной зоне, 25.06.1964, Жидяев

ва М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-5129; казник «Затон», р. Медведица, 22.06.1972, Legit Елифанов, Determ Морозов, SARAT-V-SE-26773; **Красноармейский район:** с. Мордово, берег залива Волги, в воде, 13.07.1992, Решетникова Т., SARAT-V-SE-5116; **Лысогорский район:** озеро в прирусловые к Н от с. Б. Копены, 26.06.1939, Простомолова, SARAT-V-SE-5014; Лысые Горы, берег озера близ насыпи ж.д., 04.07.1949, Legit Щепотьев Н., SARAT-V-SE-5000; с. Лысые Горы, озеро, 04.07.1956, Legit Наумова, Determ Похмельных, SARAT-V-SE-5022; с. Лысые Горы, р. Медведица, болото, 05.07.1956, Глузман И., SARAT-V-SE-5015; с. Новые Пески, река Медведица, 14.07.1975, Legit Лебощина, Determ Каракина, SARAT-V-SE-5069; бер. оз. Чуйского, 05.07.1927, Legit Чернов В., SARAT-V-SE-4999; п. Лысые Горы, пойма р. Медведицы, 29.06.1968, Петрушеникова Л., SARAT-V-SE-5110; с. Ш. Карамыш, р. Карамыш, на мелководье, 06.07.2012, Legit Иванова Т., SARAT-V-SE-26761; **С3: Вольский район:** окр. г. Вольска, урочище «Кривиль», по озерам, 08.07.1936, Шарова В., SARAT-V-SE-26766; **Хвалынский район:** р. Терешка, 24.06.2004, Серова Л. А., SARAT-V-SE-5040; **В5: Николаевский район:** займище близ г. Николаевска, 29.07.1932, Legit Зайченко, SARAT-V-SE-5023; пос. Рыбный, 4-ый вырастной пруд, 03.06.1979, Legit Синицына Е. М., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-5108; **А1: Енотаевский район:** с. Пришиб, пойма близ Ягодного Ильменя, 16.08.1934, Determ Клетухина, SARAT-V-SE-5032, SARAT-V-SE-5046.

BUTOMACEAE – СУСАКОВЫЕ

Butomus umbellatus L.

С1: Аркадакский район: луг около р. Аркадак, 18.07.1979, Legit Горгос Е. В., SARAT-V-SE-27611; **Аткарский район:** р. Медведица к северо-западу от с. Ст. Лопуховка, 23.06.1972, Legit Жигульская, Determ Семикина, Юдина, SARAT-V-SE-27600; **Балашовский район:** Лопатинские луга, 03.07.1918, Алюшин А. И., SARAT-V-SE-18004; пойма Хопра у г. Балашов, болото, 12.06.1931, Legit Куничкина, SARAT-V-SE-18014; окр. г. Балашов, пойма Хопра, Тросянские луга, болото, 12.06.1934, Legit Куничкина А., SARAT-V-SE-18021; Балашов, пойма р. Хопра, 06.07.1934, Legit Куничкин А., SARAT-V-SE-18018; окр. ст. Пады, 07.1975, Legit Тародей, SARAT-V-SE-18085; р. Хопер около базы «Автомобилист», 03.07.1984, SARAT-V-SE-27610; левый берег Хопра, в 2 км от деревни Алмазово, 07.1984, SARAT-V-SE-27609; **Кали-**

нинский район: с. Баланда (ныне г. Калининск), 10.06.1939, Legit Радышевская А., SARAT-V-SE-18030; **Ртищевский район:** 2 км сев.-вост. с. Макарово, 14.07.1971, SARAT-V-SE-18070, SARAT-V-SE-18071; **Турковский район:** окр. с. Турки, пойма Хопра, берег старицы, 13.06.1971, Determ Тарасов А. О., SARAT-V-SE-18083; с. Марьино, р. М. Карай, 13.07.1968, Legit Кутник, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27612; **С2: Саратов и его окр.:** Кировский район, Ботанический сад СГУ, 17.07.1933, Legit Куничкина, SARAT-V-SE-18024; Зеленый остров, на берегу оз. Карасева, на илов. почве, в acc. *Salix triandra* – *Carex gracilis*, 25.08.1935, Князевская, SARAT-V-SE-18022; Зеленый остров, прибрежная зона Щучьего озера, 05.09.1951, SARAT-V-SE-18042; Зеленый остров, у Щучьего озера, 09.09.1951, SARAT-V-SE-18054; Зеленый остров, 24.07.1975, SARAT-V-SE-18087; долина р. Волги, займище ок. г. Саратова, 08.1920, Чернов В., SARAT-V-SE-27629; **Аткарский район:** с. Озерное, болото у ж/д моста через реку Идолгу, Legit Невенчанная, Determ Вениг, SARAT-V-SE-18099; окр. с. Нестеровка (ныне с. Приречное) пересыхающее болото в притеррасной части поймы р. Медведицы, 26.06.1972, Legit Жидяева М. В., Determ Соколова С. Б., SARAT-V-SE-27599; окр. с. Мумовское, берег водоема в пойме р. Колышлей, 24.06.1977, Legit Жидяева М. В., Determ Соколова С. Б., SARAT-V-SE-27598; окр. с. Мумовка, заболоченный луг, в пойме р. Колышлей, 24.06.1980, Legit Жидяева М. В., Determ Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-27597; **Вольский район:** старица у с. Кряжим, 11.06.1966, Полянская, SARAT-V-SE-18069; **Красноармейский район:** берег болота около оврага «Нижняя Студенка», 20.07.2005, Пархоменко В. М., SARAT-V-SE-27603; **Лысогорский район:** пойменное озеро к востоку от с. Невежкино, Кулаков, SARAT-V-SE-18100; с. Лысые Горы, пересыхающее озеро близ сенопункта, 13.06.1949, Legit Щепотьев Н., SARAT-V-SE-18037; с. Лысые Горы, болото, 19.06.1956, Legit Ламкина Т., SARAT-V-SE-18052; с. Лысые Горы, болото, 05.06.1956, Legit Мордовина Н., SARAT-V-SE-18043; с. Н. Пески, р. Медведица, 14.07.1975, Legit Панина, Determ Протасова, SARAT-V-SE-18086; район с. Малый Карамыш, правый берег р. Медведицы, 27.06.1984, SARAT-V-SE-18095; с. Ш. Карамыш, р. Карамыш, в воде, вдоль берега реки, на мелководье, 06.07.2012, Legit Иванова Т., SARAT-V-SE-27602; **Новобу-**

расский район: пруд Шульга, 17.06.2007, Legit Трунова Т. А., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27604, SARAT-V-SE-27605; **Саратовский район:** о-в Новый Воронок к В от с. Усть-Курдюм, болотистый луг, 23.07.1981, Legit Александрова, Determ Смирнова; **Татищевский район:** окр. ст. Курдюм, луг, 15.06.1953, Legit Кузнецова, SARAT-V-SE-18048; ст. Курдюм, 03.07.1953, Legit Казеннова О., SARAT-V-SE-18046; ст. Курдюм, ручей, 03.07.1953, Legit Коноплева, SARAT-V-SE-18047; ст. Курдюм, правый берег, 26.06.1954, Legit Вдовенко, SARAT-V-SE-18050; окр. ст. Курдюм, в воде, 26.06.1954, Legit Китова, SARAT-V-SE-18049; ст. Курдюм, левобережная пойма р. Курдюм, 27.06.1957, Legit Конюхова, SARAT-V-SE-18045; окр. ст. Курдюм, левобережная пойма р. Курдюм, 27.06.1957, Legit Кузнецова Т., SARAT-V-SE-18044; ст. Курдюм, левый берег ручья, 23.06.1954; **С3: Воскресенский район:** с. Андреевка, пойма р. Терешки, 15.06.1954, Legit Косолапова, SARAT-V-SE-18051; **С4: Балаковский район:** водоем налево от дороги в гор. Николаевска, прибл. 1/2 в. от гор. Балаково, 27.07.1920, Legit Трауберг Ю., SARAT-V-SE-27621; окр. г. Вольск, лев. б. Иргиза, низкие сырьи места, 20.06.1936, Шарова В., SARAT-V-SE-18016; **Духовницкий район:** оз. Моховое, 08.06.1960, Крашенинникова Л., SARAT-V-SE-18059; с. Духовницкое, заболоченный водоем, 07.07.1964, SARAT-V-SE-18066; **Ивантеевский район:** с. Горский Гай, обрыв реки Иргиза, 17.07., SARAT-V-SE-18096; **С5: Александро-Гайский район:** 3 км севернее Александров Гай, пойма, 09.07.1974, Зверева Н.П., SARAT-V-SE-18075; лиман в р-не Алгая, 11.07.1975, Legit Бурова, SARAT-V-SE-18074; с. Варфоломеевка, лиман, 06.07.1977, SARAT-V-SE-18072; на влажном лугу в воде к ю.-в. от Алгая, 06.06.1988, SARAT-V-SE-18093; с. Варфоломеевка, лиман Крутенький, 30.06.1956, Legit Бирюкова, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27607; **Балаковский район:** Заволжье, р. Грязнуха, луг, 08.08.1967, Legit Краснова, SARAT-V-SE-18067; Заволжье, р. Грязнуха, луг, 08.08.1967, SARAT-V-SE-18068; **Дергачевский район:** р. Семениха, 14.07.1961, Determ Тарасов А. О., SARAT-V-SE-18057; окр. с. Новый Мир, пруд Шутковский, 23.07.1962, Гаврилина Н., SARAT-V-SE-18062; водохранилище р. Алтаты, берег влажный, место раньше было залито водой, 23.06.1979, Legit Рогожина, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27608; **Ершовский район:** 12 км сев.-зап.

с. Орлов Гай, 10.07.1967, Legit Кутник И. И., Determ Тарасов А. О., SARAT-V-SE-18060; 18 км сев.-зап. с. Орлов Гай, в балке на водоразделе, 11.07.1967, Тарасов А. О., SARAT-V-SE-18061; **Краснопартизанский район:** окр. с. Головинщено, болото, 19.07.1962, Гаврилина Н., SARAT-V-SE-18063; **Марковский район:** окр. с. При-волжское, берег р. М. Караман, 21.07.1982, Соколова, SARAT-V-SE-18094; окр. с. Павловка, заливной луг, 10.07.1986; **Новоузенский район:** на пути от Алгая до Петропавловки, около х. Труба, 10.06.1928, Determ Худяков И., SARAT-V-SE-18011; на пути от Александр-Гая к Петропавловке около х. Труба, в воде лимана (в краю), 10.06.1928, SARAT-V-SE-18005; центр. ч. лимана Храпун в воде, 22.05.1974, Соколова С. Б., SARAT-V-SE-18084; **Озинский район:** 3 км сев.-зап. пруда Корепанова, степь, 20.06.1961, Федорова Л., SARAT-V-SE-18064; 4 км сев.-вост. с. Маслов-Орешин, пастбище, 23.06.1961, Кувикова Ж., SARAT-V-SE-18058; **Питерский район:** пруд Петраковского, среди негустых зарослей *Phragmites*, 01.09.1925, SARAT-V-SE-18006; басс. р. Б. Узеня, р. Солянка, пруд Петраковского, среди *Phragmites*, 02.09.1925, Legit Земляниченко, SARAT-V-SE-18008; с. Питерка, в пруду, 19.06.1936, Legit Пригородская, SARAT-V-SE-18023; **Ровенский район:** сев. от с. Ровное, пойма «Ерик», 05.07., SARAT-V-SE-18098; с. Ровное, по берегам водоемов, 07.07.1975, Цыкун Т., SARAT-V-SE-18077; с. Ровное, пойма, 07.07.1975, Ремизова М., SARAT-V-SE-18076; с. Ровное, у протоки, 08.07.1975, Legit Новосельцева Т., Determ Гайнуллина З., SARAT-V-SE-18078, SARAT-V-SE-18079; **Федоровский район:** р. п. Мокроус, пруд Ивановский, 03.05.1976, SARAT-V-SE-18089; **Энгельсский район:** левая сторона реки Волги в 7-8 верстах от г. Покровск (ныне г. Энгельс), на ю.-з., открытые болота, почва илистая, 02.07.1925, Determ Лазнев В., SARAT-V-SE-18009; Красный Яр, пойма Волги, берег озера, центральная зона, 18.07.1939, Legit Федорова Л., SARAT-V-SE-18019; левый берег Волги, Тинь-зинь, по-емный лес, 21.06.1950, SARAT-V-SE-18055; окр. с. Шумейка, 27.07.1961, Плотникова И., SARAT-V-SE-18056; Сазанка, 17.07.1975, Горлопанова Н., SARAT-V-SE-18082; о. Сазанка, 17.07.1975, Гайнуллина З., SARAT-V-SE-18080; о. Сазанка, 17.07.1975, Скляров В., SARAT-V-SE-18081; **В2: Кумылженский район:** хут. Глазуновский, Роговская часть, правый берег р. Медведицы, на дне высохшего озера в мокрой сырой почве,



12.06.1938, Legit Широкова П., SARAT-V-SE-18035; **A4: Харабалинский район:** с. Удачное, Волго-Ахтубинская пойма, ильмень, 10.08., Клетухина, SARAT-V-SE-18101; с. Удачное, ильмень, высыхающий в пойме, 25.08.1935, Legit Клетухина, SARAT-V-SE-18032; с. Тамбовка, около ильменя, Волго-Ахтубинская пойма, 19.07.1935, Legit Ладушкина, SARAT-V-SE-18029; пойма, 08.1935, Legit Чулкова, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27630; Волго-Ахтубинская пойма, 27.06.1935, Хвалина Н., SARAT-V-SE-27624, SARAT-V-SE-27625; Волго-Ахтубинская пойма, 19.08., Legit Смотрина А., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-27623; Волго-Ахтубинская пойма, Хар с/с.?, сильно пониженное место, почва увлажненная, близ озера Рогатого, 10.07.1935, Legit Крымская А., SARAT-V-SE-27622; **K2: Целинный район:** Калм. жив. совхоз, лиман Бур-Нур, восточная окраина, 29.08.1932, Legit Тереножкин, SARAT-V-SE-18020; **K3: Малодербетовский район:** озеро Альматин, 19.06.1930, Legit Баринова, Determ Михайлова, SARAT-V-SE-18033, SARAT-V-SE-18034.

HYDROCHARITACEAE – ВОДОКРАСОВЫЕ

Najas marina L.

C5: Александрово-Гайский район: с. Варфоломеевка, в воде, в отроге Узеня, 20.07.1957, Манистина Н., SARAT-V-SE-3662; **Энгельсский район:** окр. Тянь-Дзинь, 1954, Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3679; **B2: Алексеевский район:** река Бузулук в 4-х верстах ниже станицы Алексеевская, близ мельницы, в воде, 09.07.1926, Legit Николюкин А., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3683; **B3: Ольховский район:** р. Иловля в р-не Гусевки, 18.08.1926, Янишевский Д.; **Городищенский район:** озера Рубежное и Гнилое, 07.09.1926, Фурсаев А. Д.; **B5: Светлоярский район:** озеро Цаца, открытое место среди зарослей *Turpha*, 04.08.1927, Фурсаев А. Д.; **K3: Малодербетовский район:** Сарпинские озера, Барманцак, 05.09.1929, SARAT-V-SE-3672.

Najas major All.

C1: Аркадакский район: Малиновка в р. Хопер, 17.07.1991, Legit Решетникова Т., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22822; **Балашовский район:** с. Пады, р. Хопер, 08.08.1991, Legit Костинова Е., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22821; **C5: Пугачевский район:** озеро Калач, в толще воды, обилие рассеяно, 05.08.2001, Legit Худякова Л., Determ Щербаков А. В., SARAT-

V-SE-22818; **Энгельсский район:** г. Энгельс в Волге, растение с плодами, 15.08.2007, Буланый Ю., Буланая М., SARAT-V-SE-22823; река Ставок. г. Покровск, 16.09.1922, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22813, SARAT-V-SE-22810, SARAT-V-SE-22811; **B6: Старополтавский район:** Валуйская оп. мелиоративная ст., старый хутор, в воде главного водохранилища, 15.07.1921, Legit Калинина Л., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22819; **A3: Красноярский район:** Пушкино, дельта Волги, 31.07.1920, Legit Чернов В., Determ Архипова Е. А., SARAT-V-SE-3658.

Najas minor All.

C1: Аткарский район: окр. г. Аткарск, 31.06.1918, Беляков Е., SARAT-V-SE-3655; окр. г. Аткарск, в р. Медведица, 31.06.1918, Legit Беляков Е. В., SARAT-V-SE-22831; **Балашовский район:** Балашов, пойма Хопра, 10.06.1934, Куничкина А., SARAT-V-SE-3644; **Ртищевский район:** окр. с. Макарово, озеро в лесу, по левому берегу Хопра, 06.08.1921, Монакова П. П., SARAT-V-SE-22830, **C2: Аткарский район:** в 1 км к сев.-зап. от д. Старая Ивановка, верховья р. Малый Колышлей, илистые отмели, 25.08.2010, Legit Киреев Е. А., Архипова Е. А., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22829; **Лысогорский район:** с. Б. Дмитриевка, в воде на дне р. Карамыша, 16.07.1939, Legit Селиванова, Determ Фурсаев А.Д., SARAT-V-SE-3654; **Саратовский район:** р. Латрык, ок. Поповки, 23.07.1923, Legit Чернов В., Determ Щербаков А., SARAT-V-SE-22846; р. Латрык ок. с. Поповка 23.07.1923, Чернов В., SARAT-V-SE-22838; р. Латрык, ок. Поповки, 14.07.1923, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22836; **C4: Балаковский район:** озеро Иловатое в окр. гор. Балаково, 05.07.1920, Legit Трауберг Ю., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22837; в стоячем неглубок. водоеме в окр. г. Балаково, 05.09.1919, Трауберг Ю., SARAT-V-SE-22832; **Пугачевский район:** реке Б. Иргиз близ берегов, окр. г. Николаевск (ныне г. Пугачев), 26.07.1915, Legit Беляков Е., Determ Янишевский Д., SARAT-V-SE-22839; **C5: Краснокутский район:** окр. с. Дьяковка, р. Еруслан, 03.08.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Щербаков А.В., SARAT-V-SE-10872; р. Еруслан в окр. с. Дьяковка, 19.07.2010, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22847; р. Еруслан в окр. с. Дьяковка, 30.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Щербаков А. В. SARAT-V-SE-22827;

Энгельсский район: пойменные озера в окр. г. Покровск (ныне г. Энгельс), 25.08.1922, Legit Чернов В., SARAT-V-SE-22842; окр. г. Покровск (ныне г. Энгельс), Сазанка, 27.08.1922, Legit Чернов В., SARAT-V-SE-22840; окр. Покровска (ныне г. Энгельс), пойма, озеро, 25.08.1922, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22835; **Энгельсский район:** окр. Покровска (ныне г. Энгельс), Сазанка, 27.08.1922, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22834; окр. Покровска (ныне г. Энгельс), пойма, проток между озером и Сазанкой, 25.08.1922, Legit Чернов В., Determ Щербаков А. В., SARAT-V-SE-22833; г. Энгельс в Волге, 15.08.2007, Буланый Ю., SARAT-V-SE-22826; **А3: Красноярский район:** Пушкино, дельта Волги, 31.08.1920, Чернов В., SARAT-V-SE-3650, SARAT-V-SE-3651, SARAT-V-SE-3652.

Elodea canadensis Michx.

C1: Турковский район: окр. с. Студенка, пруд, 01.06.2003, Legit Крамсакова Л., Determ Решетникова Т. Б., SARAT-V-SE-4409; **C2: Саратов и окр.:** Зеленый остров, в Бритвенном озере погружена в воду, на иловатой почве, в acc. *Potamogeton perfoliatum* + *Elodea canadensis*, 16.08.1935, Князевская, SARAT-V-SE-4378, SARAT-V-SE-4379; Зеленый остров близ г. Саратов, в 2 км от пристани, небольшое поемное озеро, 22.09.1951, Жилкина, SARAT-V-SE-4370; **Аткарский район:** р. Медведица (место впадения р. Идолга), 14.08.2015, Давиденко О. Н., SARAT-V-SE-1415; окр. с/х «Красноармеец», в прибрежной части зарастающего озера, 24.06.1964, Жидяева М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-4411; окр. с. Красноармеец, водоем в пойме р. Медведицы, 12.06.1970, Соколова С. Б., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-4412; окр. с. Нестеровка (ныне с. Приречное), прибрежная зона, зарастающая старица, 20.06.1980, Legit Жидяева М. В., Determ Жидяева М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-4413; **Красноармейский район:** п. Каменский, в речке, 12.06.1990, Решетникова Т. Б., SARAT-V-SE-4404; с. Мордово, залив Волги, в воде, 13.07.1992, Решетникова Т. Б., SARAT-V-SE-4407; с. Мордово, в Волге, 30.06.1990, Решетникова Т. Б., SARAT-V-SE-4410; **Лысогорский район:** окр. с. Малый Карамыш, 12.09.1984, Березуцкий М. А., SARAT-V-SE-4373; Лысые Горы, затон в р. Медведице, 21.07.1992, Купатадзе Г., Фатин С., SARAT-V-SE-4406; оз. 26 N 51.12'07" E 44.57'34", 2014, Шелест В. Д., SARAT-V-SE-24904; **C3: Вольский район:** Терса, Ваню-

шин пруд, в воде, 25.06.1992, Legit Решетникова Т. Б., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-4403; **Хвалынский район:** окр. г. Хвалынска, 1-ая плотина, пруд «Балалайка», 30.07.2005, Архипова Е. А., Серова Л. А., SARAT-V-SE-4384, SARAT-V-SE-4385; окр. г. Хвалынска, берег пруда «Балалайка», 10.07.2007, Варюшин, Агишев, SARAT-V-SE-4395; **C4: Балаковский район:** из ерика «Садок» около г. Балаково в пойме р. Волга, 20.08.1920, Legit Трауберг Ю., SARAT-V-SE-4392; из «Боброва» озера в пойме Волги в окр. г. Балаково, 26.07.1920, Legit Трауберг Ю., SARAT-V-SE-4397; «Боброво» озеро в окр. г. Балаково, 28.07.1920, Legit Трауберг Ю., SARAT-V-SE-4402; **C5: Краснопартизанский район:** р. М. Чалыкла в окр. с. Клинцовка, 28.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Давиденко О. Н., SARAT-V-SE-24907; Толстовское вдхрн., окр. с. Петровское, 08.07.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Давиденко О. Н., SARAT-V-SE-24906; **Марксовский район:** с. Цюрих, в одном из озер поймы р. Волга, 25.08.1927, Legit Гуммель Э., SARAT-V-SE-4394; **Перелюбский район:** р. Сухой Камелик в окр. с. Журавли, 28.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Давиденко О. Н., SARAT-V-SE-24908; водохранилище Бол. Михеиха, 27.06.2012, Legit Давиденко О. Н., Невский С. А., Determ Давиденко О. Н., SARAT-V-SE-24905; **Энгельсский район:** «Ударник», 14.06.1954, Legit Аксенова, SARAT-V-SE-4381; водоем, Лесной поселок, 09.06.1965, Legit 1 бр. I курс веч./отд., SARAT-V-SE-4383; о. Шумейка, в озере, 25.07.1967, Legit Худякова Л., Determ Тарасов А. О., SARAT-V-SE-4372; Шумейские о-ва, Legit Герасимов, Determ Маевский, SARAT-V-SE-4386; долина р. Волга, пойменные озера ок. с. Узморье, 09.08.1924, Legit Фофонов В. В., SARAT-V-SE-4387; озеро в пойме р. Волга около г. Покровска (ныне г. Энгельс), в воде бл. берега, 27.08.1922, Чернов В., SARAT-V-SE-4388; долина р. Волга, пойменные озера ок. с. Узморье, 23.08.1924, Чернов В., SARAT-V-SE-4390; окр. г. Покровска (ныне г. Энгельс), Сазанка, 27.08.1922, Чернов В., SARAT-V-SE-4393, SARAT-V-SE-4398, SARAT-V-SE-4399, SARAT-V-SE-4400, SARAT-V-SE-4401; г. Энгельс, Лесной поселок, озеро, 15.06.1989, Legit Решетникова Т. Б., Determ Буланый Ю. И., SARAT-V-SE-4405; г. Энгельс, Лесной поселок, пруд, 07.07.2000, Legit Егорова, Determ Поварова SARAT-V-SE-4408.



Vallisneria spiralis L.

C2: Саратов и окр.: Саратов, 1954, SARAT-V-SE-7532-7533; **C5: Энгельсский район:** о-в Шумейка, в озере близ берега, 23.07.1967, Legit Худякова Л., Determ Седова О. В., SARAT-V-SE-7519.

Stratiotes aloides L.

C1: Аркадакский район: Аркадак, Роговское лесн-во, 30 квартал (пойма Хопра), 02.10.1974, SARAT-V-SE-7548; **Аткарский район:** окр. с. Щербиновка, зарастающее озеро, 24.06.1975, Жидяева М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-7546; с. Белгаза, Кривое озеро, 06.06.1972, Legit Галкова, Determ Курносикова, SARAT-V-SE-27692; окр. с Белгаза, озеро Кривое, 06.06.1972, Протоклитова Т., SARAT-V-SE-27691; **Балашовский район:** Балашов, пойма Хопра, болото в Трост. лугу, 06.06.1934, Legit Куничкина А., SARAT-V-SE-7507; Тростянский луг, 01.07.1934, Legit Куничкина А., SARAT-V-SE-7499; пам. прир. «озеро Рассказань», окр. с. Рассказань, в воде, 07.06.2009, Legit Засолова Л., SARAT-V-SE-27689; **Лысогорский район:** с. Невежкино, старица, 09.07.1980, Legit Березуцкий М., SARAT-V-SE-7510; с. Невежкино, Домашкино озеро, 09.06.1927, Legit Шмакова М. И., SARAT-V-SE-7553; **Романовский район:** с. Большой Карай, оз. Скавское (обильно), 07.07.1992, Буланый Ю., SARAT-V-SE-7543; **Ртищевский район:** Потьма, старица р. Хопер, в массе, 13.07.1991, Legit Решетникова Т., Determ Еленевский А. Г., SARAT-V-SE-7538; Потьма, старица р. Хопер, 13.07.1991, Еленевский А. Г., Еленевская Л., Решетникова Т. Б., SARAT-V-SE-7539; **Турковский район:** окр. с. Турки, озеро в пойме р. Хопра, 24.06.1965, Жидяева М. В., SARAT-V-SE-7540; **C2: Аткарский район:** озеро в центральной части поймы р. Медведицы с-з с. Нестеровка (ныне с. Приречное), 20.06.1978, Жидяева М. В., SARAT-V-SE-7541; окр. с. Озерное, озеро в пойме р. Медведицы, 10.06.1980, Жидяева М. В., Черепанова Л. А., SARAT-V-SE-7545; окр. с. Нестеровка (ныне с. Приречное), зарастающее озеро в цент. части поймы р. Медведицы, 21.06.1978, Legit Жидяева М. В., Determ Соколова С. Б., SARAT-V-SE-7547; с. Озерное, ст. Дурасовка, пойма р. Медведицы, 21.07.1960, Legit Радаев, SARAT-V-SE-7550; с. Невежкино, Домашкино озеро, 18.06.1926, SARAT-V-SE-7506; с. Б. Копены, озеро, 12.06.1939, SARAT-V-SE-7509; с. Б. Дмитриевка, в стоячей воде, болото у леса, 17.07.1939, Determ Селиванова, SARAT-V-SE-7513; **Лысые**

Горы, озеро близ Ветпункта, 29.07.1949, Legit Щепотьев Н., SARAT-V-SE-7512; с. Лысые Горы, озеро, 04.07.1956, Legit Похмельных, Determ Наумова, SARAT-V-SE-7500; **B6: Николаевский район:** лим. Лебяжий, 07.08.1946, Legit Иванова Р., SARAT-V-SE-7511; лиман Лебяжий, 07.08.1946, SARAT-V-SE-7551.

Hydrocharis morsus-ranae L.

C1: Аткарский район: с. Старая Лопуховка, р. Медведица, 23.06.1972, Legit Духовнова, Лештаева, Determ Протоклитова; р. Медведица к ю-в от с. Старая Лопуховка, 09.06.1975, Legit Левичева Т., Андропова; **Балашовский район:** «Веденятин Затон» – озеро в лесу, 04.08.1921, Legit Монакова П., SARAT-V-SE-7478-7479; р. Хопер около базы отдыха МВД, 15.07.1984, SARAT-V-SE-7565; **Краснокутский район:** с. Дьяковка, внутри заболоченного осинового колка, 06.1940, Legit Солянов А., SARAT-V-SE-7559; **Пугачевский район:** пруд Калач, поверхность воды, обильно, 05.08.2001, Legit Мельникова А., Determ Садчикова Е., SARAT-V-SE-7561; **Ровенский район:** 3,8 км к ЮЗ от с. Ровное (от центра), в воде, 05.07.2013, Legit Архипова Е. А., Лаврентьев М. В., Степанов М. В., Determ Архипова Е. А.; **Самойловский район:** р. Терса, 27.07.1989, SARAT-V-SE-7555; р. п. Самойловка, р. Терса, 11.08.1988, Legit Черобай, SARAT-V-SE-7556; **C5: Энгельсский район:** о. Шумейка, в озере, 25.07.1967, Legit Худякова Л., Determ Тарасов А. О., SARAT-V-SE-7491; окр. г. Энгельс, пойменный лес, 06.07.1982, SARAT-V-SE-7557; окр. г. Энгельс, пос. Лесной, пойма р. Сазанки, 05.07.1978, SARAT-V-SE-7558; протока Волги, Шумейские о-ва, 07.1987, Legit Мироненко, SARAT-V-SE-7562.

Заключение

В гербарии СГУ (SARAT) зарегистрировано 23 вида Potamogetonaceae, к Hydrocharitaceae относится девять, к Alismataceae – шесть, Typhaceae – пять, Juncaginaceae – два, Ruppiaceae и Butomaceae – по одному из 60 видов, указанных в литературе для территории Нижнего Поволжья. Самым многочисленным является семейство Potamogetonaceae (736 листов), далее в порядке убывания следуют Alismataceae (352), Hydrocharitaceae (226), Typhaceae (148), Butomaceae (118), Juncaginaceae (77) и Ruppiaceae (6). В фонде на сегодняшний день имеется 1725 гербарных листов, относящихся к исследованным семействам, сборы которых проводились с 1902

по 2021 г. на территории Нижнего Поволжья. Наибольшее число экземпляров было загербализировано на территории Саратовской области (1236 листов), на втором месте стоит Астраханская область (242), на третьем – Волгоградская (163), на четвертом – Республика Калмыкия (22).

В результате сравнительного анализа распространения растений из семейств Typhaceae, Potamogetonaceae, Ruppiaceae, Juncaginaceae, Alismataceae, Butomaceae, Hydrocharitaceae на территории Нижнего Поволжья по материалам гербария Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского (SARAT) и данных сводки «Флора Нижнего Поволжья» для 37 видов расширено представление об их распространении на исследованной территории.

Список литературы

1. *Index Herbariorum Rossicum*. URL: <https://www.binran.ru/resources/current/herbaria/index.html> (дата обращения: 24.10.2018).
2. Болдырев В. А., Нющенко Е. А., Степанов М. В. Дополнение по сосудистым споровым и голосеменным растениям к сводке «Флора Нижнего Поволжья» (по материалам гербария СГУ (SARAT)) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 66–75. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-66-75>, EDN: SJCGE
3. Флора Нижнего Поволжья / отв. ред. А. К. Сквортцов. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. Т. 1. 435 с.
4. Флора СССР / гл. ред. В. Л. Комаров. Л. : Изд-во АН СССР, 1934. Т. 1. 302 с.
5. Флора европейской части СССР / отв. ред. Ан. А. Федоров. Л. : Наука. Ленингр. отд.-ние, 1979. Т. 4. 355 с.
6. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.
7. Атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран. Плантирум. URL: <https://www.planarium.ru> (дата обращения: 24.10.2018).
8. Plants of the World Online: 2025. URL: <https://pwo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30012042-2> (дата обращения: 21.07.2025).
9. РОСРЕЕСТР. URL: <https://rosreestr.ru> (дата обращения: 16.11.2014).
10. Большая Саратовская энциклопедия. URL: <http://saratovregion.ucoz.ru/index.htm> (дата обращения: 24.10.2018).
11. Geschichte der Wolgadeutschen. Available at: <http://wolgadeutsche.ru/> (дата обращения: 12.11.2014).
12. Google. URL: <https://www.google.ru/maps/> (дата обращения: 09.02.2015).

References

1. *Index Herbariorum Rossicum*. Available at: <https://www.binran.ru/resources/current/herbaria/index.html> (accessed October 24, 2018).
2. Arkhipova E. A., Boldyrev V. A. Nyushchenko E. A., Stepanov M. V. Addition to vascular spore-bearing and gymnospermous plants to the summary “Flora of the Lower Volga Region” (based on the materials of the Saratov State University Herbarium (SARAT)). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 66–75 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-66-75>, EDN: SJCGE
3. *Flora nizhnego povolzh'ya. T. 1. Otv. red. A. K. Skvortsov* [Skvortsov A. K., ed. Flora of the Lower Volga Region. Vol. 1]. Moscow, KMK Scientific Press, 2006. 435 p. (in Russian).
4. *Flora SSSR. T. 1. Gl. red. V. L. Komarov* [Komarov V. L., chief ed. Flora of the USSR. Vol. 1]. Leningrad, Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1934. 302 p. (in Russian).
5. *Flora evropeyskoy chasti SSSR. T. 4. Otv. red. An. A. Fedorov* [Fedorov An. A., ed. Flora of the European part of the USSR. Vol. 4]. Leningrad, Nauka, Leningr. otd-nie, 1979. 355 p. (in Russian).
6. Mayevsky P. F. *Flora sredney polosy yevropeyskoy chasti Rossii. 11-e izd.* [Flora of Central European Russia. 11th ed.]. Moscow, KMK Scientific Press, 2014. 635 p. (in Russian).
7. *Atlas opredelitel' rastenii i lishainikov Rossii i sopredel'nykh stran. Plantarium* (Plantarium – atlas of species and illustrated online identification of plants). Available at: <https://www.planarium.ru> (accessed October 24, 2024).
8. *Plants of the World Online: 2025*. Available at: <https://pwo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30012042-2> (accessed July 21, 2025).
9. *ROSREYESTR* (Russian State Register). Available at: <https://rosreestr.ru> (accessed November 16, 2014).
10. *Bol'shaya Saratovskaya entsiklopediya* (Great Saratov encyclopedia). Available at: <http://saratovregion.ucoz.ru/index.htm> (accessed October 24, 2018).
11. *Geschichte der Wolgadeutschen*. Available at: <http://wolgadeutsche.ru/> (accessed November 12, 2014).
12. Google. Available at: <https://www.google.ru/maps/> (accessed December 9, 2015).

Поступила в редакцию 28.07.2025; одобрена после рецензирования 07.09.2025; принята к публикации 09.09.2025
The article was submitted 28.07.2025; approved after reviewing 07.09.2025; accepted for publication 09.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 437–446

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 437–446

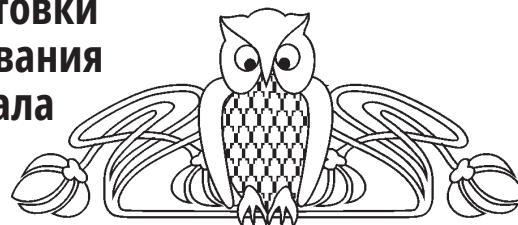
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-437-446>, EDN: VXQVZG

Научная статья

УДК 576.08

Оптимизация методики пробоподготовки и выявление возможности использования разных типов растительного материала двух видов *Colchicum* (Colchicaceae) в проточной цитометрии



А. С. Пархоменко¹✉, К. С. Павленко¹, В. С. Епифанов¹, С. Ф. Ефименко¹,
Л. В. Гребенюк¹, М. В. Скапцов²

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

²Алтайский государственный университет, Россия, 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61

Пархоменко Алёна Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики, parkhomenko_as@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>

Павленко Кристина Сергеевна, магистр кафедры генетики, kris.pavlenko0412@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8728-8277>

Епифанов Владимир Сергеевич, аспирант кафедры генетики, epifanov.v2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5229-8151>

Ефименко Савелий Федорович, магистр кафедры генетики, savchik.efimenko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-7828-9499>

Гребенюк Людмила Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий биолог отдела биологии и экологии растений УНЦ «Ботанический сад», grebenuk2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-8861>

Скапцов Михаил Викторович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник УПБП «Южно-Сибирский ботанический сад», mr.skaptsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4884-0768>

Аннотация. В статье представлены результаты апробирования и оптимизации методики пробоподготовки образцов для анализа на проточном цитометре двух, ранее не изученных в данном аспекте, видов – *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* и *C. laetum*. Показано, что в качестве буфера для выделения интактных ядер из исходного растительного материала оптимальен буфер LB01 с добавлением тиосульфата натрия, а в качестве внутренних стандартов – *Petroselinum crispum* и *Secale cereale*. Впервые установлено содержание ДНК в живых образцах *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* ($2C=8.049$ пг) и *C. laetum* ($2C=5.412$ пг) из естественных местообитаний на территории РФ. Показано, что в качестве материала для исследования размера генома методом проточной цитометрии двух видов рода *Colchicum* можно использовать и семена при условии учёта их особенности – количество событий, соответствующих зародышу гораздо меньше, чем клеток эндосперма. Гербарные образцы *Colchicum* мало пригодны в качестве материала для анализа содержания ДНК, так как данный параметр сильно завышен в сравнении с живым материалом. Полученные данные дополняют и расширяют представления о содержании уровня ДНК у представителей рода *Colchicum*.

Ключевые слова: *Colchicum*, проточная цитометрия, семена, гербарный материал, проростки, содержание ДНК

Для цитирования: Пархоменко А. С., Павленко К. С., Епифанов В. С., Ефименко С. Ф., Гребенюк Л. В., Скапцов М. В. Оптимизация методики пробоподготовки и выявление возможности использования разных типов растительного материала двух видов *Colchicum* (Colchicaceae) в проточной цитометрии // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 437–446. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-437-446>, EDN: VXQVZG

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

Article

Optimization of sample preparation technique and the possibility of using different types of plant material of two species of the genus *Colchicum* (Colchicaceae) in flow cytometry

A. S. Parkhomenko¹, K. S. Pavlenko¹✉, V. S. Epifanov¹, S. F. Efimenko¹, L. V. Grebenyuk¹, M. V. Skaptsov²

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

²Altai State University, South-Siberian Botanical Garden, 61 Lenina Pr., Barnaul 656049, Russia

Alena S. Parkhomenko, parkhomenko_as@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>

Kristina S. Pavlenko, kris.pavlenko0412@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8728-8277>

Vladimir S. Epifanov, epifanov.v2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5229-8151>

Savely F. Efimenko, savchik.efimenko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-7828-9499>

Lyudmila V. Grebenyuk, grebenuk2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0812-8861>

Mikhail V. Skaptsov, mr.skaptsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4884-0768>

Abstract. The article presents the results of testing and optimization of the sample preparation technique for flow cytometric analysis of two species that have not been previously studied in this aspect: *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* and *C. laetum*. We are using optimal LB01 buffer with added sodium thiosulfate, as internal standards we take *Petroselinum crispum* and *Secale cereale*. For the first time, the DNA content in living samples of *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* ($2C = 8.049$ pg) and *C. laetum* ($2C = 5.412$ pg) from natural habitats in the territory of the Russian Federation was determined. We have proven that not only living material (sprouts), but also seeds can be used as material for studying the genome size by flow cytometry of two species of the genus *Colchicum*. The main thing is to take into account their feature – the number of events corresponding to the embryo is much less than the number of endosperm cells. We do not recommend using herbarium samples of *Colchicum* as material for DNA content analysis, as their values were much overestimated in comparison with sprouts. The data we obtained complement and expand our understanding of the DNA level within the genus *Colchicum*.

Keywords: *Colchicum*, plant flow cytometry, seeds, herbarium, seedlings, DNA content

For citation: Parkhomenko A. S., Pavlenko K. S., Epifanov V. S., Efimenko S. F., Grebenyuk L. V., Skaptsov M. V. Optimization of sample preparation technique and the possibility of using different types of plant material of two species of the genus *Colchicum* (Colchicaceae) in flow cytometry. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 437–446 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-437-446>, EDN: VXQVZG

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

Введение

Род *Colchicum* sensu lato включает около 160 видов, а sensu stricto около 80 [1]. Такое неоднозначное представление об объёме рода указывает на большое число нерешённых вопросов в отношении его таксономической структуры. Например, комплекс близких родов *Colchicum*, *Merendera*, *Bulbocodium*, *Androcymbium* некоторыми авторами объединяются в один род *Colchicum* s.l. [1]. Основанием для подобного понимания объёма рода служат результаты молекулярно-генетических исследований последнего времени [2].

Числа хромосом у видов *Colchicum* варьируют в диапазоне 14–216, причём кариотипическая изменчивость наблюдается зачастую даже на внутривидовом уровне [3]. Знание уровня полидности и количественная оценка внутривидового цитотипического разнообразия необходимы для лучшего понимания систематики и эволюции растений. По K. Persson (2007) [4] эволюция кариотипа рода происходила на основе чисел $x = 7$ и $x = 9$, остальные варианты основных чисел произошли за счет перестроек, анеуплоидного сброса, полипloidии и гибридизации [5].

Несмотря на важность знаний о числах хромосом у видов этого рода, их подсчет остается чрезвычайно сложным, что связано, в первую очередь, с невысокой семенной продуктив-

ностью, крайне низкой всхожестью семян, а также охранным статусом видов *Colchicum* на территории России [6]. Все это не позволяет в достаточном количестве получить качественный исходный материал для кариологических исследований.

Облегчить установление полидности позволяет проточная цитометрия, которая является точным методом определения содержания ДНК в образце. У 13 видов рода *Colchicum* определены значения $2C$ [7–10]. Однако виды, произрастающие на территории России, ранее в этом отношении не исследовались. Поэтому исследование отечественных образцов было бы хорошим дополнением общей картины размера генома в целом для рода *Colchicum*.

В проточной цитометрии обычно в качестве материала для исследования используют свежую листовую пластинку [7–10]. К сожалению, не всегда удается сохранить собранный материал из природных популяций в состоянии, пригодном для дальнейшего анализа, так как популяции рода *Colchicum* на территории России географически достаточно далеко удалены друг от друга. Сложность также заключается в произрастании растений данного рода на участках, удаленных от асфальтовых дорог, а период активного прироста вегетативной массы совпадает со временем весенней распутицы, поэтому было необходимо рассмотреть возможность проведения цитометрического анализа



на разных типах растительного материала образцов рода *Colchicum* (проростках, семенах, гербарии), а также оптимизировать методику пробоподготовки.

Материалы и методы

Исследование проводилось на двух видах рода *Colchicum* – *C. laetum* (окр. х. Белоглинский Калачёвского р-на Волгоградской обл. и окр. с. Кетченеры Кетченеровского р-на Р. Калмыкия) и *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* (окр. п. Лиманский Ровенского р-на Саратовской обл. и окр. ст. Нехаевской Нехаевского р-на Волгоградской обл.). Материал для исследования собирали из естественных местообитаний в полевой сезон 2024 г.

Семена *Colchicum* характеризуются глубоким физиологическим покоем, обусловленным действием механизма торможения прорастания [11]. Зародыши в таких семенах весьма ограниченно способны к росту. После освобождения от покровов они или не растут совсем, или трогаются в рост медленно, и в большинстве случаев их рост носит ненормальный характер: иногда растет гипокотиль и на нем возникают опухолевидные образования, но корень большей частью не способен к росту. Поэтому после длительной стратификации, промывки и прорашивания семян в анализ мы использовали весь проросток (если его удалось получить), а также набухшие семена (заложенные на проращивание, напитавшиеся водой, но еще не проросшие). Также в анализе участвовали сухие семена (не подвергавшиеся никакому воздействию) и гербариизированные листовые пластиинки. Для минимального травмирования взрослого растения в популяции с одного экземпляра отбирали только одну листовую пластиинку.

Содержание ДНК определяли с помощью проточной цитометрии путем окрашивания ядер йодидом пропидия. Данные о флуоресценции изолированных ядер регистрировали с помощью проточного цитометра Cytoflex (Beckman Coulter, Inc.) с источником лазерного излучения 488 нм и фильтром 610 нм. Визуализацию и обработку гистограмм выполняли в программном обеспечении CytExpert (Beckman Coulter, Inc.). Измерения проводили в трех повторностях. Для расчета были использованы пики с числом ядер не менее 1000 и CV не более 5% [12]. Содержание ДНК исследованных образцов (2С, пг) рассчитывали по формуле: 2С, пг = (среднее значение пика образца / сред-

нее значение пика стандарта) × 2С стандарта, пг. Статистические данные рассчитывали в программе XLStat (Ad-dinsoft).

Исследование было проведено на базе Южно-Сибирского ботанического сада АлтГУ (г. Барнаул).

Результаты и их обсуждение

Ранее для выделения ядер при исследованиях размера генома рода *Colchicum* использовался буфер Гэлбрейта в двух модификациях: в первом варианте – со снижением концентрации Triton X-100 до 0.5% [10]; во втором – с добавлением 1% PVP [10]. Образцы *Colchicum* богаты фенольными соединениями, такими как антоциановые соединения, катехины, флавоны, фенолкарбоновые кислоты и дубильные вещества [13]. Учитывая это, требуется подбор наиболее оптимального буфера для обеспечения качества гистограмм (снижение уровня шумов и коэффициента вариации пиков, повышение количества выделяемых ядер) при анализе содержания ДНК.

С учетом литературных данных и наших экспериментальных сравнений был использован буфер LB01 [14] следующего состава: 15 mM Tris-HCl, 2 mM Trilon B ($\text{Na}_2\text{EDTA} \times 2\text{H}_2\text{O}$), 0,5 mM спермина тетрагидрохлорид, 80 mM KCl, 20 mM NaCl, 0,1% Triton X-100 с добавлением 50 мкг/мл йодида пропидия, 50 мкг/мл РНКазы, 12 mM тиосульфата натрия [12]. Данный буфер содержит соли и буферный агент для поддержания pH и осмотического давления, ингибиторы ДНКаз, детергент для лизиса эндоплазматической мембранны. Дополнительные компоненты включают РНКазу для расщепления РНК, собственно интеркалирующий краситель и восстановитель для ингибиования полифенолов (образует водородные связи с полифенолами), что снижает количество шумов и повышает общее качество гистограмм.

Большинство ядер, выделенных из образцов *Colchicum laetum* и *C. bulbocodium* subsp. *Versicolor*, находились на стадии G_0/G_1 клеточного цикла. Ядра на стадии G_2 либо не были обнаружены, либо присутствовали с низкой частотой. Пики флуоресценции имели четкие, узкие основания, небольшие коэффициенты вариаций (CV), достаточное количество событий (более 1000 на каждый пик) и были пространственно разнесены на гистограмме, что свидетельствует о корректном выборе методики выделения и окрашивания.



Согласно литературным данным, количество ДНК в пределах рода *Colchicum* сильно варьирует [10]. Например, *C. autumnale* L. 2C = 5.89 пг, *C. alpinum* Dammann ex. Springer 2C = 8.06 пг, *C. lusitanum* Brot. 2C=10.7 пг, *C. multiflorum* Brot. 2C=16.5 пг, *C. corsicum* B. 2C = 21.3 пг [10]. Опираясь на эти данные и предварительные измерения по подбору стандарта, в качестве внутреннего стандарта нами

были выбраны *Petroselinum crispum* (2C = 4.5 пг) [15] и *Secale cereale* (2C = 16.19 пг) [16].

Содержание ДНК у *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* при использовании проростков в качестве исходного материала составило 8.049 пг (рис. 1, а, таблица). Проросток использовался весь целиком (с колеоптилем и гипокотилем, что позволяет накопить больше событий).

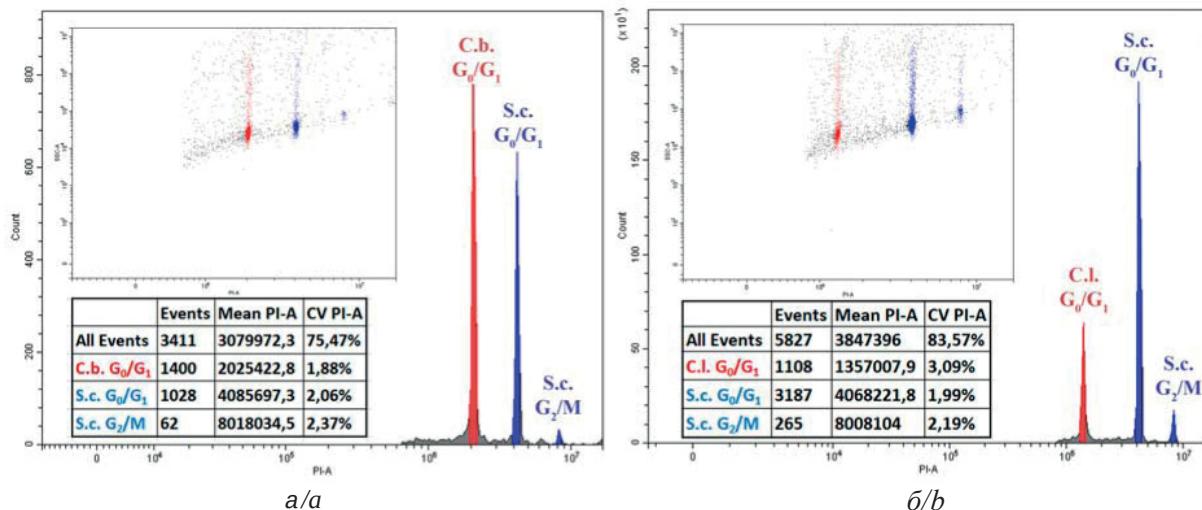


Рис. 1. Примеры гистограмм проростков *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (а) и *C. leatum* (б) совместно с *Secale cereale* в качестве внутреннего стандарта. Здесь и далее красным цветом обозначены пики, соответствующие образцам; синим – пики стандарта. G₀/G₁ и G₂/M – стадии клеточного цикла. По оси абсцисс – интенсивность флуоресценции (PI-A), по оси ординат – количество событий (Count) (цвет онлайн)

Fig. 1. Examples of histograms of live specimens of *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* (a) and *Colchicum leatum* (b) together with *Secale cereale* as an internal standard. Here and further, the peaks, corresponding to the samples, are indicated in red; the peaks of the standard are indicated in blue (colour online)

По литературным данным *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* является диплоидом с основным числом хромосом $x = 11$, $2n = 2x = 22$ [5]. Прямой подсчет хромосом на исследованных образцах нами не проводился. Однако, основываясь на данных других исследователей по количеству хромосом и на полученных нами результатах по размеру генома, можно примерно рассчитать содержание ДНК в одной хромосоме *C. bulbocodium* subsp. *versicolor*, которое составляет 0.366 пг.

Среднее содержание ДНК в проростках *C. leatum* составило 5.412 пг (см. рис. 1, б, таблица). Известно, что у данного вида основное число хромосом равно $x = 7$, а растения являются гексаплоидами ($2n = 6x = 42$) [5]. Следовательно, содержание ДНК в одной хромосоме у него равно 0.129 пг.

Содержание ДНК в проростках *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* в 1.5 раза больше, чем в

образцах *C. leatum*. Размер моноплоидного (1Cx) генома *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* в 4.5 раза больше *C. leatum* (см. таблицу). Ранее уже отмечался крупный размер хромосом *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* в сравнении с другими видами этого рода [17]. Данные по отношению 2C к размеру хромосом можно использовать для скрининга полидности популяций этих видов методом проточной цитометрии. Однако, для более точного анализа взаимосвязи рассчитанного содержания ДНК к полидности необходим прямой подсчет хромосом.

Использование семян для исследования содержания ДНК видов рода *Colchicum* является перспективным направлением. Однако наши экспериментальные данные показывают, что у семян с развитым эндоспермом пик зародыша может быть не виден на гистограмме или уступать по высоте пику эндосперма (рис. 2). Подобная картина разности высоты

Содержание ДНК в образцах *Colchicum bulbocodium* subs. *versicolor* и *C. laetum*
Table. DNA content in *Colchicum bulbocodium* subs. *versicolor* and *C. laetum* samples

Вид материала / Type of material	2C, пг / 2C, pg	SD, пг / SD, pg	CV, %	1Cx, пг / 1Cx, pg	Уровень плоидности* / Ploidy level*
<i>Colchicum bulbocodium</i> subs. <i>versicolor</i>					
Проросток / The sprout	8.049	—	1.920	4.025	2
Набухшие семена** / Swollen seeds **	Эмбрион / Embryo	8.054	0.116	1.440	4.027
	Эндосперм / Endosperm	11.738	0.155	1.320	3.913
Гербарий / Herbarium	11.329	—	5.610	5.665	2
<i>Colchicum laetum</i>					
Проросток / The sprout	5.412	—	2.660	0.902	6
Набухшие семена ** / Swollen seeds **	Эмбрион / Embryo	5.457	0.021	0.380	0.910
	Эндосперм / Endosperm	8.086	0.095	1.170	0.898
Сухие семена / Dry seeds	Эмбрион / Embryo	5.578	—	2.990	0.930
	Эндосперм / Endosperm	9.124	0.102	1.120	1.014
Гербарий / Herbarium	6.586	—	6.650	1.098	6

Примечание. 2C – содержание ядерной ДНК; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; 1Cx – размер голоплоидного генома; * – при основном числе хромосом $x = 11$ [5]; ** – семена, заложенные на прорастивание, набухшие, но ещё не проросшие. Прочерк означает отсутствие данных.

Note. 2C – the content of nuclear DNA; SD – the standard deviation; CV – the coefficient of variation; 1Cx – the size of the holoploid genome; * – when the main number of chromosomes is $x = 11$ [5]; ** – seeds laid for germination, swollen, but not sprouted. A dash indicates that there is no data.

пиков характерна для зонтичных, у которых также количество ядер эндосперма преобладает над количеством ядер зародыша [12]. Чтобы не допустить неоднозначную интерпретацию результатов, каждое семя исследовалось по отдельности, а чтобы исключить возможность

ошибки, положение пика зародыша валидировали путем сравнения с проростками и исследованием эндосперма без зародыша. Наличие ядер зародыша верифицировали на двухпараметровых гистограммах флуоресценции к боковому рассеиванию (см. рис. 2).

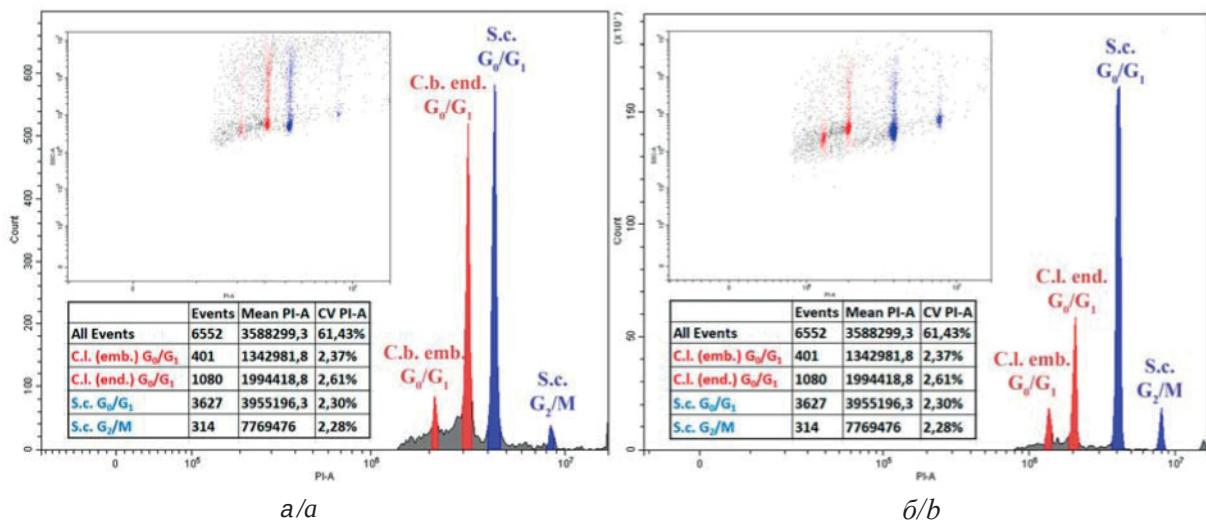


Рис. 2. Примеры гистограмм семян *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (а) и *C. leatum* (б) совместно с *Secale cereale* в качестве внутреннего стандарта. Emb. – зародыш; end. – эндосперм (цвет онлайн)

Fig. 2. Examples of histograms of seeds of *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (a) and *C. leatum* (b) together with *Secale cereale* as an internal standard. Emb. – embryo; end. – endosperm (colour online)

Значения содержания ДНК, соответствующие зародышам (и в сухих, и в набухших семенах), были фактически идентичны значениям, полученным на проростках (см. таблицу), а незначительные отличия укладывались в ошибку среднего и могли быть связаны с внутривидовой изменчивостью образцов. В сухих семенах *C. laetum* размер генома эндосперма был на 11% больше, чем в набухших. Подобное различие может быть связано с тем, что эндосперм является источником запасающих веществ и РНК для развивающегося зародыши, и в процессе онтогенеза в его клетках происходят изменения, затрагивающие ДНК [18]. Также нельзя исключать различия в структуре хроматина и белок-нуклеиновых комплексов. Поэтому важно ещё раз подчеркнуть необходимость использования живой листовой пластиинки или проростка при первичном анализе.

Основываясь на полученных значениях размера генома для зародыши и эндосперма и опираясь на представленную в литературе пloidность обоих видов, мы установили предположительную пloidность эндосперма (см. таблицу). В семенах *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* при диплоидном зародыше эндосперм был триплоидным, а в семенах *C. laetum* при гексаплоидном зародыше содержание ДНК в эндосперме соответствовало нонаплоиду (см. таблицу). Соотношение содержания ДНК зародыши к эндосперму обоих видов рода *Colchicum* составляло 1.5 (2C/3C), что характерно для видов со стандартным половым размножением [19].

В целом для исследования содержания ДНК методом проточной цитометрии двух описанных видов рода *Colchicum* их семена могут быть использованы в качестве анализируемого материала.

Несмотря на то, что в проточной цитометрии обычно применяется свежая ткань, все больше исследований показывают, что для получения данных о пloidности можно использовать высушенные образцы [15, 20, 21]. Однако в своей работе J. Viruel с соавторами (2019), на примере нескольких видов рода *Dioscorea* [22], показали, что хотя с помощью проточной цитометрии можно оценить уровень пloidности гербарных образцов, собранных до пятнадцати лет назад, вероятность успеха невелика (5.9%). Процент успеха может зна-

чительно различаться в зависимости от вида [21]. Так, у представителей рода *Selaginella* успешно анализировали как пloidность, так и содержание ДНК с использованием образцов возрастом более 50 лет [23]. В случае использования высушенных образцов стоит провести предварительные исследования по влиянию высушивания на изменения в содержании ДНК. В целом содержание ДНК высушенных образцов выше, чем в живом материале, и снижается при хранении [12, 24, 25].

В нашем исследовании для некоторых гербарных образцов *Colchicum* потребовалось проанализировать в четыре раза больше растительного материала (т. е. примерно 3 см² ткани листовой пластиинки) по сравнению с проростками, чтобы получить достаточное количество ядер для анализа. Из 60 гербарных образцов *Colchicum* на 20 визуализировались только пики внутреннего стандарта и не визуализировались пики самих образцов. На остальных – гистограммы имели довольно высокий уровень шума (рис. 3). Скорее всего, это связано с начавшимися процессами разрушения ядер и хроматина при хранении материала. В своей работе P. Tomaszewska с соавторами (2021) на примере нескольких видов рода *Urochloa* отмечают негативное влияние вторичных метаболитов, усложняющих проведение цитометрического анализа гербарных образцов и приводящих к неточному измерению содержания ДНК. Гербарные образцы на гистограммах имели довольно высокий уровень шума и давали высокие значения CV (до 10%) [26].

Содержание ДНК в гербарных образцах *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* в сравнении с живым материалом было завышено и составляло 11.329 пг, что по значению даже ближе к триплоидному эндосперму, чем диплоидному зародыши (см. таблицу). В гербарных образцах *C. laetum* содержание ДНК тоже было завышенным в сравнении с проростком, но меньше, чем в случае с предыдущим описанным видом, и составляло 6.586 пг (см. таблицу).

Суммарно *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* показал отклонение в размере генома гербария от живого материала больше на 29%, а *C. laetum* – на 18%. Если в исследуемых образах много гетерохроматина, то при сушке белки-гистоны будут разрушаться. Во время проведения

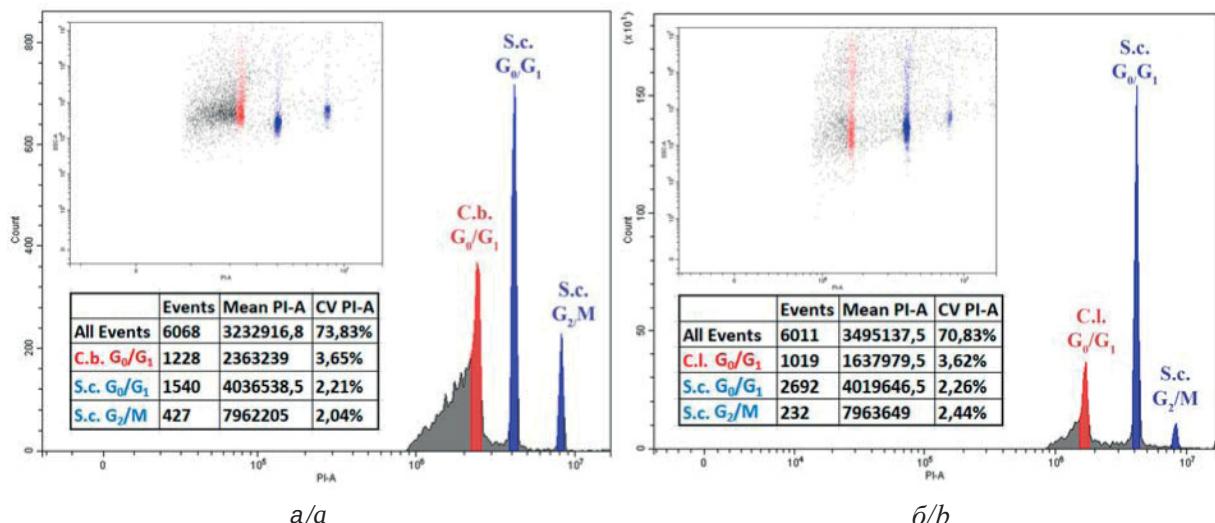


Рис. 3. Примеры гистограмм гербарных образцов *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (а) и *C. leatum* (б) совместно с *Secale cereale* в качестве внутреннего стандарта (цвет онлайн)

Fig. 3. Examples of histograms of herbarium specimens of *Colchicum bulbocodium* subsp. *versicolor* (a) and *C. leatum* (b) together with *Secale cereale* as an internal standard (colour online)

процедуры выделения и окраски интактных ядер место белков занимает флуоресцентный краситель (в данном случае пропидий йодид). В таком случае общая флуоресценция увеличивается, и после расчетов получается завышенный результат [27, 28]. Используемые нами гербарные образцы хранились в течение двух-трех лет. Завышенные значения содержания ДНК, возможно, связаны и с различием в пloidности, однако из-за высоких отклонений 2С высушенных образцов доказать или опровергнуть это предположение может только прямой подсчет хромосом.

Исходя из полученных результатов, использовать гербарный материал *Colchicum* можно только для скрининга ориентировочной пloidности.

Заключение

В результате апробирования и оптимизации методики пробоподготовки образцов *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* и *C. leatum* в качестве буфера, позволяющего выделить достаточное количество неповрежденных ядер из исходного растительного материала, оптимальен буфер LB01 с добавлением тиосульфата натрия, а в качестве внутреннего стандарта – *P. crispum* и *S. cereale*.

Методом проточной цитометрии впервые установлено содержание ДНК *C. bulbocodium*

subsp. *versicolor* и *C. laetum* из естественных местообитаний на территории РФ. Содержание ДНК *C. bulbocodium* subsp. *versicolor* в 1,5 раза больше *C. laetum*.

Показано, что в качестве материала для исследования размера генома методом проточной цитометрии двух видов рода *Colchicum* можно использовать и семена при условии учёта их особенности – количество событий, соответствующих зародышу гораздо меньше, чем клеток эндосперма.

Гербарные образцы *Colchicum* мало пригодны в качестве материала для анализа содержания ДНК, так как данный параметр сильно завышен в сравнении с живым материалом.

Полученные нами данные дополняют и расширяют представления о содержании уровня ДНК у представителей рода *Colchicum*.

Список литературы

1. Оганезова Г. Г. Проблемы рода *Colchicum* L. *Colchicum* sensu lato или *Colchicum* sensu stricto в свете категорий прерывности и непрерывности. Ереван : НАН РА, Институт ботаники им. А. Тахтаджяна, 2019. 176 с.
2. Vinnersten A., Manning J. A new classification of Colchicaceae // Taxon. 2007. Vol. 56, № 1. P. 171–178.
3. Агапова Н. Д. Числа хромосом цветковых растений флоры СССР: Семейства Asteraceae – Меняущиеся / под ред. А. Л. Тахтаджяна. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 509 с.



4. Persson K. Nomenclature synopsis of the genus *Colchicum* (Colchicaceae) with some new species and combinations // Bot. Jahrb. Syst. 2007. Vol. 127, № 2. P. 166–242.
5. Оганезова Г. Г. Особенности географии и направлений эволюции гистерантных и синантных видов рода *Colchicum* s. str. (Colchicaceae) // Takhtajania. 2011. № 1. С. 87–97.
6. Kashin A. S., Parkhomenko A. S., Kulikova L. V., Petrova N. A., Shilova I. V., Lavrentiev M. V., Shushunov V. A. Potential Range of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng (Colchicaceae, Liliopsida) in Russia // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2020. № 2. P. 241–247. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-241-247>
7. Veselý P., Bureš P., Šmarda P., Pavlicek T. Genome size and DNA base composition of geophytes: The mirror of phenology and ecology? // Annals of Botany. 2012. Vol. 109, № 1. P. 65–75. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr267>
8. Šmarda P., Bureš P., Horová L., Leitch I. J., Mucina L., Pacini E., Tichý L., Grulich V., Rotreklová O. Ecological and evolutionary significance of genomic GC content diversity in monocots // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. Vol. 111, № 39. P. 4096–4102. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321152111>
9. Bou Dagher-Kharrat M., Abdel-Samad N., Douaihy B., Bourge M., Fridlender A., Siljak-Yakovlev S., Brown S. C. Nuclear DNA C-values for biodiversity screening: Case of the Lebanese flora // Plant Biosystems. 2013. Vol. 147, № 4. P. 1228–1237. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.861530>
10. Fridlender A., Brown S., Verlaque R., Crosnier M. T., Pech N. Cytometric determination of genome size in *Colchicum* species (Liliales, Colchicaceae) of the western Mediterranean area // Plant Cell Reports. 2002. Vol. 21, № 4. P. 347–352. <https://doi.org/10.1007/s00299-002-0522-4>
11. Николаева М. Г., Разумова М. В., Гладкова В. Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 506 с.
12. Skaptsov M. V., Kutsev M. G., Smirnov S. V., Vaganov A. V., Uvarova O. V., Shmakov A. I. Standards in plant flow cytometry: An overview, polymorphism and linearity issues // Turczaninowia. 2024. Vol. 27, № 2. P. 86–104. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.27.2.10>
13. Грибок Н. А., Власова Т. М., Мамюшина М. В., Курченко В. П. Содержание вторичных метаболитов у представителей рода *Colchicum* L., интродуцированных в условиях Беларуси // Тр. Белорус. гос. ун-та. Сер.: Физиол., биохим. и молекуляр. основы функционирования биосистем. 2010. Т. 4, ч. 2 : Инновац. биотехнологии XXI в. С. 129–137.
14. Doležel J., Sgorbati S., Lacretti S. Comparison of three DNA fluorochromes for flow cytometric estimation of nuclear DNA content in plants // Physiol. Plant. 1992. № 85. P. 625–631.
15. Obermayer R., Leitch I. J., Hanson L., Bennett M. D. Nuclear DNA C-values in 30 species double the familial representation in pteridophytes // Ann. Bot. 2002. Vol. 90, № 2. P. 209–217. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf167>
16. Doležel J., Greilhuber J., Lacretti S., Meister A., Lysák M., Nardi L. Plant genome size estimation by flow cytometry: Inter-laboratory comparison // Ann. Bot. 1998. Vol. 82. P. 17–26. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0730>
17. Levan A. *Bulbocodium* to the c-mitotic action of colchicine // Cyto-genetic laboratory of the Swedish seed association. 1947. Vol. 33, № 4. P. 552–566. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1947.tb02821.x>
18. Кунах В. А. Пластичность генома соматических клеток и адаптивность растений // Молекулярная и прикладная генетика. 2011. № 12. С. 7–12.
19. Matzka F., Meister A., Schubert I. An efficient screen for reproductive pathways using mature seeds of monocots and dicots // Plant J. 2000. Vol. 21, № 1. P. 97–108. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2000.00647.x>
20. Servick S., Visger C. J., Gitzendanner M. A., Soltis P. S., Soltis D. E. Population genetic, geographic structure, and multiple origins of autoploidy in *Galax Urceolata* // Am. J. Bot. 2015. № 102. P. 973–982. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400554>
21. Suda J., Trávníček P. Reliable DNA ploidy determination in dehydrated tissues of vascular plants by DAPI flow cytometry: new prospects for plant research // Cytometry A. 2006. Vol. 4. P. 273–80. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.20253>
22. Viruel J., Conejero M., Hidalgo O., Pokorný L., Powell R. F., Forest F., Kantar M. B., Soto Gomez M., Graham S. W., Gravendeel B., Wilkin P., Leitch I. J. A Target Capture-Based Method to Estimate Ploidy From Herbarium Specimens // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. URL: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.00937/full?field=&id=467104&journalName=Frontiers_in_Plant_Science (дата обращения: 15.05.2025).
23. Skaptsov M. V., Vaganov A. V., Kechaykin A. A., Kutsev M. G., Smirnov S. V., Dorofeev V. I., Borodina-Grabovskaya A. E., Seregin A. P., Sinitina T. A., Friesen N., Zhang X., Shmakov A. I. The cytotypes variability of the complex *Selaginella sanguinolenta* s. l // Turczaninowia. 2020. № 23. P. 5–14. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.23.2.1>
24. Bainard J. D., Husband B. C., Baldwin S. J., Fazekas A. J., Gregory T. R., Newmaster S. G., Kron P. The effects of rapid desiccation on estimates of plant genome size // Chromosome Res. 2011. № 19. P. 825–842. <https://doi.org/10.1007/s10577-011-9232-5>
25. Wang G., Yang Y. The effects of fresh and rapid desiccated tissue on estimates of Ophiopogoneae genome size // Plant Divers. 2016. № 38. P. 190–193. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2016.08.001>

26. Tomaszewska P., Pellny T. K., Hernández L. M., Mitchell R. A. C., Castiblanco V., de Vega J. J., Schwarzacher T., Heslop-Harrison P. Flow Cytometry-Based Determination of Ploidy from Dried Leaf Specimens in Genomically Complex Collections of the Tropical Forage Grass *Urochloa* s. l. // *Genes*. 2021. № 12. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34201593/> (дата обращения: 15.05.2025).
27. Staats M., Cuenga A., Richardson J. E., Vrielink-van Ginkel R., Petersen G., Seberg O., Bakker T. F. DNA Damage in Plant Herbarium Tissue // *PLoS ONE*. 2011. Vol. 12, № 6. P. 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028448>
28. Darzynkiewicz Z., Traganos F., Kapuscinski J., Staiano-Coico L., Melamed M. R. Accessibility of DNA *in situ* to various fluorochromes: Relationship to chromatin changes during erythroid differentiation of Friend leukemia cells // *Cytometry A*. 1984. Vol. 5, № 4. P. 355–363. <https://doi.org/10.1002/cyto.990050411>
29. Šmarda P., Bureš P., Horová L., Leitch I. J., Mucina L., Pacini E., Tichý L., Grulich V., Rotreklová O. Ecological and evolutionary significance of genomic GC content diversity in monocots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, vol. 111, no. 39, pp. 4096–4102. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321152111>
30. Bou Dagher-Kharrat M., Abdel-Samad N., Douaihy B., Bourge M., Fridlender A., Siljak-Yakovlev S., Brown S. C. Nuclear DNA C-values for biodiversity screening: Case of the Lebanese flora. *Plant Biosystems*, 2013, vol. 147, no. 4, pp. 1228–1237. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.861530>
31. Fridlender A., Brown S., Verlaque R., Crosnier M. T., Pech N. Cytometric determination of genome size in *Colchicum* species (Liliales, Colchicaceae) of the western Mediterranean area. *Plant Cell Reports*, 2002, vol. 21, no. 4, pp. 347–352. <https://doi.org/10.1007/s00299-002-0522-4>
32. Nikolaeva M. G., Razumova M. V., Gladkova V. N. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Handbook on germination of dormant seeds]. Leningrad, Nauka, Leningradskoe otdelenie, 1985. 506 p. (in Russian).
33. Skaptsov M. V., Kutsev M. G., Smirnov S. V., Vaganov A. V., Uvarova O. V., Shmakov A. I. Standards in plant flow cytometry: An overview, polymorphism and linearity issues. *Turczaninowia*, 2024, vol. 27, no. 2, pp. 86–104. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.27.2.10>
34. Gribok N. A., Vlasova T. M., Matyushina M. V., Kurchenko V. P. Secondary metabolites content of *Colchicum* L. Genus representatives introduced in the conditions of Belarus. *Proceedings of the Belarusian State University Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences*, 2010, vol. 4, pt. 2: Innovative Biotechnologies of the XXI century, pp. 129–137 (in Russian).
35. Doležel J., Sgorbati S., Lacretti S. Comparison of three DNA fluorochromes for flow cytometric estimation of nuclear DNA content in plants. *Physiol. Plant*, 1992, no. 85, pp. 625–631.
36. Obermayer R., Leitch I. J., Hanson L., Bennett M. D. Nuclear DNA C-values in 30 species double the familial representation in pteridophytes. *Ann. Bot.*, 2002, vol. 90, no. 2, pp. 209–217. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf167>
37. Doležel J., Greilhuber J., Lucretti S., Meister A., Lysák M., Nardi L. Plant genome size estimation by flow cytometry: Inter-laboratory comparison. *Ann. Bot.*, 1998, vol. 82, pp. 17–26. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0730>
38. Levan A. *Bulbocodium* to the c-mitotic action of colchicine. *Cyto-genetic Laboratory of the Swedish Seed Association*, 1947, vol. 33, no. 4, pp. 552–566. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1947.tb02821.x>
39. Kunakh V. A. Plasticity of the genome of somatic cells and adaptivity of plants. *Molecular and Applied Genetics*, 2011, no. 12, pp. 7–12 (in Russian).

References

1. Oganezova G. G. *Problemy roda Colchicum L. Colchicum sensu lato ili Colchicum sensu stricto v svete kategoriy preryvnosti i nepreryvnosti* [Problems of the genus *Colchicum* L. *Colchicum* sensu lato or *Colchicum* sensu stricto in light of the categories of discontinuity and continuity]. Yerevan, NAS RA, Institute of Botany named after A. Takhtajan Publ., 2019. 176 p. (in Russian).
2. Vinnersten A., Manning J. A new classification of Colchicaceae. *Taxon*, 2007, vol. 56, no. 1, pp. 171–178.
3. Agapova N. D. *Chisla khromosom tsvetkovykh rasteniy flory SSSR: Semejstva Asteraceae – Menyanthaceae*. Pod red. A. L. Takhtadzhyan [Takhtadzhyan A. L., ed. Chromosome numbers of flowering plants of the flora of the USSR: Asteraceae – Menyanthaceae families]. Leningrad, Nauka, Leningradskoe otdelenie, 1990. 509 p. (in Russian).
4. Persson K. Nomenclature synopsis of the genus *Colchicum* (Colchicaceae) with some new species and combinations. *Bot. Jahrb. Syst.*, 2007, vol. 127, no. 2, pp. 166–242.
5. Oganezova G. G. Peculiarities of Geography and the Evolution trends of Hysteran and Synant Species of Genus *Colchicum* s. str. (Colchicaceae). *Takhtajania*, 2011, no. 1, pp. 87–97 (in Russian).
6. Kashin A. S., Parkhomenko A. S., Kulikova L. V., Petrova N. A., Shilova I. V., Lavrentiev M. V., Shushunov V. A. Potential Range of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng (Colchicaceae, Liliopsida) in Russia. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 2, pp. 241–247. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-241-247>
7. Veselý P., Bureš P., Šmarda P., Pavlicek T. Genome size and DNA base composition of geophytes: The mirror of phenology and ecology? *Annals of Botany*, 2012, vol. 109, no. 1, pp. 65–75. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr267>
8. Šmarda P., Bureš P., Horová L., Leitch I. J., Mucina L., Pacini E., Tichý L., Grulich V., Rotreklová O. Ecological and evolutionary significance of genomic GC content diversity in monocots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, vol. 111, no. 39, pp. 4096–4102. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321152111>
9. Bou Dagher-Kharrat M., Abdel-Samad N., Douaihy B., Bourge M., Fridlender A., Siljak-Yakovlev S., Brown S. C. Nuclear DNA C-values for biodiversity screening: Case of the Lebanese flora. *Plant Biosystems*, 2013, vol. 147, no. 4, pp. 1228–1237. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.861530>
10. Fridlender A., Brown S., Verlaque R., Crosnier M. T., Pech N. Cytometric determination of genome size in *Colchicum* species (Liliales, Colchicaceae) of the western Mediterranean area. *Plant Cell Reports*, 2002, vol. 21, no. 4, pp. 347–352. <https://doi.org/10.1007/s00299-002-0522-4>
11. Nikolaeva M. G., Razumova M. V., Gladkova V. N. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Handbook on germination of dormant seeds]. Leningrad, Nauka, Leningradskoe otdelenie, 1985. 506 p. (in Russian).
12. Skaptsov M. V., Kutsev M. G., Smirnov S. V., Vaganov A. V., Uvarova O. V., Shmakov A. I. Standards in plant flow cytometry: An overview, polymorphism and linearity issues. *Turczaninowia*, 2024, vol. 27, no. 2, pp. 86–104. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.27.2.10>
13. Gribok N. A., Vlasova T. M., Matyushina M. V., Kurchenko V. P. Secondary metabolites content of *Colchicum* L. Genus representatives introduced in the conditions of Belarus. *Proceedings of the Belarusian State University Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences*, 2010, vol. 4, pt. 2: Innovative Biotechnologies of the XXI century, pp. 129–137 (in Russian).
14. Doležel J., Sgorbati S., Lacretti S. Comparison of three DNA fluorochromes for flow cytometric estimation of nuclear DNA content in plants. *Physiol. Plant*, 1992, no. 85, pp. 625–631.
15. Obermayer R., Leitch I. J., Hanson L., Bennett M. D. Nuclear DNA C-values in 30 species double the familial representation in pteridophytes. *Ann. Bot.*, 2002, vol. 90, no. 2, pp. 209–217. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf167>
16. Doležel J., Greilhuber J., Lucretti S., Meister A., Lysák M., Nardi L. Plant genome size estimation by flow cytometry: Inter-laboratory comparison. *Ann. Bot.*, 1998, vol. 82, pp. 17–26. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0730>
17. Levan A. *Bulbocodium* to the c-mitotic action of colchicine. *Cyto-genetic Laboratory of the Swedish Seed Association*, 1947, vol. 33, no. 4, pp. 552–566. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1947.tb02821.x>
18. Kunakh V. A. Plasticity of the genome of somatic cells and adaptivity of plants. *Molecular and Applied Genetics*, 2011, no. 12, pp. 7–12 (in Russian).

19. Matzk F., Meister A., Schubert I. An efficient screen for reproductive pathways using mature seeds of monocots and dicots. *Plant J.*, 2000, vol. 21, no.1, pp. 97–108. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2000.00647.x>
20. Servick S., Visger C. J., Gitzendanner M. A., Soltis P. S., Soltis D. E. Population genetic population, geographic structure, and multiple origins of autoploidy in *Galax Urceolata*. *Am. J. Bot.*, 2015, no. 102, pp. 973–982. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400554>
21. Suda J., Trávníček P. Reliable DNA ploidy determination in dehydrated tissues of vascular plants by DAPI flow cytometry new prospects for plant research. *Cytometry A*, 2006, vol. 4, pp. 273–80. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.20253>
22. Viruel J., Conejero M., Hidalgo O., Pokorný L., Powell R. F., Forest F., Kantar M. B., Soto Gomez M., Graham S. W., Gravendeel B., Wilkin P., Leitch I. J. A Target Capture-Based Method to Estimate Ploidy From Herbarium Specimens. *Frontiers in Plant Science*, 2019, vol. 10. Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.869423/full> (accessed May 15, 2025). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00937>
23. Skaptsov M. V., Vaganov A. V., Kechaykin A. A., Kutsev M. G., Smirnov S. V., Dorofeev V. I., Borodina-Grabovskaya A. E., Seregin A. P., Sinitina T. A., Friesen N., Zhang X., Shmakov A. I. The cytotypes variability of the complex *Selaginella sanguinolenta* s. l. *Turczaninowia*, 2020, no. 23, pp. 5–14. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.23.2.1>
24. Bainard J. D., Husband B. C., Baldwin S. J., Fazekas A. J., Gregory T. R., Newmaster S. G., Kron P. P. The effects of rapid desiccation on estimates of plant genome size. *Chromosome Res.*, 2011, no. 19, pp. 825–842. <https://doi.org/10.1007/s10577-011-9232-5>
25. Wang G., Yang Y. The effects of fresh and rapid desiccated tissue on estimates of Ophiopogoneae genome size. *Plant Divers.*, 2016, no. 38, pp. 190–193. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2016.08.001>.
26. Tomaszewska P., Pellny T. K., Hernández L. M., Mitchell R. A. C., Castiblanco V., de Vega J. J., Schwarzbacher T., Heslop-Harrison P. Flow Cytometry-Based Determination of Ploidy from Dried Leaf Specimens in Genomically Complex Collections of the Tropical Forage Grass *Urochloa* s. l. *Genes*, 2021, no. 12. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34201593/> (accessed May 15, 2025).
27. Staats M., Cuenca A., Richardson J. E., Vrielink-van Ginkel R., Petersen G., Seberg O., Bakker T. F. DNA Damage in Plant Herbarium Tissue. *PLoS ONE*, 2011, vol. 12, no. 6, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028448>
28. Darzynkiewicz Z., Traganos F., Kapuscinski J., Staiano-Coico L., Melamed M. R. Accessibility of DNA *in situ* to various fluorochromes: Relationship to chromatin changes during erythroid differentiation of Friend leukemia cells. *Cytometry A*, 1984, vol. 5, no. 4, pp. 355–363. <https://doi.org/10.1002/cyto.990050411>

Поступила в редакцию 15.08.2025; одобрена после рецензирования 03.09.2025; принята к публикации 05.09.2025
The article was submitted 15.08.2025; approved after reviewing 03.09.2025; accepted for publication 05.09.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 447–453

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 447–453

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-447-453>, EDN: YYMQXR

Научная статья

УДК 581.3+631.52

Апомиксис у *Anthoxanthum nitens* и *A. repens* (Poaceae L.) флоры Саратовской области



Э. И. Кайбелева, О. И. Юдакова 

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

Кайбелева Эльмира Исмаиловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики, kaybeleva-elmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4986-5449>

Юдакова Ольга Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой генетики, yudakova@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1391-6803>

Аннотация. В статье представлены результаты цитоэмбриологического анализа четырех ценопопуляций двух видов *Anthoxanthum* L. из флоры Саратовской области: *A. nitens* (Weber) Y.Schouten & Veldkamp и *A. repens* (Host) Veldkamp. У растений обоих видов зарегистрированы эмбриологические признаки апоспории Hieracium-типа и псевдогамии: присутствие в одном семязачатке нескольких восьмиядерных семиклеточных зародышевых мешков и развитие зародыша в неоплодотворенных мегагаметофитах с интактными полярными ядрами. Наряду с зародышевыми мешками типичного строения были обнаружены характерные для апомиктических злаков мегагаметофиты с различными структурными аномалиями (тремя полярными ядрами, яйцеклеткоподобными синергидами, отсутствием отдельных элементов зародышевого мешка). Несмотря на высокое качество пыльцы и формирование в семязачатках жизнеспособных мегагаметофитов, растения *A. nitens* завязывали единичные семена. Обсуждаются возможные причины низкой семенной продуктивности данных растений.

Ключевые слова: способ размножения, апомиксис, амфимиксис, апоспория, псевдогамия, Poaceae, P/O ratio

Для цитирования: Кайбелева Э. И., Юдакова О. И. Апомиксис у *Anthoxanthum nitens* и *A. repens* (Poaceae L.) флоры Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 447–453. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-447-453>, EDN: YYMQXR

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

Article

Apomixis in *Anthoxanthum nitens* and *A. repens* (Poaceae L.) in the Saratov region flora

Е. И. Kaybeleva, О. И. Yudakova 

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

Elmira I. Kaybeleva, kaybeleva-elmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4986-5449>

Olga I. Yudakova, yudakova@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1391-6803>

Abstract. The article presents the results of cytoembryological analysis of four cenopopulations of two *Anthoxanthum* L. species from the flora of the Saratov region: *A. nitens* (Weber) Y.Schouten & Veldkamp and *A. repens* (Host) Veldkamp. Embryological characters of Hieracium-type apospory and pseudogamy were recorded in plants of both species: (1) formation of several eight-nucleate seven-celled embryo sacs in the ovule; (2) development of the proembryo in unfertilized megagametophytes with intact polar nuclei. Megagametophytes with structural anomalies characteristic of apomicts were also found (embryo sacs with three polar nuclei, with egg-like synergids or with the absence of individual elements). Despite high-quality pollen and the formation of viable megagametophytes in the ovules, the *A. nitens* plants produced only a few seeds. Possible reasons for the low seed production of these plants are discussed.

Key words: mode of reproduction, apomixis, amphimixis, apospory, pseudogamy, Poaceae, P/O ratio

For citation: Kaybeleva E. I., Yudakova O. I. Apomixis in *Anthoxanthum nitens* and *A. repens* (Poaceae L.) in the Saratov region flora. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 447–453 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-447-453>, EDN: YYMQXR

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

Введение

У покрытосеменных растений семенное размножение может реализовываться как посредством амфимиксиса, когда развитие зародыша и эндосперма происходит в результате двойного оплодотворения, так и апомиксиса, в основе которого лежит партеногенез – развитие яйцеклетки без оплодотворения [1]. Альтернативные пути инициации эмбрионального развития (оплодотворение и партеногенез) определяют разную генотипическую структуру зародышей: гибридную – при амфимиксисе и материнского типа – при апомиксисе, что, в свою очередь, наделяет будущие поколения разными адаптивными и эволюционными возможностями [2, 3]. В связи с этим определение типа семенного размножения важно не только для правильного планирования селекционно-генетических работ и природоохранных мероприятий, но и для решения ряда теоретических вопросов, касающихся, например, механизмов видеообразования и направлений эволюции.

В системе покрытосеменных растений апомиктические виды распределены неравномерно. В одних таксонах они крайне редки, либо вообще отсутствуют, в других – встречаются с повышенной частотой [1, 4]. К лидерам по количеству апомиктов относится семейство Poaceae L. – одно из наиболее крупных среди цветковых растений, объединяющее более 11000 видов [5]. По разным оценкам в нем насчитывается около 200–300 апомиктических видов [4, 6, 7]. Эти цифры далеко неокончательные, поскольку у многих представителей семейства способ семенной репродукции до сих пор не изучался, либо были проанализированы единичные растения или отдельные локальные популяции. Из-за факультативного характера и тесной связи апомиксиса с полиплоидией в пределах одного апомиктического вида могут встречаться растения и даже целые популяции с половым способом репродукции, поэтому для констатации наличия или отсутствия у вида апомиксиса желательно использовать популяционный подход, т. е. изучать репрезентативную выборку растений нескольких популяций.

Несмотря на то что к настоящему времени разработаны разные методы выявления апомиксиса у растений [8], одним из наиболее информативных до сих пор остаётся цитоэмбриологический анализ женской генеративной

сфера. Целью данного исследования стала диагностика способа семенной репродукции у двух видов *Anthoxanthum* L. из флоры Саратовской области: *A. nitens* (Weber) Y.Schouten & Veldkamp и *A. repens* (Host) Veldkamp.

Материалы и методы

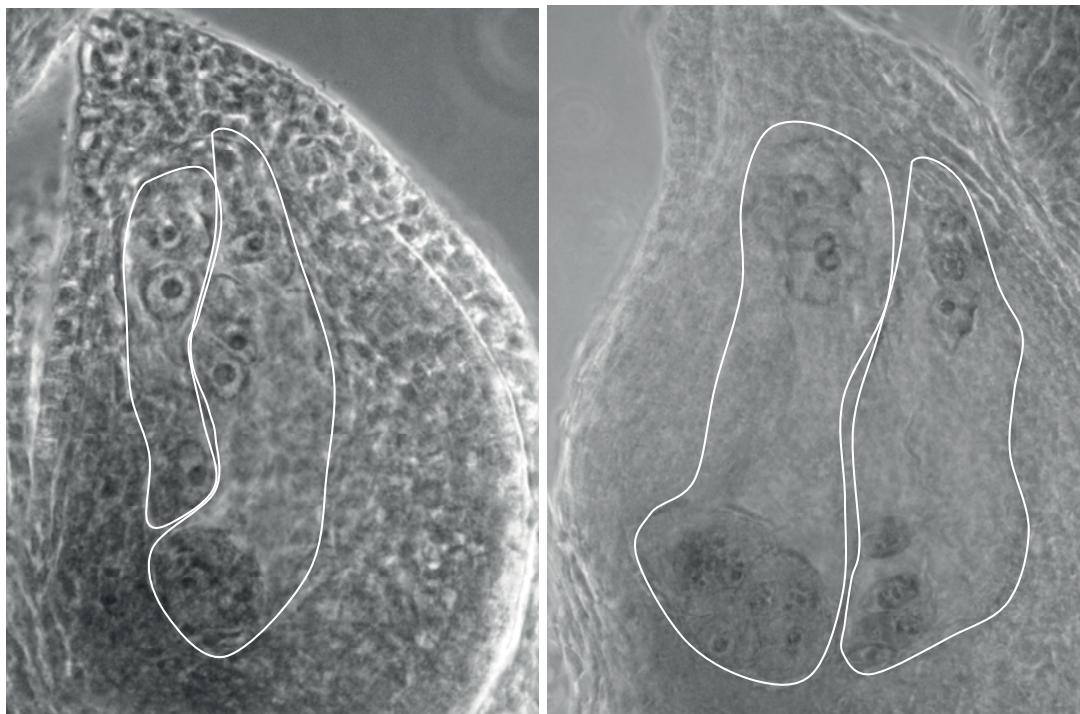
Объектами исследования послужили растения *A. nitens*, произрастающие на о. Чардымский (Воскресенский район, пойма р. Волги), и трех ценопопуляций *A. repens* из следующих местообитаний: 1) Саратовский район (окрестности г. Саратова, лесостепной участок); 2) Воскресенский район (о. Чардымский, пойма р. Волги); 3) Краснокутский район (степной участок). Видовую принадлежность растений определяли по Н. Н. Цвелееву [9]. Названия видов и их авторы приведены в соответствии с «The World checklist of Vascular Plants (WCVP) (<https://wcvp.science.kew.org>). В каждой популяции в разгар цветения проводили сбор и однократную фиксацию ацетоалкоголем (3:1) соцветий 10–15 растений. Из зафиксированных цветков приготавливали препараты пыльников и семязачатков с использованием метода просветления растительных тканей [10, 11], которые анализировали с помощью микроскопа «AxioStar Plus» (C. Zeiss, Германия) в фазово-контрастном режиме.

Результаты и их обсуждение

У растений всех изученных ценопопуляций *A. repens* были обнаружены цитоэмбриологические признаки апомиксиса. В зрелых семязачатках с высокой частотой наблюдалось формирование нескольких зародышевых мешков (табл. 1, рисунок, а). Они содержали яйцеклетку, две синергиды, антиподальный комплекс и центральную клетку с двумя полярными ядрами. Для видов с одноклеточным археспорием присутствие в семязачатке нескольких биполярных восьмиядерных семиклеточных мегагаметофитов является диагностическим признаком апомиксии *Hieracium*-типа [12]. При данном типе апомиксиса наряду с эуспорическими зародышевыми мешками развиваются один или несколько нередуцированных женских гаметофитов из соматических клеток нуцеллуса в результате трех последовательных митотических делений [13].

Структура семязачатков и зародышевых мешков *Anthoxanthum repens* и *A. nitens*
Structure of ovules and embryo sacs in *Anthoxanthum repens* and *A. nitens*

Место сбора материала / Place of collection of material	Количество семязачатков / Number of ovules			Количество зародышевых мешков / Number of embryo sacs		
	Всего, шт. / Total number, psc	С апоспорическими инициалами, % / With aposporous initials, %	С несколькими зародышевыми мешками, % / With multiple embryo sacs, %	Всего, шт. / Total number, psc	Аномального строения, % / Abnormal structure, %	С проэмбрио и полярными ядрами, % / With proembryo and polar nuclei, %
<i>A. repens</i>						
Саратовский район / Saratov district	80	0,0	25,0	105	7,6	15,2
Воскресенский район / Voskresensky district	60	3,3	18,3	72	5,5	2,7
Краснокутский район / Krasnokutsky district	71	0,0	38,0	98	3,0	1,0
<i>A. nitens</i>						
Воскресенский район / Voskresensky district	91	4,4	16,5	107	5,6	0,9



Семязачатки с двумя зародышевыми мешками: *a* – один зародышевый мешок (слева) нормального строения, другой пятиклеточный (справа) содержит яйцеклетку, одно полярное ядро и три антипода (*A. repens*), *b* – в одном зародышевом мешке (слева) отсутствуют синергиды, в другом (справа) присутствует двухклеточный проэмбрио, интактные полярные ядра и антиподы (*A. nitens*)

Figure. Ovules with two embryo sacs: *a* – one embryo sac (on the left) has a normal structure, the other is five-celled (on the right) and contains an egg cell, one polar nucleus and three antipodes (*A. repens*), *b* – one embryo sac (on the left) lacks synergids, the other (on the right) contains a two-celled proembryo, intact polar nuclei and antipodes (*A. nitens*)

В семязачатках без признаков проникновения в них пыльцевых трубок были обнаружены неоплодотворенные зародышевые мешки с проэбрио и интактными полярными ядрами (см. табл. 1). Опережающий эмбриогенез, или преждевременная эмбриония – явление, присущее исключительно псевдогамным апомиктам, у которых зародыш развивается партеногенетически, а эндосperm – в результате оплодотворения центральной клетки.

Кроме зародышевых мешков типичного строения были зарегистрированы мегагаметофиты со структурными аномалиями (см. табл. 1), что часто встречается у апомиктических растений [14]. У *A. repens* аномальные зародышевые мешки, как правило, содержали дополнительные полярные ядра, в единичных случаях в них отсутствовали антиподы или синергиды (см. рисунок, а).

Растения островной популяции *A. nitens* были зафиксированы на более ранней стадии развития. В связи с этим в исследованных семязачатках были обнаружены не только зрелые множественные мегагаметофиты, но и апоспорические инициали – крупные вакуолизированные клетки нуцеллуса, из которых образуются апоспорические зародышевые мешки. Частота женских гаметофитов с атипичной структурой составила 5,6% (см. табл. 1).

Также как у *A. repens*, гаметофитные аномалии в основном были представлены дополнительными полярными ядрами или отсутствием некоторых элементов зародышевого мешка (см. рисунок, б).

Из-за того что соцветия были зафиксированы в начале цветения, лишь в одном случае было зарегистрировано развитие зародыша при интактных полярных ядрах, свидетельствующее о псевдогамии, которая ранее неоднократно была описана у *A. nitens* в популяциях Северной Америки, Западной Европы и Великобритании [15, 16]. Косвенным подтверждением наличия псевдогамии у изученных нами растений могут служить следующие факты. На острове Чардымский *A. nitens* представлен несколькими небольшими ценопопуляциями, занимающими площадь не более 50 кв. м, расположенными на расстоянии более 0,5 км друг от друга и разделенными полосой леса. Учитывая, что *A. nitens* является длиннокорневищным злаком, не исключено, что в таких локальных ценопопуляциях все наземные побеги могут быть образованы одной особью. В год наблюдения растения этих ценопопуляций завязывали единичные семена [17], несмотря на то, что подавляющее большинство мегагаметофитов (см. табл. 1) и около 80% пыльцы в пыльниках имели нормальное строение (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

**Морфометрические показатели генеративных структур
*Anthoxanthum nitens***
Morphometric indices of generative structures of *Anthoxanthum nitens*

Показатель / Indicator	Значение / Value
Средняя степень дефектности пыльцы, % / Average pollen defect rate, %	20,5
Средний диаметр пыльцевых зерен, мкм / Average pollen grain diameter, μm	26,87 \pm 1,49
Среднее количество пыльцы в пыльнике, шт. / Average pollen count per anther, pcs.	2023 \pm 189
Количество тычинок в цветке*, шт. / Number of stamens per flower*, pcs.	8
Количество семязачатков в цветке, шт. / Number of ovules per flower, pcs.	1
Среднее значение P/O, абс.ч. / Average P/O ratio, abs.	30345

Примечание. *В колосках присутствуют два мужских цветка с тремя тычинками и один обоеполый с двумя тычинками. Тычинки из мужских и женских цветков содержат разное количество пыльцы.

Note. *The spikelets contain two male flowers with three stamens and one bisexual flower with two stamens. The stamens from the male and female flowers contain different amounts of pollen.

Определение соотношения количества пыльцевых зерен к количеству семязачатков (P/O ratio) показало, что его значение (30345) лежит в диапазоне, характерном для облигатных аллогам [18]. Если локальные ценопопуляции представлены одним вегетативно размножающимся растением, а погодные условия и рельеф местности не благоприятствуют перекрестному опылению, то из-за самонесовместимости завязи могут оставаться неопыленными, а центральные клетки зародышевых мешков неоплодотворенными. В отсутствие эндосперма у псевдогамных апомиктов партеногенетические зародыши останавливают свое развитие на глобулярной стадии, зародышевые мешки дегенерируют, и семена не завязываются [19]. При изучении нескольких псевдогамных апомиктических клонов *A. nitens* из Шотландии C. Ferris с соавторами также выявили низкую семенную продуктивность растений (2%), которую они объяснили сочетанием самонесовместимости и ограниченного количества совместимых пар в исследованном материале [20].

Существует мнение, что переход перекрестноопыляемых растений с амфимиксиса на апомиксис сопровождается нарушением самонесовместимости с последующим переходом на автогамию [21]. Судя по всему, у апомиктического *A. nitens* такого перехода не произошло, и растения сохранили самонесовместимость и свойственные облигатным аллогамам высокие затраты на опыление, о чем свидетельствует большое значение Р/О (см. табл. 2).

Следует отметить, что в отличие от *A. repens*, который типичен для флоры Саратовской области, *A. nitens* встречается очень редко. В последних списках флоры его нахождение в Саратовской области либо ставилось под сомнение [22, 23], либо вообще исключалось [24]. *A. nitens* – корневищная многолетняя трава преимущественно северных широт. Ее экспансии в другие регионы может препятствовать наряду с другими факторами облигатная аллогамия, клonalность и низкая семенная продуктивность.

Заключение

Род *Anthoxanthum* относительно небольшой, в нем выделяют 52 вида, среди которых есть хорошо обособленные диплоиды и полиплоиды разного уровня (от 4 до 12х) [25]. Род довольно сложен в систематическом отношении из-за ряда особенностей биологии его представителей [25]. С учетом полученных нами данных можно

констатировать наличие апомиксиса у 8 видов этого рода: *A. australe* (= *Hierochloe australis* (Schrader) Roemer Schultes) [26], *A. glabrum* (= *H. glabra* Trin. s. l.) [27, 28], *A. monticola* (= *H. alpina* (Willd.) [29, 30], *A. nitens* (= *H. odorata* (L.) Beauv, *H. hirta* (Schrank) Borbas) [15, 16], *A. odoratum* [31], *A. repens* (= *H. repens* (Host) Beauv.) [28], *A. submuticum* (F.Muell.) Veldkamp (= *H. monticola* Mez) [30], *A. wendelboi* (G. Weim.) Veldkamp (= *H. wendelboi* G.Weim.) [4]. Всем им, за исключением *A. submuticum* [30], присуща апоспория *Hieracium*-типа и псевдогамия. Следует отметить, что *A. nitens* и *A. repens*, как и ранее изученный нами вид *A. glabrum* [27, 28], характеризуются не только одинаковым типом апомиксиса, но и сходным спектром гаметофитных аномалий, среди которых особого внимания заслуживает формирование зародышевых мешков с недостающими элементами. Такие аномалии являются следствием сокращения числа митотических делений в ходе мегагаметофитогенеза. Образование апоспорических четырехядерных зародышевых мешков в результате двух митотических делений типично для апомиктических форм вышестоящих по сравнению с *Anthoxanthum* таксонов злаков, таких как *Panicum*, *Setaria* и *Echinochloa* [4]. Образование малоклеточных мегагаметофитов у вышеперечисленных видов *Anthoxanthum* может быть отражением эволюционной тенденции к уменьшению числа элементов зародышевого мешка за счет сокращения числа митозов при его формировании.

Список литературы

1. Asker S. E., Jerling L. Apomixis in plants. Berlin : Boca Raton, 1992. 292 р.
2. Грант В. Видообразование у растений. М. : Мир, 1984. 528 с.
3. Hojsgaard D., Klatt S., Baier R., Carman J. G., Hörandl E. Taxonomy and biogeography of apomixis in angiosperms and associated biodiversity characteristics // CRC Crit. Rev. Plant Sci. 2014. Vol. 33, № 5. P. 414–427. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898488>
4. Hojsgaard D., Pullaiah T. Apomixis in Angiosperms: Mechanisms, occurrences, and biotechnology. CRC Press, 2023. 269 р. <https://doi.org/10.1201/9781003088561>
5. Цвелев Н. Н., Пробатова Н. С. Злаки России. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2019. 646 с.
6. Pullaiah T., Febulaus G. N. V. Embryology and apomixis in Grasses. New Delhi : Regency Publications, 2000. 258 р.

7. Юдакова О. И., Кайбелева Э. И. Гаметофитный апомиксис в семействе Poaceae // Бот. журнал. 2025. № 11. С. 1043–1080.
8. Naumova T. N. Apomixis in tropical fodder crops: Cytological and functional aspects // *Euphytica*. 1997. № 96. P. 93–99. <https://doi.org/10.1023/A:1002909110354>
9. Цвелеев Н. Н. Злаки. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1976. 788 с.
10. Herr Jm. J. M. A new clearing-squash technique for study of ovule development in angiosperms // Amer. J. Bot. 1971. Vol. 20, № 8. P. 785–790.
11. Юдакова О. И. Методы микроскопического анализа в ботанике : учеб.-метод. пособие / Сарат. нац. исслед. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. Саратов, 2023. 60 с. <https://doi.org/10.18500/978-5-292-04839-8>
12. Хохлов С. С., Зайцева М. И., Куприянов П. Г. Выявление апомиктических форм во флоре цветковых растений СССР. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1978. 224 с.
13. Crane C. F. Classification of apomictic mechanisms // The flowering of apomixis: From mechanisms to genetic engineering. Mexico. D.E. CIMMYT. IRD. European Commission OC VI (FAIR), 2001. P. 24–34.
14. Юдакова О. И. Аномалии развития женского гаметофита у апомиктических форм мятыников // Онтогенез. 2009. Т. 40, № 3. С. 38–46.
15. Weimarck G. Variation and taxonomy of *Hierochloë* (Gramineae) in Northern hemisphere // Bot. Notiser. 1971. № 124. P. 129–175.
16. Norstog K. Apomixis and polyembryony in *Hierochloë odorata* // Amer. J. Bot. 1963. Vol. 50, № 8. P. 815–821. <https://doi.org/10.2307/2440200>
17. Кайбелева Э. И., Архипова Е. А., Юдакова О. И. К вопросу о произрастании злаковки душистой (*Hierochloë odorata* (L.) Wahl., Poaceae) в Саратовской области // Бюл. Бот. сада Сарат. ун-та. 2016. Т. 14, вып. 1. С. 28–32.
18. Cruden R. W. Pollen-ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants // Evolution. 1977. Vol. 31. P. 32–46.
19. Юдакова О. И., Шакина Т. Н., Кайбелева Э. И. Цитоэмбриологические особенности развития эндосперма при апомиксисе у некоторых видов рода *Poa* (Poaceae) // Бот. журн. 2018. Т. 103, № 7. С. 908–918. <https://doi.org/10.7868/S0006813618070049>
20. Ferris C., Callow R., Gray A. Mixed first and second division restitution in male meiosis of *Hierochloë odorata* (L.) Beauv (Holy Grass) // Heredity. 1992. Vol. 69. P. 21–31. <https://doi.org/10.1038/hdy.1992.90>
21. Hörandl E. The evolution of self-fertility in apomictic plants // Sex Plant Reprod. 2010. Vol. 23, № 1. P. 73–86. <https://doi.org/10.1007/s00497-009-0122-3>
22. Флора Нижнего Поволжья / под общ. ред. А. К. Скворцова. Т. 1. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. 435 с.
23. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. Изд. 11-е. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.
24. Еленевский А. Г., Буланый Ю. И., Радыгина В. И. Конспект флоры Саратовской области. Саратов : ИЦ «Наука», 2008. 232 с.
25. Тихомиров В. Н. Морфологическая изменчивость *Hierochloë repens* (Host) P. Beauv. s. l. (Poaceae) в Восточной Европе // Новости систематики высших растений. 2010. Т. 42. С. 30–39.
26. Weimarck G. Apomixis and sexuality in *Hierochloë australis* and swedish *H. odorata* on different polyploid levels // Bot. Notiser. 1967. Vol. 120, № 2. P. 209–235.
27. Шишкинская Н. А., Юдакова О. И. Репродуктивная эмбриология дикорастущих злаков // Известия Саратовского государственного университета. 2001. Сер. Биол., вып. спец. С. 166–175.
28. Юдакова О. И. Апомиктические виды рода *Hierochloë* R. Br. // Бюл. Бот. сада Сарат. ун-та. 2013. № 13. С. 201–208.
29. Weimarck G. Karyotypes and population structure in aneuploid *Hierochloë alpina* ssp. *alpina* (Gramineae) in northern Scandinavia // Hereditas. 1976. № 82. P. 149–156.
30. Weimarck G. Apomixis and sexuality in *Hierochloë alpina* (Gramineae) from Finland and Greenland and in *Hierochloë monticola* from Greenland // Botaniska Notiser. 1970. Vol. 123, № 4. P. 495–504.
31. Shanthamma C., Narayan K. N. Studies in Poaceae (Gramineae) // J. Mysore Univ. Sect. B. 1976–1977. Vol. 27. P. 302–305.

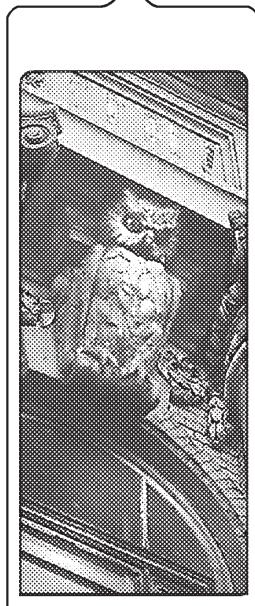
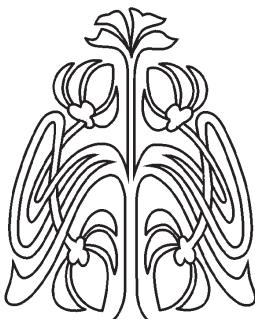
References

1. Asker S. E., Jerling L. *Apomixis in plants*. Berlin, Boca Raton, 1992. 292 p.
2. Grant V. *Vidoobrazovaniye u rasteniy* [Speciation in Plants]. Moscow, Mir, 1984. 528 p. (in Russian).
3. Hojsgaard D., Klatt S., Baier R., Carman J. G., Hörandl E. Taxonomy and biogeography of apomixis in angiosperms and associated biodiversity characteristics. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.*, 2014, vol. 33, no. 5, pp. 414–427. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898488>
4. Hojsgaard D., Pullaiah T. *Apomixis in Angiosperms: Mechanisms, occurrences, and biotechnology*. CRC Press, 2023. 269 p. <https://doi.org/10.1201/9781003088561>
5. Tsvelev N. N., Probatova N. S. *Zlaki Rossii* [Cereals of Russia]. Moscow, KMK Scientific Press, 2019. 646 p. (in Russian).
6. Pullaiah T., Febulaus G. N. V. *Embryology and apomixis in Grasses*. New Delhi, Regency Publications, 2000. 258 p.
7. Yudakova O. I., Kaybeleva E. I. Gametophytic apomixis in the Poaceae. *Bot. zhurnal*, 2025, no. 11, pp. 1043–1080 (in Russian).
8. Naumova T. N. Apomixis in tropical fodder crops: Cytological and functional aspects. *Euphytica*, 1997, no. 96, pp. 93–99. <https://doi.org/10.1023/A:1002909110354>
9. Tsvelev N. N. *Zlaki* [Cereals]. Leningrad, Nauka. Leningr. otd-nie, 1976. 788 p. (in Russian).

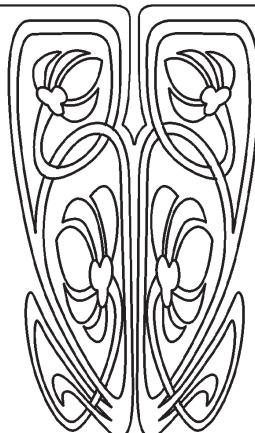
10. Herr Jm. J. M. A new clearing-squash technique for study of ovule development in angiosperms. *Amer. J. Bot.*, 1971, vol. 20, no. 8, pp. 785–790.
11. Yudakova O. I. *Metody mikroskopicheskogo analiza v botanike* [Methods of microscopic analysis in botany]. Saratov, Saratov State University Publ., 2023. 60 p. (in Russian). <https://doi.org/10.18500/978-5-292-04839-8>
12. Khokhlov S. S., Zaitseva M. I., Kupriyanov P. G. *Vyyavleniye apomiktichnykh form vo flore tsvetkovykh rasteniy SSSR* [Identification of apomictic forms in the flora of flowering plants of the USSR]. Saratov, Saratov State University Publ., 1978. 224 p. (in Russian).
13. Crane C. F. Classification of apomictic mechanisms. *The flowering of apomixis: From mechanisms to genetic engineering*. Mexico. D.E., CIMMYT. IRD., European Commission OC VI (FAIR), 2001, pp. 24–34.
14. Yudakova O. I. Abnormalities of female gametophyte development in apomictic bluegrass forms. *Russian Journal of Developmental Biology*, 2009, vol. 40, no. 3, pp. 150–156. <https://doi.org/10.1134/S1062360409030035>
15. Weimarck G. Variation and taxonomy of *Hierochloë* (Gramineae) in Northern hemisphere. *Bot. Notiser*, 1971, no. 124, pp. 129–175.
16. Norstog K. Apomixis and polyembryony in *Hierochloë odorata*. *Amer. J. Bot.*, 1963, vol. 50, no. 8, pp. 815–821. <https://doi.org/10.2307/2440200>
17. Kaybeleva E. I., Arkhipova E. A., Yudakova O. I. On the growth of sweet grass (*Hierochloë odorata* (L.) Wahl., Poaceae) in the Saratov region. *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov University*, 2016, vol. 14, no. 1, pp. 28–32 (in Russian).
18. Cruden R. W. Pollen-ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution*, 1977, vol. 31, pp. 32–46.
19. Yudakova O. I., Shakina T. N., Kaybeleva E. I. Cytoembryological features of endosperm development during apomixis in some species of the genus *Poa* (Poaceae). *Bot. Journal*, 2018, vol. 103, no. 7, pp. 908–918 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0006813618070049>
20. Ferris C., Callow R., Gray A. Mixed first and second division restitution in male meiosis of *Hierochloë odorata* (L.) Beauv (Holy Grass). *Heredity*, 1992, vol. 69, pp. 21–31. <https://doi.org/10.1038/hdy.1992.90>
21. Hörndl E. The evolution of self-fertility in apomictic plants. *Sex Plant Reprod*, 2010, vol. 23, no. 1, pp. 73–86. <https://doi.org/10.1007/s00497-009-0122-3>
22. *Flora Nizhnego Povolzhya. Pod obshch. red. A. K. Skvorcova. T. 1* [Skvorcov A. K., total ed. Flora of the Lower Volga region. Vol. 1]. Moscow, KMK Scientific Press, 2006. 435 p. (in Russian).
23. Mayevskiy P. F. *Flora sredney polosy yevropeyskoy chasti Rossii* [Flora of the central zone of the European part of Russia]. Moscow, KMK Scientific Press, 2014. 635 p. (in Russian).
24. Elenevskiy A. G., Bulaniy Yu. I., Radygina V. I. *Konспект flory Saratovskoy oblasti* [Abstract of the flora of the Saratov region]. Saratov, ITs “Nauka”, 2008. 232 p. (in Russian).
25. Tikhomirov V. N. Morphological diversity in the *Hierochloë repens* (Host) P. Beauv. s. l. (Poaceae) in the Eastern Europe. *Novitates Systematicae Plantarum Vascularium*, 2010, vol. 42, pp. 30–39 (in Russian).
26. Weimarck G. Apomixis and sexuality in *Hierochloë australis* and swedish *H. odorata* on different polyploid levels. *Bot. Notiser*, 1967, vol. 120, no. 2, pp. 209–235.
27. Shishkinskaya N. A., Yudakova O. I. Reproductive embryology of wild cereals. *Izvestiya of Saratov State University*, 2001, ser. Biol., iss. sp., pp. 166–175 (in Russian).
28. Yudakova O. I. Apomictic species of the genus *Hierochloë* R. Br. *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov University*, 2013, no. 13, pp. 201–208 (in Russian).
29. Weimarck G. Karyotypes and population structure in aneuploid *Hierochloë alpina* ssp. *alpina* (Gramineae) in northern Scandinavia. *Hereditas*, 1976, no. 82, pp. 149–156.
30. Weimarck G. Apomixis and sexuality in *Hierochloë alpina* (Gramineae) from Finland and Greenland and in *Hierochloë monticola* from Greenland. *Botaniska Notise*, 1970, vol. 123, no. 4, pp. 495–504.
31. Shanthamma C., Narayan K. N. Studies in Poaceae (Gramineae). *J. Mysore Univ. Sect. B*, 1976–1977, vol. 27, pp. 302–305.

Поступила в редакцию 21.09.2025; одобрена после рецензирования 30.09.2025; принята к публикации 01.10.2025
The article was submitted 21.09.2025; approved after reviewing 30.09.2025; accepted for publication 01.10.2025

ЭКОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 454–462

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 454–462
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-454-462>
EDN: WGIXXO

Научная статья
УДК 574.24:615.322

Экологическая оценка загрязнения сим-триазиновыми пестицидами лекарственного растительного сырья агроценозов Ростовской области

Ю. А. Павлова, Н. А. Дьякова 

Воронежский государственный университет, Россия, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

Павлова Юлия Александровна, ассистент кафедры фармацевтической технологии, u.a.selivanova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1204-927X>

Дьякова Нина Алексеевна, доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии, Ninochka_V89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>

Аннотация. Целью настоящего исследования являлась экологическая оценка загрязнения сим-триазиновыми пестицидами ресурсов лекарственного растительного сырья Ростовской области. В качестве объектов исследования использовали фармакопейные виды растений, широко распространенные в Южном федеральном округе, являющиеся характерными представителями как естественных растительных сообществ, так и синантропной растительности, а также почвы. Определяли содержание в образцах почв и растительного сырья сим-триазиновых пестицидов: атразина, симазина, прометрина. Определение содержания в растительных образцах и пробах почв ядохимикатов проводили на аналитическом хроматографе «Хроматэк-Кристалл-5000». Результаты исследования образцов, отобранных на территориях наиболее репрезентативных агроценозов Черековского и Цимлянского районов Ростовской области, характеризующихся интенсивной химизацией в сельском хозяйстве, показали полное экологическое благополучие почв и растительного сырья, в отношении загрязнения сим-триазиновыми пестицидами. Полученные результаты анализов образов почв и растительного сырья на содержание остаточных пестицидов соответствуют строгим требованиям органического земледелия, что создает предпосылки для развития органического растениеводства и сертификации дикорастущего и культивируемого лекарственного растительного сырья как экологически чистого, что позволяет позиционировать регион как благоприятную зону для фармацевтического сырьевого производства.

Ключевые слова: Ростовская область, агроценозы, лекарственное растительное сырье, сим-триазиновые пестициды

Для цитирования: Павлова Ю. А., Дьякова Н. А. Экологическая оценка загрязнения сим-триазиновыми пестицидами лекарственного растительного сырья агроценозов Ростовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 454–462. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-454-462>, EDN: WGIXXO

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



Article

Ecological assessment of contamination of agroce-noses of Rostov region with sim-triazine pesticides of medicinal raw materials

Yu. A. Pavlova, N. A. Dyakova 

Voronezh State University, 1 University pl., Voronezh 394006, Russian

Julia A. Pavlova, u.a.selivanova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1204-927X>

Nina A. Dyakova, Ninochka_V89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>

Abstract. The purpose of this study was an environmental assessment of the contamination of medicinal plant raw materials of the Rostov region with sim-triazine pesticides. The objects of the study were pharmacopeial plant species, widespread in the Southern Federal District, which are characteristic representatives of both natural plant communities and synanthropic vegetation, as well as soil. The content of sim-triazine pesticides: atrazine, simazine, promethrin in soil and plant samples was determined. The content of pesticides in plant samples and soil samples was determined using the Chromatec-Crystal-5000 analytical chromatograph. The results of the study of samples taken in the territories of the most representative agrocnoses of the Chertkovsky and Tsimlyansk districts of the Rostov region, characterized by intensive chemicalization in agriculture, showed the complete ecological well-being of soils and plant materials in relation to pollution with sim-triazine pesticides. The obtained results of analyses of soil and plant raw material images for residual pesticide content meet the strict requirements of organic farming, which creates prerequisites for the development of organic crop production and certification of wild and cultivated medicinal plant raw materials as environmentally friendly, which makes it possible to position the region as a favorable zone for pharmacopeial raw material production.

Keywords: Rostov region, agrocnoses, medicinal plant raw materials, sim-triazine pesticides

For citation: Pavlova Yu. A., Dyakova N. A. Ecological assessment of contamination of agroce-noses of Rostov region with sim-triazine pesticides of medicinal raw materials. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 454–462 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-454-462>, EDN: WGIXXO

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

Введение

Актуальной мировой эколого-гигиенической проблемой являются увеличивающиеся темпы нарастания разнообразия и количества применяемых пестицидов [1, 2]. В соответствии с определением ВОЗ, к пестицидам относятся химические соединения, используемые для борьбы с вредоносными организмами: фунгициды, инсектициды, гербициды, дефолианты, десиканты, зооциды, а также химические соединения, применяемые для регуляции роста растений, обработки сельскохозяйственной продукции до или после заготовки с целью увеличения сроков хранения [3, 4]. В силу ограничения и/или запрета применения ряда пестицидов существует понятие «остаточные пестициды», к которым относятся вещества, включающие в себя в качестве примеси остаточное количество пестицидов или любые их производные. Остаточные пестициды способны аккумулироваться в лекарственном растительном сырье (ЛРС) из почв, воды, а также при обработке семян растений, при их выращивании и хранении [5, 6].

Государственной фармакопеей на настоящее время нормируется содержание в ЛРС в общей сложности 69 пестицидов [7]. Они относятся преимущественно к 3 классам: хлорорга-

нические, фосфорорганические и производные сим-триазина [8]. Уступая по токсичности современным фосфорорганическим пестицидам, хлорорганические ядохимикаты способны длительное время находиться и циркулировать в неизменном виде в почве, растениях, живых организмах [9]. Относительно персистентными являются и сим-триазиновые пестициды [10].

Для повышения производственного потенциала растениеводческой отрасли количество химических удобрений и пестицидов увеличивается ежегодно в геометрической прогрессии [11, 12]. Известно, что в 2015 г. использование минеральных удобрений в России достигало 2 млн т в год, в 2020 г. – 4 млн т, а к концу 2025 г. планируется достичь уровня применения минеральных удобрений в 8 млн т [13, 15].

Ростовская область, как один из крупнейших аграрных регионов России, ежегодно обрабатывает пестицидами около 5 млн га земель, включая территории, прилегающие к местам заготовки дикорастущих лекарственных растений. В Ростовской области функционирует свыше 1200 сельскохозяйственных организаций и более 8000 фермерских хозяйств, использующих пестициды и ядохимикаты. По площади сельскохозяйственных угодий (8,5 млн га) Ростовская область занимает второе

место среди субъектов Российской Федерации, при этом по плодородию почв – лишь десятое. При общей площади пахотных земель более 5,9 млн га (данные на 2022 г.) регион является одним из лидеров по приросту применения минеральных удобрений, который составляет 10% в год (по данным на 2023 г.), а в период за 2020–2023 гг. их использование возросло на 60%. Значительно увеличилось внесение и органических удобрений, что связано с прогрессирующей за последние 30 лет деградацией почвенного плодородия в силу значительного снижения содержание гумуса в почвах [16, 17].

По данным территориального управления Россельхознадзора на 2024 г. после проведения внеплановых выездных проверок в регионе выявлено нарушение применения пестицидных и других агрохимических веществ. В 2024 г. выявлены случаи использования запрещенных пестицидов, что повышает риски контаминации дикорастущего ЛРС. За 2024 г. региональным управлением Россельхознадзора по Ростовской области было вынесено более 2 тысяч предостережений о недопустимости нарушения обязательных требований и составлено 14 протоколов об административных правонарушениях, а также аннулировано более 900 деклараций о соответствии растениеводческой продукции [16, 17].

В частности, в Цимлянском районе выявлено применение инсектицидов 1-го и 2-го класса опасности с превышением нормы расхода. Более 1600 производителей сельскохозяйственной продукции Ростовской области не подтвердили соответствующим образом в информационной системе фактическое и планируемое применение пестицидов и агрохимикатов, а более 400 производителей сельскохозяйственной продукции вовсе не зарегистрированы в информационной системе отслеживания применения ядохимикатов [17].

Также неоднократно появлялись сообщения о проблемах применения пестицидов и агрохимикатов в Чертовском районе Ростовской области, которые, по данным УФС Россельхознадзора региона, приводили не только к загрязнению растительной продукции, но и к массовой гибели пчел. Проблемы возникали при обработке сельскохозяйственных угодий пестицидами без соблюдения требований их безопасного применения (не в вечерние, а в утренние часы) [17].

Превышение норм содержания пестицидов в Ростовской области зафиксировано не только в почве и культивируемых культурах. Начи-

ная с 60-х гг. прошлого столетия отмечается превышение норм содержания пестицидов в различных водоемах региона. Загрязнение происходит за счет вымывания с сельскохозяйственных полей водами поверхностного стока и оросительных систем вносимых ядохимикатов [18]. Современные агроэкосистемы Ростовской области характеризуются устойчивым загрязнением пестицидами различных химических классов, представляющим особую опасность для ЛРС.

По данным Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области, симтриазиновые пестициды характеризуются многолетним применением на территории региона [18]. Сим-триазиновые гербициды (атразин, симазин и прометрин) в почве сохраняются длительное время (периоды полураспада варьируют до года). В результате биохимических превращений подвергаются окислительному дезалкилированию, образуя соединения более токсичные относительно исходных. Коэффициенты их сорбции варьируют от 100 до 300 мл/г. Атразин, симазин и прометрин являются классическими примерами компромисса между сельскохозяйственной выгодой и экологическими издержками. Их роль как стойкого загрязнителя почв и вод с доказанным негативным воздействием на живые организмы служит важной причиной пристального внимания и контроля за его применением и содержанием в объектах окружающей среды [9, 10, 12, 13, 15].

Атразин (2-хлор-4-этиламино-6-изопропиламино-1,3,5-триазин) – это мощный и эффективный гербицид, синтезированный в 1950-х гг. Он стал одним из наиболее широко применяемых в мире пестицидов для борьбы с двудольными и злаковыми сорняками в сельскохозяйственных системах, основанных на кукурузе, сорго и сахарном тростнике. Несмотря на эффективность, его физико-химические свойства (умеренная растворимость в воде, устойчивость к химическому и микробиологическому разложению) предопределили его судьбу как глобального загрязнителя окружающей среды. Атразин является ингибитором фотосистемы II. Селективность у устойчивых культур (кукуруза, сорго) обусловлена детоксикацией путем ферментативного гидроксилирования нерадикальным ферментом – глутатион-S-трансферазой, в то время как чувствительные растения не обладают такой способностью. Наиболее значимый аспект токсичности атразина – его влияние на эндокринную систему. Атразин индуцирует



экспрессию гена ароматазы, фермента, конвертирующего андрогены в эстрогены. Канцероген (группа 3). Период полураспада в почве составляет до 261 дня в зависимости от условий. ЕС полностью запретил использование атразина в 2004 г. В США атразин разрешен, но с ограничениями для защиты водных экосистем. В России и странах СНГ атразин разрешен к применению и широко используется в сельском хозяйстве, особенно при выращивании кукурузы, однако его использование регламентируется санитарными правилами и нормами [12, 15, 19, 20].

Симазин (2-хлор-4,6-бис(этиламино)-1,3,5-триазин) является хлорсодержащим гербицидом из класса триазинов, открытый в 1950-х гг. Изначально его широко использовали в сельском и лесном хозяйстве, его применение сократилось в многих странах из-за высокой стойкости и способности загрязнять грунтовые воды, однако он остается важным объектом изучения как эталонный ингибитор фотосинтеза и модельный загрязнитель. В растениях является ингибитором фотосистемы II. Обладает почвенной активностью и поглощается в основном корнями. Симазин и его метаболиты могут проявлять эндокринно-разрушающую активность, хотя его эндокринно-разрушающий потенциал выражен слабее, чем у атразина. Канцероген (группа 3). Его период полураспада в почве может составлять до 150 дней и более. В ЕС симазин был исключен из списка разрешенных пестицидов в 2004 г. В США разрешен преимущественно для несельскохозяйственных целей: на промышленных объектах, железнодорожных путях, в питомниках декоративных растений. В России и странах СНГ симазин разрешен к применению и широко используется в сельском хозяйстве, особенно при выращивании кукурузы и злаковых. Также симазин нашел применение в аквакультуре для борьбы с водорослями в прудах для разведения рыбы [9, 12, 13, 15, 21].

Прометрин (2,4-бис(изопропиламино)-6-метилтио-1,3,5-триазин) является гербицидом из класса метилтиотриазинов. Ключевое структурное отличие от атразина и симазина – замена атома хлора на метилтиогруппу. Это изменение придает ему уникальные свойства: большую липофильность и, как следствие, лучшую листовую активность, а также иную избирательность и поведение в окружающей среде. Механизм действия, как и у других триазинов, заключается в ингибировании фотосистемы II. Прометрин обладает как почвенной, так и листовой активностью. Благодаря большей липофильности,

прометрин может легче проникать через биологические мембранны. Обладает эндокринно-разрушающей активностью. Прометрин и его метаболиты могут связываться с эстрогеновыми рецепторами, хотя его потенциал ниже, чем у атразина. Канцероген (группа 3). Характеризуется высокой стойкостью. Его период полураспада в почве составляет до 180 дней, а в некоторых условиях может достигать и года. В ЕС прометрин был запрещен для использования с 2004 г. В США разрешен к применению на культурах, где сложно найти замену, а также на несельскохозяйственных землях. В России и странах СНГ прометрин используется преимущественно на устойчивых культурах (морковь, петрушка, сельдерей), а также подсолнечнике и кукурузе [9, 12, 13, 15, 22, 23].

Ростовская область является важным поставщиком растительного сырья не только на продовольственные, но и на фармацевтические рынки России [24, 25]. В связи с интенсивным развитием химизации в сельском хозяйстве в рамках Ростовской области происходит сокращение площадей естественных экотопов и формирование эдафотипов растений, приспособливающихся к антропогенной нагрузке [26–28]. Поэтому экологическая оценка загрязнения сим-триазиновыми пестицидами растительных ресурсов синантропной флоры региона является значимой задачей.

Таким образом, актуально проведение масштабного скрининга на остаточные сим-триазиновые пестициды дикорастущего ЛРС в наиболее критичных районах Ростовской области (ключевых местах производства растительной продукции и применения ядохимикатов) – Чертковском и Цимлянском районах. В соответствии с ОФС.1.5.3.0011.15 [7] содержание остаточных пестицидов определяется в культивируемом ЛРС, поэтому для оценки экологического состояния почв и растительных ресурсов Ростовской области были выбраны учетные площадки, лежащие в агроценозах региона.

Цель исследования – экологическая оценка загрязнения сим-триазиновыми пестицидами ресурсов лекарственного растительного сырья Ростовской области.

Материалы и методы

Отбор образцов проводился в 2023 г. на территории агроценозов Чертковского и Цимлянского районов, типичных для региона зон с

высоким уровнем химизации сельского хозяйства. В каждом агроценозе выбирали 5 опытных площадок. Для исследований использовали объединенные пробы.

В качестве объектов исследования были выбраны наиболее репрезентативные представители как естественных фитоценозов, так и синантропной флоры, заготавливаемые преимущественно от дикорастущих особей Ростовской области [29, 30]. Для объективности и комплексности исследования при выборе объектов учитывали необходимость изучения видов растительного сырья, включающих разные органы или части растений. Исследовали следующие растительные объекты:

- горца птичьего травы (*Polygoni avicularis herba*);
- полыни горькой травы (*Artemisia absinthium herba*);
- подорожника большого листья (*Plantaginis majoris folia*);
- лопуха большого листья (*Arctii folia*);
- одуванчика лекарственного корни (*Taraxaci officinalis radices*);
- лопуха большого корни (*Arctii radices*).

Для оценки аккумуляции экотоксикантов из почвы параллельно с растительными образцами на каждой пробной площадке отбирались пробы почвы с глубины 0–20 см. Отбор почвенных проб регламентировался ГОСТ Р 58595-2019 и производился по методу «конверта» с применением почвенного ножа. Каждая объединённая проба состояла из 5 точечных проб (не менее 200 г каждой).

Заготовка растительного сырья выполнялась в соответствии с требованиями ГФ XIV в сухую погоду. Надземные части (трава горца птичьего, полыни горькой, листья подорожника и лопуха) собирали в фазе начала цветения с использованием режущего инструментария. Подземные органы (корни лопуха большого) заготавливали в конце вегетационного периода (сентябрь) с последующей отмыткой от почвенных частиц и механическим измельчением. Сушка осуществлялась естественным путем в условиях теневого проветриваемого помещения [7, 30]. Проба ЛРС для определения остаточных пестицидов выделялась методом квартования из объединенной пробы. Для каждого определения использовали 10,0 г измельченного испытуемого ЛРС.

Исследование образцов проводилось на газовом хроматографе многократно-циклического

действия «Хроматэк-Кристалл-5000». Регистрация и интерпретация хроматографических сигналов выполнялась с использованием программного обеспечения «Хроматэк Аналитик», которое обеспечивало полный цикл работ: от управления параметрами анализа до сбора, обработки и архивирования полученных данных. Количественное определение целевых анализаторов проводилось методом внутреннего стандарта, в роли которого выступали растворы аттестованных стандартных образцов соответствующих пестицидов [7, 31].

Контроль качества обеспечивали с помощью проведения для каждой серии определений холостого опыта, а также контрольного стандарта (каждые 10 проб). Использовали следующие критерии приемлемости: восстановление 80–120%, совпадение времен удерживания $\pm 0,1$ мин, соответствие ионных соотношений $\pm 15\%$. Анализ осуществлялся с тремя параллельными опытами, допускаемые расхождения определения определяли при доверительной вероятности 95%.

Результаты и их обсуждение

На территории обследуемых агроценозов Ростовской области (таблица) содержание остаточных пестицидов в образцах почв и растительного сырья не превышает существующих предельно допустимых количеств [32, 33].

Результаты исследований образцов почв показали отсутствие сим-триазиновых пестицидов в анализируемом материале: содержание атразина, симазина, прометрина составило менее 0,001 мг/кг, что соответствует порогу чувствительности методики. При данном уровне загрязнения пестицидами растениеводческая продукция, выращенная на территории обследованных районов, будет соответствовать требованиям гигиенической безопасности и санитарным нормам.

Исследования качества ЛРС показали аналогичную экологическую безопасность: во всех исследуемых растительных образцах Чертковского и Цимлянского районов содержание сим-триазиновых ядохимикатов не выявлено. Их концентрации лежали ниже предела количественного определения методики.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают экологическую безопасность растениеводческой продукции Ростовской области в отношении сим-триазиновых пестицидов.



Результаты количественного определения в образцах растительного сырья и пробах почв агрогенозов Ростовской области

сим-триазиновых пестицидов, мг/кг

Table. Results of quantitative determination of sim-triazine pesticides in samples of plant raw materials and soil samples of agroecosystems in the Rostov region, mg/kg

Пробная площадка / Test site	Ядохимикат / Pesticide	Почва / Soil	Растительное сырье / Vegetable raw materials				
			Горца птичьего травы / Mountain bird grass	Лопуха большого корни / Big plantain leaves	Лопуха большого листья / Burdock common leaves	Одуванчика лекарственного корни / Dandelion medicine roots	Подорожника большого листья / Big plantain leaves
Черкесский район / Cherkovsky district	Атразин / Atrazine	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Симазин / Simazin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Прометрин / Promethrin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Цимлянский район / Tsimlyansky district	Атразин / Atrazine	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Симазин / Simazin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Прометрин / Promethrin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ПДК [27, 28] / Maximum Allowable Concentrations	Атразин/ Atrazine	0,5 (транслокационный / translocation)	Не нормируется / Not rated				
	Симазин / Simazin	0,2 (транслокационный / translocation)	0,01 (чай / tea), 0,02 (дикорастущие ягоды / wild berries)				
	Прометрин / Promethrin	0,5 (транслокационный / translocation)	0,1 (зерновые культуры / cereals) 0,02 (травы (зелень) / herbs (greens)				

Заключение

Проведены эколого-гигиенические исследования загрязнения ресурсов дикорастущего растительного сырья агроценозов Ростовской области сим-триазиновыми ядохимикатами. На примере одних из наиболее важных агроценозов региона с высоким уровнем химизации в сельском хозяйстве подтверждено экологическое благополучие верхних слоев почв, а также растительных объектов, в отношении загрязнения сим-триазиновыми пестицидами. Полученные результаты создают предпосылки для развития органического растениеводства и сертификации дикорастущего и культивируемого ЛРС как экологически чистого в отношении сим-триазиновых гербицидов.

Для поддержания экологической безопасности необходимо работать над внедрением системы постоянного экологического контроля, разработкой региональных программ по защите почв, созданием банка данных по остаточным пестицидам. Актуальной задачей следует считать внедрение ГИС-технологии для картирования загрязненных территорий и оптимизации заготовок растительной продукции, в частности, ЛРС.

Список литературы

1. Дьякова Н. А. Особенности накопления хлорорганических пестицидов в лекарственном растительном сырье Воронежской области // Ульяновский медицинско-биологический журнал. 2024. № 1. С. 115–129. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-115-129>
2. Дьякова Н. А., Гапонов С. П., Сливкин А. И. Фармацевтическая экология. СПб. : Лань, 2024. 288 с.
3. Дьякова Н. А., Гапонов С. П., Сливкин А. И. Гигиена и экология человека. СПб. : Лань, 2023. 300 с.
4. Гравель И. В., Иванова Е. А. Требования зарубежных фармакопей к качеству лекарственного растительного сырья по содержанию пестицидов // Фармация. 2010. № 7. С. 50–53.
5. Терешкина О. И., Гуськова Т. А., Рудакова И. П., Самылина И. А. Нормирование остаточных пестицидов в растительном сырье и лекарственных растительных препаратах // Фармация. 2011. № 2. С. 3–5.
6. Терешкина О.И. Нормирование остаточных пестицидов в растительном сырье зарубежными фармакопеями // Фармация. 2012. № 1. С. 50–54.
7. Государственная фармакопея Российской Федерации. Изд. XIV. Т. 2. М. : ФЭМБ, 2018. 1423 с.
8. Дьякова Н. А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2022. 264 с.
9. Мельников Н. Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М. : Химия, 1987. 712 с.
10. Лазарев Н. В., Левина Э. Н. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Органические вещества. Л. : Химия, 1976. 592 с.
11. Дьякова Н. А., Самылина И. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П., Кукуева Л. Л., Мындра А. А. Анализ загрязненности лекарственного растительного сырья Воронежской области наиболее опасными пестицидами // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015. № 3. С. 112–115.
12. Тулакин А. В., Механическая М. И., Куролап С. А. Гигиена окружающей и производственной среды предприятий минеральных удобрений. М. : Истоки, 2007. 220 с.
13. Чубирко М. И., Мамчик Н. П., Механическая М. И. Гигиенические проблемы применения пестицидов // Гигиена: прошлое, настоящее, будущее. 2001. № 1. С. 239–240.
14. Делова О. В., Денисенко В. И. Гигиеническая оценка факторов окружающей среды и риска для здоровья населения // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. № 4. С. 810–813.
15. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov> (дата обращения: 06.08.2025).
16. Управление Роспотребнадзора по Ростовской области. URL: <https://61.rosпотребnadzor.ru/> (дата обращения: 26.07.2025).
17. Федеральное государственное бюджетное учреждение государственный центр агрохимической службы «Ростовский». URL: <https://gcas-rostovskiy.orgs.biz/> (дата обращения: 26.07.2025).
18. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2023 году» / под общ. ред. М. В. Фишкина. Ростов н/Д : Принт, 2024. 372 с.
19. Solomon K. R., Carr J. A., Du Preez L. H., Giesy J. P., Kendall R. J., Smith E. E., Van Der Kraak G. J. Effects of atrazine on fish, amphibians, and aquatic reptiles: A critical review // Critical Reviews in Toxicology. 2008. Vol. 38, № 9. P. 721–72. <https://orcid.org/10.1080/10408440802116496>.
20. Hayes T. B., Collins A., Lee M., Mendoza M., Noriega N., Stuart A. A., Vonk A. Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide atrazine at low ecologically relevant doses // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2002. Vol. 99, № 8. P. 5476–80 <https://orcid.org/10.1073/pnas.082121499>
21. Durand G., Barceló D. Comparative metabolism of atrazine and simazine in rats // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1990. № 38. P. 123–145.



22. Ebert E., Rensen H. G. K., Jansen H. J. Metabolism of the herbicide prometryne in plants and soil // *Weed Research*. 1970. Vol. 10, № 2. P. 75–84.
23. DeLorenzo M. E., Scott G. I., Ross P. E. Toxicity of pesticides to aquatic microorganisms: A review // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2001. Vol. 20, № 1. P. 84–98. <https://orcid.org/10.1002/etc.5620200108>.
24. Павлова Ю. А., Дьякова Н. А., Сливкин А. И. Экологическая оценка загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами ресурсов лекарственного растительного сырья Ростовской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2025. № 2. С. 90–98.
25. Pavlova Yu. A., Slivkin A. I., Dyakova N. A., Vervikina A. A. Study of flavonoid accumulation patterns in common yarrow herb of synanthropic flora in Rostov oblast // *Russian Agricultural Sciences*. 2024. Vol. 50, № 4. P. 418–422. <https://orcid.org/10.3103/S1068367424700460>
26. Селиванова Ю. А., Дьякова Н. А., Вервикова А. А., Сливкин А. И. Изучение содержания посторонних минеральных примесей в лекарственном растительном сырье синантропной флоры Ростовской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2022. № 2. С. 90–95.
27. Селиванова Ю. А., Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Вервикова А. А. Исследование общего минерального комплекса лекарственного растительного сырья синантропной флоры Ростовской области // Вестник Смоленской медицинской академии. 2022. Т. 21, № 4. С. 205–210. <https://orcid.org/10.37903/vsgma.2022.4.28>
28. Селиванова Ю. А., Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Вервикова А. А. Изучение особенностей накопления флавоноидов травой тысячелистника обыкновенного синантропной флоры Ростовской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2023. № 3. С. 107–113.
29. Дьякова Н. А. Методические рекомендации по заготовке лекарственного растительного сырья в Воронежской области. Воронеж : Издательский Дом ВГУ, 2022. 160 с.
30. Куркин В. А. Фармакогнозия. Самара : Офорт, 2004. 1180 с.
31. Клисенко М. А. Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде. М. : Колос, 1983. 123 с.
32. СанПин 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. URL: <https://docplan.ru/Data2/1/4293855/4293855259.htm> (дата обращения: 15.08.2025).
33. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 15.08.2025).

References

1. D'yakova N. A. Accumulation of organochlorine pesticides in medicinal plant raw materials of the Voronezh region. *Ulyanovsk Mediko-biological Journal*, 2024, no. 1, pp. 115–129 (in Russian). <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-115-129>
2. D'yakova N. A., Gaponov S. P., Slivkin A. I. *Farmatsevticheskaya ekologiya* [Pharmaceutical ecology]. St. Petersburg, Lan', 2024. 288 p. (in Russian).
3. D'yakova N. A., Gaponov S. P., Slivkin A. I. *Gigiena i ekologiya cheloveka* [Hygiene and human ecology]. St. Petersburg, Lan', 2023. 300 p. (in Russian).
4. Gravel' I. V., Ivanova E. A. Requirements of foreign pharmaceuticals for the quality of medicinal herbal raw materials in terms of the content of pesticides. *Farmacya*, 2010, no. 7, pp. 50–53 (in Russian).
5. Tereshkina O. I., Gus'kova T. A., Rudakova I. P., Samylina I. A. Rationing of residual pesticides in plant raw materials and medicinal herbal preparations. *Farmacya*, 2011, no. 2, pp. 3–5 (in Russian).
6. Tereshkina O. I. Normalization of residual pesticides in raw materials by foreign pharmacopoeias. *Farmacya*, 2012, no. 1, pp. 50–54 (in Russian).
7. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. Izd. XIV. T. 2* [State pharmacopeia of the Russian Federation. Edition XIV. Vol. 2]. Moscow, FEMB, 2018. 1423 p. (in Russian).
8. D'yakova N. A. *Ekologicheskaya otsenka syr'evykh resursov lekarstvennykh rasteniy Voronezhskoy oblasti* [Environmental assessment of raw materials of medicinal plants of the Voronezh region]. Voronezh, Tsifrovaya poligrafija, 2022. 264 p. (in Russian).
9. Mel'nikov N. N. *Pestitsidy. Khimiya, tekhnologiya i primeneniye* [Pesticides. Chemistry, technology and application]. Moscow, Khimiya, 1987. 712 p. (in Russian).
10. Lazarev N. V., Levina E. N. *Vrednyye veshchestva v promyshlennosti. Spravochnik dlya khimikov, inzhenerov i vrachey. Organicheskiye veshchestva* [Harmful substances in industry. A handbook for chemists, engineers and physicians. Organic matter]. Leningrad, Khimiya, 1976. 592 p. (in Russian).
11. D'yakova N. A., Samylina I. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P., Kukueva L. L., Myndra A. A. Analysis of the contamination of medicinal growth raw materials of the Voronezh region with the most dangerous pesticides. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2015, no. 3, pp. 112–115 (in Russian).
12. Tulakin A. V., Mekhant'eva L. E., Kurolap S. A. *Gigiena okruzhayushchey i proizvodstvennoy sredy predpriyatiy mineral'nykh udobreniy* [Environmental and industrial health of mineral fertilizer plants]. Moscow, Istoki, 2007. 220 p. (in Russian).
13. Chubirko M. I., Mamchik N. P., Mekhant'ev L. E. Hygienic problems of pesticide use. *Hygiene: Past, Present, Future*, 2001, no. 1, pp. 239–240 (in Russian).

14. Delova O. V., Denisenko V. I. Hygienic assessment of environmental and public health risk factors. *System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2010, no. 4, pp. 810–813 (in Russian).
15. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov> (accessed October 6, 2021).
16. Office of Rospotrebnadzor in the Rostov region. Available at: <https://61.rosпотребнадзор.ru/> (accessed April 26, 2025) (in Russian).
17. Federal State Budgetary Institution State Center for Agrochemical Service “Rostovskiy”. Available at: <https://gcas-rostovskiy.orgs.biz/> (accessed July 26, 2025) (in Russian).
18. *Ekologicheskiy vestnik Doma “O sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodykh resursov Rostovskoy oblasti v 2023 godu”*. Pod obshch. red. M. V. Fishkina [Fishkin M. V., ed. Ecological Bulletin of the Don “On the State of the Environment and Natural Resources of the Rostov Region in 2023”]. Rostov-on-Don, Print, 2024. 372 p. (in Russian).
19. Solomon K. R., Carr J. A., Du Preez L. H., Giesy J. P., Kendall R. J., Smith E. E., Van Der Kraak G. J. Effects of atrazine on fish, amphibians, and aquatic reptiles: A critical review. *Critical Reviews in Toxicology*, 2008, vol. 38, no. 9, pp. 721–72. <https://doi.org/10.1080/10408440802116496>
20. Hayes T. B., Collins A., Lee M., Mendoza M., Noriega N., Stuart A. A., Vonk A. Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide atrazine at low ecologically relevant doses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, vol. 99, no. 8, pp. 5476–5480. <https://doi.org/10.1073/pnas.082121499>
21. Durand G., Barceló D. Comparative metabolism of atrazine and simazine in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1990, no. 38, pp. 123–145.
22. Ebert E., Rensen H. G. K., Jansen H. J. Metabolism of the herbicide prometryne in plants and soil. *Weed Research*, 1970, vol. 10, no. 2, pp. 75–84.
23. DeLorenzo M. E., Scott G. I., Ross P. E. Toxicity of pesticides to aquatic microorganisms: A review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, vol. 20, no. 1, pp. 84–98. <https://doi.org/10.1002/etc.5620200108>
24. Pavlova Yu. A., D'yakova N. A., Slivkin A. I. Environmental assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination of medicinal plant raw material resources in Rostov region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2025, no. 2, pp. 90–98 (in Russian).
25. Pavlova Yu. A., Slivkin A. I., Dyakova N. A., Vervikina A. A. Study of flavonoid accumulation patterns in common yarrow herb of synanthropic flora in Rostov oblast. *Russian Agricultural Sciences*, 2024, vol. 50, no. 4, pp. 418–422. <https://doi.org/10.3103/S1068367424700460>
26. Selivanova Yu. A., D'yakova N. A., Vervikina A. A., Slivkin A. I. Study of content of foreign mineral impurities in medicinal plant raw materials of synanthropic flora of Rostov region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2022, no. 2, pp. 90–95 (in Russian).
27. Selivanova Yu. A., D'yakova N. A., Slivkin A. I., Vervikina A. A. Study of the general mineral complex of medicinal plant raw materials of synanthropic flora of the Rostov region. *Vestnik of the Smolensk State Medical Academy*, 2022, vol. 21, no. 4, pp. 205–210 (in Russian). <https://doi.org/10.37903/vsgma.2022.4.28>
28. Selivanova Yu. A., D'yakova N. A., Slivkin A. I., Vervikina A. A. Study of the peculiarities of the accumulation of flavonoids by yarrow grass of the ordinary synanthropic flora of the Rostov region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2023, no. 3, pp. 107–113 (in Russian).
29. D'yakova N. A. *Metodicheskiye rekomendatsii po zagotovke lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya v Voronezhskoy oblasti* [Methodological recommendations on the preparation of medicinal plant raw materials in the Voronezh region]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 2022. 160 p. (in Russian).
30. Kurkin V. A. *Farmakognoziya* [Medicinal plants]. Samara, Ofort, 2004. 1180 p. (in Russian).
31. Klisenko M. A. *Metody opredeleniya mikrokolichestv pestitsidov v produktakh pitaniya, kormakh i vneshney srede* [Methods for determining pesticide microcosts in food, feed and environment]. Moscow, Kolos, 1983. 123 p. (in Russian).
32. SanPiN 1.2.3685-21 *Hygienic Regulations and Requirements for Human Safety and/or Harmlessness of Habitat Factors*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed April 15, 2021) (in Russian).
33. SanPin 2.3.2.1078-01 *Hygienic Requirements for Food Safety and Nutritional Value*. Available at: <https://docplan.ru/Data2/1/4293855/4293855259.htm> (accessed August 15, 2025) (in Russian).

Поступила в редакцию 01.09.2025; одобрена после рецензирования 13.10.2025; принята к публикации 15.10.2025
The article was submitted 01.09.2025; approved after reviewing 13.10.2025; accepted for publication 15.10.2025

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 463–468

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 463–468

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-463-468>, EDN: XBAXMB

Научная статья

УДК 582.572.22+581.92+58.009

Изменчивость формы отгиба листочка околоцветника у некоторых видов *Colchicum* s.l. Российской Федерации



В. С. Епифанов, А. О. Кондратьева, М. Ю. Касаткин, А. С. Кашин 

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

Епифанов Владимир Сергеевич, ведущий биолог отдела биологии и экологии растений УНЦ «Ботанический сад» СГУ, аспирант биологического факультета, epifanov.v2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5229-8151>

Кондратьева Анна Олеговна, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярной биологии и цитогенетики УНЦ «Ботанический сад» СГУ, popova.ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>

Касаткин Михаил Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, kasatkin.my@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1746-850X>

Кашин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор кафедры генетики, kashinas2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>

Аннотация. Целью данной работы было выявление степени изменчивости формы отгиба листочка околоцветника у представителей шести видов рода *Colchicum* s.l.: *C. laetum* L., *C. ancyrense* B. L. Burtt, *C. bulbocodium* var. *versicolor* (Ker Gawl.) K. Perss, *C. umbrosum* Steven, *C. trigynum* (Steven ex Adam) Stearn, *C. eichleri* (Regel) K. Perss. В каждой из 53 популяций, расположенных на территории Российской Федерации, исследовали по 30 растений. Анализ разнообразия формы отгиба листочка околоцветника проводили методом геометрической морфометрии. Анализ главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) показал, что наибольшей амплитудой изменчивости как на внутри-, так и на межвидовом уровне характеризовались виды *C. laetum* и *C. bulbocodium* var. *versicolor*, ранее относимые к разным родам. Остальные виды отличались меньшим диапазоном изменчивости. У образцов *C. eichleri* и *C. trigynum*, выделяемых ранее в отдельный род *Merendera*, отгибы листочков околоцветника имели сходную форму, что указывает на обоснованность объединения их в один вид, с приоритетным названием *C. trigynum*. В целом полученные данные служат дополнительным аргументом в пользу справедливости объединения *Colchicum*, *Bulbocodium* и *Merendera* в один род *Colchicum* s.l.

Ключевые слова: геометрическая морфометрия, морфологическая изменчивость, форма отгиба листочка околоцветника, *Colchicum*

Для цитирования: Епифанов В. С., Кондратьева А. О., Касаткин М. Ю., Кашин А. С. Изменчивость формы отгиба листочка околоцветника у некоторых видов *Colchicum* s.l. Российской Федерации // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 463–468. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-463-468>, EDN: XBAXMB

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

Article

Variability of tepal's bend shape in some *Colchicum* s.l. species of European Russia

V. S. Epifanov, A. O. Kondratieva, M. Yu. Kasatkin, A. S. Kashin 

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

Vladimir S. Epifanov, epifanov.v2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5229-8151>

Anna O. Kondratieva, popova.ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>

Mikhail Yu. Kasatkin, kasatkin.my@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1746-850X>

Aleksandr S. Kashin, kashinas2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>

Abstract. The aim of this work was to identify the degree of tepal bend shape variation in representatives of six *Colchicum* s.l. species: *C. laetum* L., *C. ancyrense* B. L. Burtt, *C. bulbocodium* var. *versicolor* (Ker Gawl.) K. Perss, *C. umbrosum* Steven, *C. trigynum* (Steven ex Adam) Stearn, *C. eichleri* (Regel) K. Perss. In each of the 53 populations located in the territory of European Russia, 30 plants were studied. The analysis of tepal bend shape variation was carried out using the geometric morphometry method. Principal Component Analysis (PCA) showed that *C. laetum* and *C. bulbocodium* var. *versicolor*, previously attributed to different genera, has the highest level of variation at the intra- and interspecific levels. The other species were characterized by a smaller range of variation. In the specimens of *C. eichleri* and *C. trigynum*, previously allocated to a separate genus *Merendera*, the tepals had a similar shape, which indicates the validity of combining them into one species with the priority name *C. trigynum*. In general, the obtained results serve as an additional argument in favour of combining *Colchicum*, *Bulbocodium* and *Merendera* into one genus *Colchicum* s.l.

Keywords: geometric morphometry, morphological variability, tepal bend shape, *Colchicum*



For citation: Epifanov V. S., Kondratieva A. O., Kasatkin M. Yu., Kashin A. S. Variability of tepal's bend shape in some *Colchicum* s.l. species of European Russia. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 463–468 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-463-468>, EDN: XBAXMB

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

Введение

Представления о таксономической структуре рода *Colchicum* до настоящего времени остаются далёкими от однозначного понимания. Особенно это касается близкородственных таксонов *Colchicum*, *Merendera*, *Bulbocodium* и *Androcymbium* [1]. Одни авторы относят все виды этих таксонов к одному роду *Colchicum* *sensu lato*, другие понимают их как самостоятельные рода. В зависимости от той или иной точки зрения род *Colchicum* включает от 80 до 160 видов [2].

Безвременник относится к одному из древнейших лекарственных растений. Виды рода содержат алкалоид колхицин, ингибирующий образование веретена деления и применяемый в современной медицине, например, при лечении заболеваний суставов, подагры, аутоиммунных воспалительных заболеваний [3].

Местами произрастания *Colchicum* являются равнины и горы, степи, кустарниковые средиземноморские формации, леса, луга. Представители рода встречаются в Средиземноморье, Азии, на Кавказе, в Западной Европе и южных районах европейской части бывшего СССР [4].

В работе предпринята попытка выявления основных направлений межвидовой изменчивости формы отгиба листочка околоцветника у шести видов *Colchicum* s. l. Европейской России с использованием метода геометрической морфометрии [5]. При этом в анализ взяты образцы трёх видов *Colchicum*, традиционно относимых к этому роду в понимании s. str. (*C. laetum*, *C. ancyrense*, *C. umbrosum*), и три вида – включённые в этот род в понимании s. l., а до этого понимаемые в качестве представителей самостоятельных родов *Bulbocodium* (*C. bulbocodium* var. *versicolor*) и *Merendera* (*C. trigynum*, *C. eichleri*).

Материалы и методы

Сбор материала проводился в 2021–2024 гг. в 4 популяциях *C. ancyrense* Крымского полуострова; 17 популяциях *C. laetum* из Волгоградской и Ростовской обл., Республики Калмыкия и Ставропольского края; 16 популя-

циях *C. bulbocodium* var. *versicolor* из Воронежской, Волгоградской, Саратовской и Тамбовской обл.; 14 популяциях *C. trigynum* и *C. eichleri* из Р. Карачаево-Черкесия, Р. Кабардино-Балкария, Р. Дагестан и Ставропольского края; 2 популяциях *C. umbrosum* из Р. Адыгея и Краснодарского края (рис. 1).

С целью поддержания единообразия в оценке учитывались растения генеративного онтогенетического состояния [6]. В каждой популяции отгибы листочеков околоцветника отбирались у 30 растений. Если в популяции количество генеративных особей было меньше 30, анализировалось имеющееся количество растений. Затем проводилась фотосъёмка отгибов листочеков околоцветника при одинаковом увеличении на белом фоне с масштабной линейкой. На полученных изображениях с помощью программного обеспечения «tpsUtil» и «tpsDig2» [7] размещались 3 фиксированные метки, а также 2 контура. Контуры состояли из пятидесяти равноудаленных друг от друга полуметок.

Для выявления основных направлений изменчивости использовали метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) в программе «MorphoJ» [8–10]. Также были получены схемы-каркасы, дающие представление о средних формах отгибов листочеков околоцветника в видовых выборках.

Результаты и их обсуждение

Максимальные отличия по средней форме отгибов листочеков околоцветника наблюдались между образцами *C. Trigynum*, с одной стороны, и *C. ancyrense* – с другой. Они заметно отличаются как между собой, так и от средней формы по генеральной совокупности (рис. 2). Различия, прежде всего, касались средней части и основания отгиба листочка околоцветника. Средние формы отгиба листочка околоцветника *C. bulbocodium* var. *versicolor* и *C. eichleri* оказались максимально сходными между собой и со средней формой по генеральной совокупности. Большое сходство средней формы отгиба листочка околоцветника у образцов этих двух таксонов наряду с большим отличием по

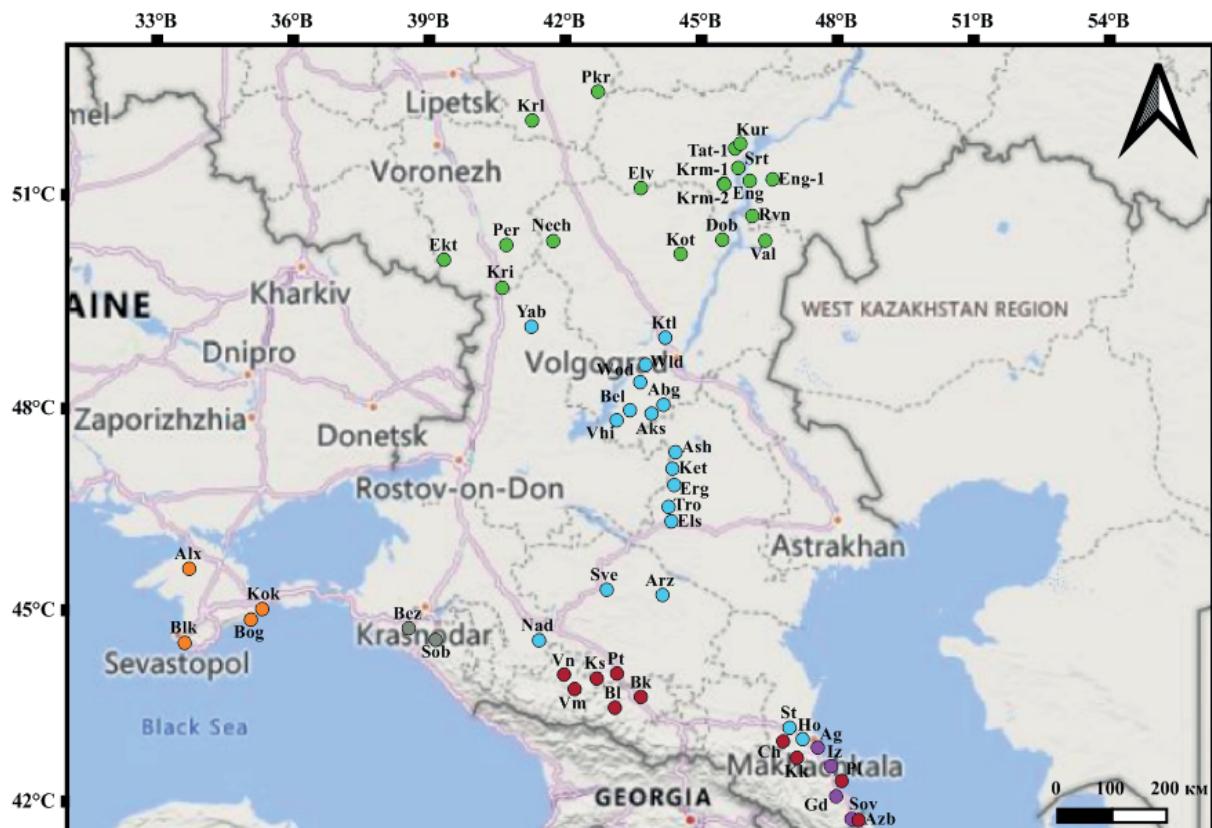


Рис. 1. Места произрастания изученных популяций *C. laetum* (точки, обозначенные голубым цветом); *C. ancyrense* (точки, обозначенные оранжевым цветом); *C. bulbocodium* var. *versicolor* (точки, обозначенные зелёным цветом); *C. trigynum* (точки, обозначенные бордовым цветом); *C. eichleri* (точки, обозначенные фиолетовым цветом); *C. umbrosum* (точки, обозначенные серым цветом) (цвет онлайн)

Fig. 1. The habitats of the studied populations of *C. laetum* (points designated in blue); *C. ancyrense* (points designated in orange); *C. bulbocodium* var. *versicolor* (points designated in green); *C. trigynum* (points designated in burgundy); *C. eichleri* (points designated in purple); *C. umbrosum* (points designated in gray) (colour online)

этому параметру между образцами *C. eichleri* и *C. trigynum* явилось неожиданностью, так как последние два вида, относимые ранее к роду *Merendera*, a priory должны были быть гораздо ближе друг к другу, чем к образцам *C. bulbocodium* var. *versicolor*. Ещё одной неожиданностью при сравнении средних форм отгибов листочка околоцветника было то, что средние формы отгибов *C. trigynum* и *C. umbrosum* оказались практически идентичными и довольно существенно отличались от этого параметра у образцов *C. eichleri*, будучи гораздо более узкими, чем у образцов последнего таксона.

В результате проведенного анализа установлено, что первые две главные компоненты объясняют 96.62% вариации формы (рис. 3). В области ординации образцы всех исследованных таксонов образуют одно общее облако рассеяния точек. Первая главная компонента

объясняет большую часть общей вариации (91%) и демонстрирует изменение формы отгиба листочка околоцветника от овальной до продолговатой. По второй главной компоненте больше отражаются изменения в нижней части отгиба листочеков околоцветника – от узкой до более широкой (рис. 3).

Облака рассеяния *C. bulbocodium* var. *versicolor* и *C. laetum* сильно вытянуты вдоль первой главной компоненты, что указывает на наличие высокой степени изменчивости образцов данных видов по форме отгиба листочка околоцветника. В левой части области ординации относительно компактно расположились точки, соответствующие образцам *C. ancyrense*, т.е. особи данного вида в большинстве своем имеют более широкие, овальные отгибы листочка околоцветника и хорошо отделяются от образцов *C. eichleri*, *C. trigynum* и *C. umbrosum*.

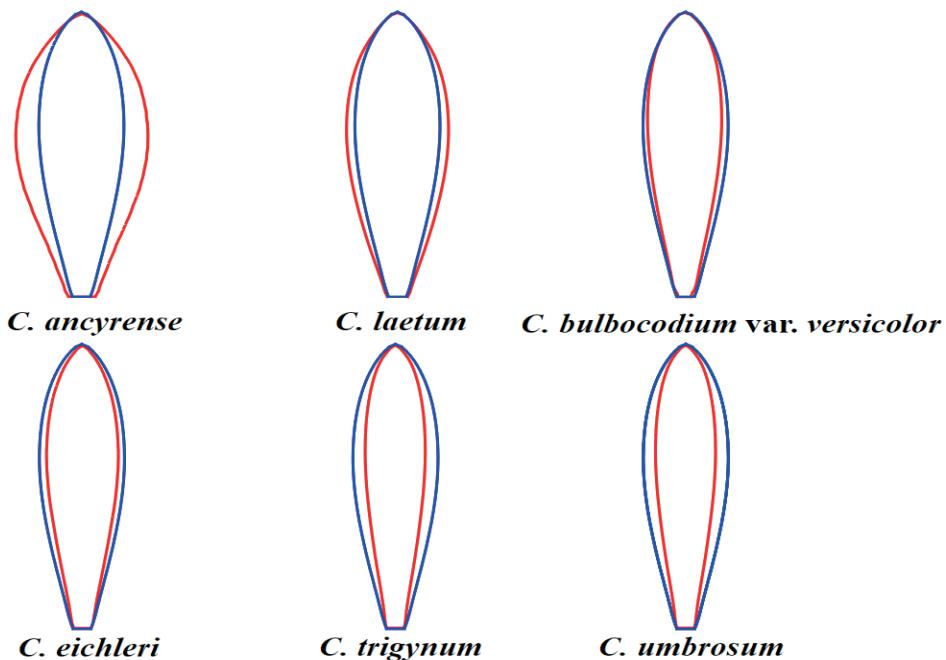


Рис. 2. Сравнение средних форм отгибов листочеков околоцветника шести видов рода *Colchicum* s.l. (красный контур) со средней формой по генеральной совокупности (синий контур) (цвет онлайн)

Fig. 2. Comparison of the average shapes of tepal's bend of six *Colchicum* s.l. species (red outline) with the average shape for general population (blue outline) (colour online)

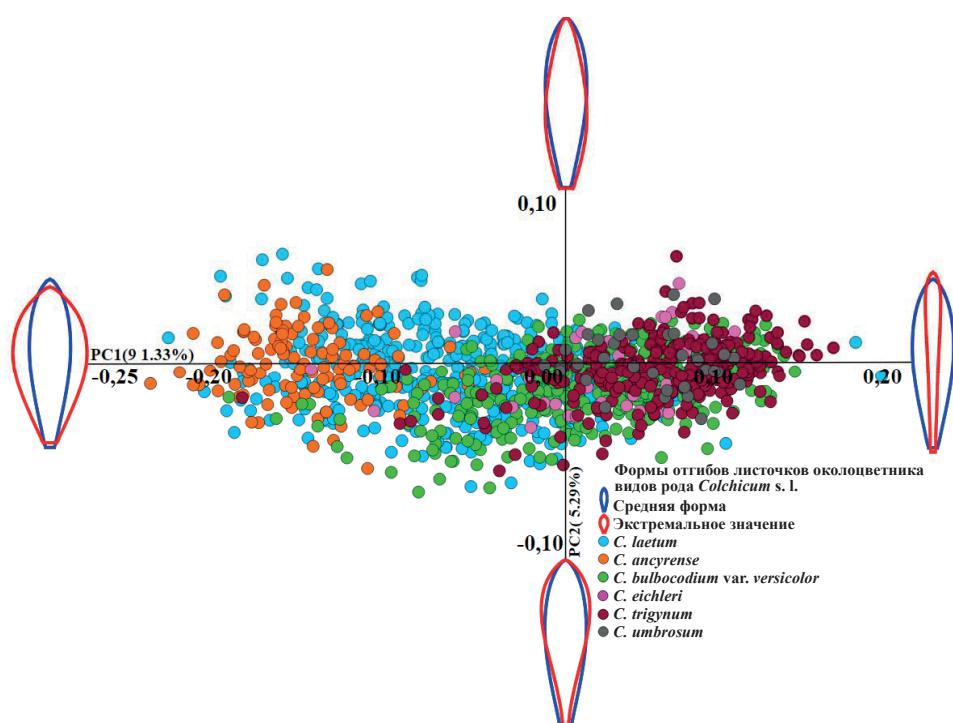


Рис. 3. Изменчивость формы отгиба листочка околоцветника у представителей шести видов *Colchicum* s. l. в пространстве первых двух главных компонент. Условные обозначения см. рис. 1 (цвет онлайн)

Fig. 3. Variability of tepal's bend shape in six *Colchicum* s. l. species in the space of the first two Principal Components. Symbols for samples see Fig. 1 (colour online)

Облака рассеяния точек, соответствующих образцам последних трёх видов, напротив, расположились в основном в области положительных значений первой главной компоненты и большей частью пересекаются. Растения данных видов имеют более узкую, продолговатую форму отгиба листочка околоцветника. Для образцов *C. eichleri* и *C. trigynum* это было ожидаемо, так как они являются близкородственными, произрастают в симпатрических популяциях и, скорее всего, представляют собой разновидности одного вида с приоритетным названием *C. trigynum*. Близость этого параметра у образцов этих таксонов с образцами *C. umbrosum*, возможно, объясняется близостью условий их произрастания в предгорьях Северного Кавказа, с одной стороны, и Северо-Западного Кавказа – с другой.

Заключение

По результатам исследования межвидового полиморфизма *Colchicum* s. l. методами геометрической морфометрии установлено, что *C. bulbocodium* var. *versicolor* и *C. laetum* отличаются наибольшим разнообразием форм отгибов листочка околоцветника. Вероятно, это связано с тем, что популяции этих видов охватывают большую часть исследованного фрагмента ареала с большим разнообразием условий произрастания. При этом очевидно, что форма отгиба листочеков околоцветника для этих видов не является надежным диагностическим признаком для их разделения. Остальные виды оказались менее вариабельны по исследуемому признаку, что несколько повышает его диагностическую ценность при отделении, например, *C. ancyrense* от других «южных» видов: *C. eichleri*, *C. trigynum* и *C. umbrosum*. Однако последние три вида фактически не различимы как между собой, так и с более вариабельными видами *C. bulbocodium* var. *versicolor* и *C. laetum*. В целом полученные данные служат дополнительным аргументом в пользу справедливости объединения *Colchicum*, *Bulbocodium* и *Merendera* в один род с приоритетным названием *Colchicum*.

Список литературы

1. Vinnersten A., Manning Jo. A new classification of Colchicaceae // Taxon. 2007, vol. 56, pp. 171–178.
2. Оганезова Г. Г. Проблемы рода *Colchicum* L. *Colchicum* sensu lato или *Colchicum* sensu stricto в

свете категорий прерывности и непрерывности. Ереван : НАН РА, Институт ботаники им. А. Тахтаджяна, 2019. 176 с.

3. Кароматов И. Д., Сайдова М. С. Безвременник Кессельринга, Безвременник жёлтый // Биология и интегративная медицина. 2021. № 3 (50). С. 87–100.
4. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. М. : Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды, 2024. 944 с.
5. Васильев А. Г., Васильева И. А., Шкурихин А. О. Геометрическая морфометрия: от теории к практике. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2018. 471 с.
6. Sharma S. K., Pandit M. K. A morphometric analysis and taxonomic study of *Panax bipinnatifidus* Seem. (Araliaceae) species complex from Sikkim Himalaya, India // Plant Syst. Evol. 2011. Vol. 297. P. 87–98. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0501-8>
7. Rohlf F. J. The tps series of software // *Hystrix*. 2015. Vol. 26, № 1. P. 9–12. <https://doi.org/10.4404/hystrix-26.1-11264>
8. Кашин А. С., Богослов А. В., Пархоменко А. С., Шилова И. В., Крицкая Т. А., Муртазалиев Р. А. Геометрическая морфометрия и филогенетический анализ таксонов рода *Delphinium* юга России // *Turczaninowia*. 2023. № 2. С. 59–81. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.26.2.4>
9. Kondratieva A. O., Parkhomenko A. S., Kritskaya T. A., Shilova I. V., Kasatkin M. Ju., Efimenko S. F., Kashin A. S. Variation patterns in populations of Eastern European *Globularia* (Plantaginaceae, Magnoliopsida) species due to habitat conditions // *Biology Bulletin*. 2024. Vol. 51, № 10. P. 3337–3352. <https://doi.org/10.1134/S1062359024980061>
10. Klingenberg C. P. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics // Mol. Ecol. Resour. 2011. Vol. 11, № 2. P. 353–357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>

References

1. Vinnersten A., Manning Jo. A new classification of Colchicaceae. *Taxon*, 2007, vol. 56, pp. 171–178.
2. Oganezova G. G. Problemy roda *Colchicum* L. *Colchicum* sensu lato ili *Colchicum* sensu stricto v svete kategorii preryvnosti i nepreryvnosti [Problems of the genus *Colchicum* L. *Colchicum* sensu lato or *Colchicum* sensu stricto in the light of the categories of discontinuity and continuity]. Ереван, NAN RA, Takhtajyan Institute of Botany Publ., 2019. 176 p. (in Russian).
3. Karomotov I. D., Saidova M. S. Colchicum Kessleringi, *Colchicum* luteum. *Biology and Integrative Medicine*, 2021, no. 3 (50), pp. 87–100 (in Russian).
4. Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii. Rasteniya i gribi [The Red Book of the Russian Federation. Plants and fungi]. Moscow, All-Russian Research Institute for Environmental Protection Publ., 2024. 944 p. (in Russian).



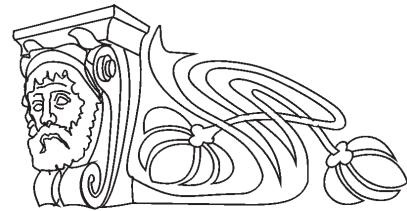
5. Vasil'ev A. G., Vasil'eva I. A., Shkurikhin A. O. *Geometricheskaiia morfometriia: ot teorii k praktike* [Geometric morphometry: From theory to practice]. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2018. 471 p. (in Russian).
6. Sharma S. K., Pandit M. K. A morphometric analysis and taxonomic study of *Panax bipinnatifidus* Seem. (Araliaceae) species complex from Sikkim Himalaya, India. *Plant Syst. Evol.*, 2011, vol. 297, pp. 87–98. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0501-8>
7. Rohlf F. J. The tps series of software. *Hystrix*, 2015, vol. 26, no. 1, pp. 9–12. <https://doi.org/10.4404/hystrix-26.1-11264>
8. Kashin A. S., Bogoslov A. V., Parkhomenko A. S., Shilova I. V., Kritskaia T. A., Murtazaliev R. A. Geo-metric morphometry and phylogenetic analysis of the taxa of the genus *Delphinium* in southern Russia. *Turczaninowia*, 2023, no. 2, pp. 59–81 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/J.26.2.4>
9. Kondratieva A. O., Parkhomenko A. S., Kritskaya T. A., Shilova I. V., Kasatkin M. Ju., Efimenko S. F., Kashin A. S. Variation patterns in populations of Eastern European *Globularia* (Plantaginaceae, Magnoliopsida) species due to habitat conditions. *Biology Bulletin*, 2024, vol. 51, no. 10, pp. 3337–3352. <https://doi.org/10.1134/S1062359024980061>
10. Klingenberg C. P. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Mol. Ecol. Resour.*, 2011, vol. 11, no. 2, pp. 353–357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>

Поступила в редакцию 24.05.2025; одобрена после рецензирования 24.06.2025; принята к публикации 30.06.2025
The article was submitted 24.05.2025; approved after reviewing 24.06.2025; accepted for publication 30.06.2025

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 469–476
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 469–476
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-469-476>, EDN: YWWZVI

Научная статья
УДК 591.545:598.288

Итоги исследований осеннего пролёта птиц семейства дроздовые (Turdidae) в долине реки Паз заповедника «Пасвик»



Д. С. Смолякова¹, Е. Ю. Мельников¹✉, Е. А. Слесарева¹, 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, 184404, Мурманская область, пгт Никель, п. Раякоски

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

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

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

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

Аннотация. В работе представлены результаты семилетнего исследования (2018–2024 гг.) миграции дроздовых птиц в условиях окончания полярного дня на полевом стационаре «Остров Варлама» в заповеднике «Пасвик» (Мурманская область). Отловы проводились в июле–сентябре с помощью паутинных сетей в утренние часы или же круглосуточно (в 2024 г.) с использованием акустических колонок для подманивания мигрирующих особей. Анализировалась встречаемость видов в отловах и зависимость интенсивности пролёта птиц от времени в предрассветные и послерассветные часы. За этот период было отловлено 618 птиц, относящихся к 7 видам. Анализ данных показал, что миграционная активность дроздовых достигает пика в конце августа – начале сентября. Рассчитанные значения критерия хи-квадрат: 351,8 ($p < 0,001$) для воронки, 41,0 ($p < 0,001$) для горихвостки и 36,4 ($p < 0,001$) для белобровика подтверждают высокую достоверность этих пиков. Для певчего дрозда пики не показали статистически значимых различий (14,6, $p = 0,12$). Исследование выявило, что воронка и горихвостка проявляют склонность к миграции в период после рассвета. Коэффициенты корреляции $K_s = 0,85$ ($p < 0,05$) и $K_s = 0,79$ ($p < 0,05$) соответственно. Вероятно, эти виды менее зависимы от темной фазы ночи, что позволяет им мигрировать практически в любое время суток. В отличие от них, певчий дрозд и белобровик более строго следуют ночной миграции, но в условиях короткой ночи их циркадные ритмы нарушаются, что заставляет их адаптироваться к альтернативным методам навигации, не полагаясь на звёздную систему компаса.

Ключевые слова: заповедник «Пасвик», остров Варлама, дроздовые, осенняя миграция, кольцевание

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: Смолякова Д. С., Мельников Е. Ю., Слесарева Е. А., Поликарпова Н. В. Итоги исследований осеннего пролёта птиц семейства дроздовые (Turdidae) в долине реки Паз заповедника «Пасвик» // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 469–476. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-469-476>, EDN: YWWZVI

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

Article

The results of studies of the autumn flight of birds of the thrush family (Turdidae) in the valley of the Paz River of the Pasvik Nature Reserve

D. S. Smolyakova¹, E. Yu. Mel'nikov¹✉, E. A. Slesareva¹, N. V. Polikarpova²

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

²Pasvik State Nature Reserve, Rayakoski village, Murmansk region 184404, Nikel urban settlement, Russia

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

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

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

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

Abstract. This study presents the results of a seven-year investigation (2018–2024) into the migration patterns of thrushes (family Turdidae) under the conditions of the polar day's termination at the «Varlam Island Station» in the Pasvik Nature Reserve (Murmansk Region). Birds were captured from July to September using ornithological nets, deployed either during morning hours or, in 2024, around the clock with the aid of acoustic lures to attract migrating individuals. We analyzed species occurrence in captures and the relationship between migration intensity and time in pre-dawn and post-dawn periods. A total of 618 birds representing seven species were captured and ringed during the study. Data analysis revealed that migratory activity of thrushes peaked in late August to early September. Chi-square values confirmed the statistical significance of these peaks: 351.8 ($p < 0.001$) for the Bluethroat (*Luscinia svecica*), 41.0 ($p < 0.001$) for the Common Redstart (*Phoenicurus phoenicurus*), and 36.4 ($p < 0.001$) for the Redwing (*Turdus iliacus*). In contrast, the Song Thrush (*Turdus philomelos*) showed no statistically significant peak ($\chi^2 = 14.6, p = 0.12$). The study demonstrated that Bluethroats and Redstarts exhibited a propensity for post-dawn migration, supported by correlation coefficients of $K_s = 0.85$ ($p < 0.05$) and $K_s = 0.79$ ($p < 0.05$), respectively. This suggests these species are less dependent on the dark phase of the night, enabling migration throughout the diurnal cycle. Conversely, Song Thrushes and Redwings adhered more strictly to nocturnal migration, though their circadian rhythms appeared disrupted under the short-night conditions of the study period. This likely necessitates adaptation to alternative navigation mechanisms, potentially independent of celestial compass systems.

Keywords: Pasvik Nature Reserve, Varlama Island, thrushes, autumn migration, banding

Funding. The work 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 Pechengsky District, with the support of JSC Kola Mining and Metallurgical Company JSC.

For citation: Smolyakova D. S., Mel'nikov E. Yu., Slesareva E. A., Polikarpova N. V. The results of studies of the autumn flight of birds of the thrush family (Turdidae) in the valley of the Paz River of the Pasvik Nature Reserve. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 469–476 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-469-476>, EDN: YWWZVI

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

Введение

Одними из наиболее актуальных исследований в современной орнитологии продолжают оставаться работы по разным аспектам миграций. Это даёт возможность углубленного анализа путей перемещения, адаптационных стратегий и межвидовых взаимодействий птиц. Изучение экологии представителей разных семейств на миграционных остановках становится всё более активным в последние годы [1], но сам процесс пролёта до сих пор изучен недостаточно [2]. Часто наилучшие результаты исследований достигаются на полевых стационарах, созданных на базе особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Эти стационары предоставляют уникальные условия для наблюдений и отлова птиц, что помогает добиться более глубокого понимания миграционных процессов [3].

Заповедник «Пасвик» – один из самых северных заповедников России, обладающий множеством уникальных особенностей. Он расположен в Печенгском районе Мурманской области, за пределами инженерно-технических сооружений государственной границы с Норвегией и Финляндией, что минимизирует антропогенное давление на местную фауну. С 2016 г. на его территории функционирует полевой стационар «Остров Варлама», который находится на правом берегу р. Паз. Река берёт своё начало от озера Инари в Финляндии, протекает в России и впадает в Баренцево море

в Норвегии. Её долина является важным миграционным коридором для птиц в весенние и осенние сезоны [4].

Дроздовые среди многих других воробынных выделяются ночным характером пролёта, широкой адаптивностью и глобальным распространением, что делает их ценным объектом научных исследований. В северных широтах, где имеет место полярный день, пролёточных мигрантов не был глубоко изучен, поэтому наблюдение за миграционными процессами на северном стационаре приобретает особую значимость [4]. Данное направление исследования способствует расширению знаний о функциональных аспектах пролёта птиц в полярных регионах и выявлению ключевых факторов, обусловливающих успешное прохождение миграционных маршрутов.

Материалы и методы

Сбор научного материала производился на территории заповедника «Пасвик» на стационаре «Остров Варлама» ($N 69^{\circ} 08' E 29^{\circ} 15'$) ежегодно с 2018 по 2024 г. в период с июля по сентябрь. Выбор этого периода для кольцевания обусловлен этапами жизненного цикла воробынных, охватывающими период от начала расселения молодняка до завершения осенней миграции [4, 5]. Птицы отлавливались при помощи шести паутинных сетей, установленных на постоянных участках в основных биотопах острова: на луговине, в пойменном ивняке и



между кустарниками за лугом. Сети поднимались в 3 ч утра и сворачивались около 15 ч дня. При неблагоприятных погодных условиях, таких как дождь или сильный ветер, отловы не проводились [3]. Интенсивность пролёта и пики активности птиц на миграции оценивались по результатам кольцевания. Следует отметить, что для более точной оценки стоит также учитывать относительное количество птиц на пролёте с использованием ночного акустического мониторинга и данных электронно-оптических систем регистрации пролетающих птиц, однако в данном исследовании эти методы не применялись.

В 2024 г. был впервые опробован метод круглосуточных отловов, позволяющий исследовать степень привязанности ночных мигрантов к тёмной фазе ночи. При дальнейшей обработке материала дневной цикл был разбит на получасовые отрезки. Для каждой окольцованной птицы было вычислено время её поимки относительно восхода солнца. Это осуществлялось путём вычитания времени рассвета ежедневно из времени поимки каждой птицы. Введенная метрика отражает промежуток времени до восхода солнца или после него, когда была поймана каждая особь. На этой основе были составлены и проанализированы графики суточной активности дроздовых [6]. Нами анализировались данные по молодым птицам в связи с тем, что случаи поимки взрослых особей, как правило, носили единичный характер.

Ежедневно около паутинных сетей для повышения результативности отловов устанавливались акустические колонки, проигрывающие записи голосов птиц и подключённые к внешним аккумуляторам [7]. Применение звуковых приманок обеспечивает возможность произвольного выбора видового состава птиц для целенаправленного привлечения определенных видов к зоне отлова, поскольку видовая песня способна привлекать особей во время их миграции [8].

Пойманные птицы метились алюминиевыми кольцами разных серий и размеров [9] и подвергались прижизненному описанию. При этом фиксировались вид, стадия линьки, количество накопленного жира, а также при возможности – пол, возраст, число особей и направление перемещения по методике Н. В. Виноградовой [10]. Таксономические на-

звания видов указаны по сводке Е. А. Коблика (2014) [11]. Обработка полученных результатов осуществлялась в программе Statistica 10: были рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена и критерии хи-квадрат [12].

Результаты и их обсуждение

За время проведённых работ отловлено и окольцовано 618 птиц 7 видов дроздовых: варакушка (*Luscinia svecica*), обыкновенная горихвостка (*Phoenicurus phoenicurus*), белобровик (*Turdus iliacus*), певчий дрозд (*T. philomelos*), рябинник (*T. pilaris*), луговой чекан (*Saxicola rubetra*), синехвостка (*Tarsiger cyanurus*). Последние три вида не учитывались в исследовании ввиду единичности в отловах. Луговой чекан и синехвостка – редкие, возможно, гнездящиеся виды [13], за весь период работ было поймано лишь по две особи. Рябинник – обычный гнездящийся вид [14] – отлавливался трижды за 7 лет исследований. Варакушка и певчий дрозд также являются на территории заповедника малочисленными гнездящимися видами, а горихвостка и белобровик – обычными [15].

Миграционная активность различных видов птиц варьировала. Эта динамика отражена в виде графиков на рис. 1 и 2.

По результатам отловов интенсивность пролёта начинала увеличиваться в начале августа (30.07 – 03.08) и резко заканчивалась в конце августа – начале сентября (29.08 – 02.09). Певчий дрозд не демонстрировал выраженных пиков в своей пролётной активности, что подтверждается отсутствием достоверности при расчёте критерия хи-квадрат ($14,6, p = 0,12$). Незначительное повышение встречаемости в отловах у данного вида отмечено в период с 4 по 8 августа. В этот же временной промежуток наблюдались первые миграционные максимумы у варакушки и белобровика. У горихвостки первый и единственный пик активности приходился на следующую пятидневку (9–13 августа), после чего её частота встреч волнообразно убывала. В течение двух пентад, с 24 августа по 2 сентября, варакушка и белобровик демонстрировали наибольшую частоту встреч в отловах. Поимки взрослых особей варакушки приходились в основной период миграции с 24 августа по 3 сентября. В отличие от этого, у остальных видов встречаемость взрос-

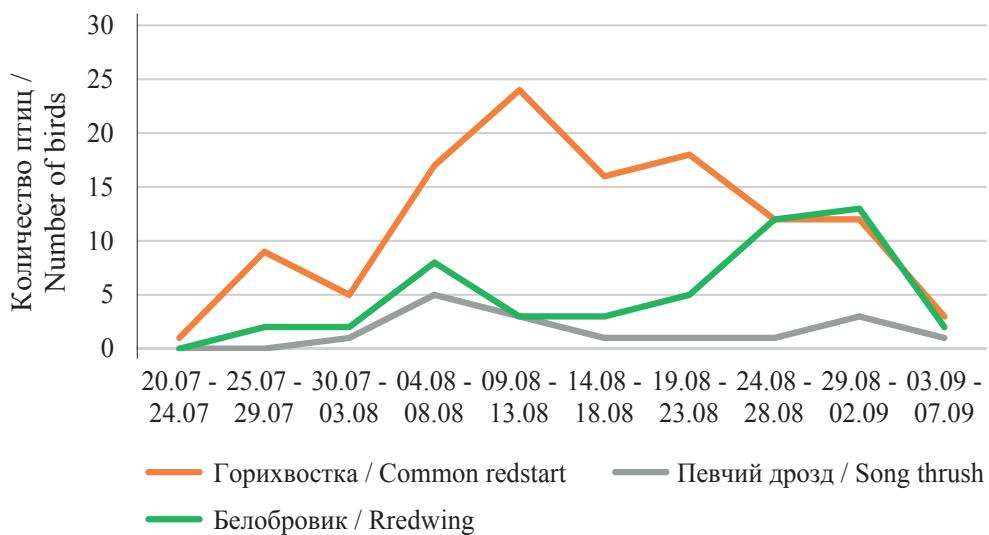


Рис. 1. Динамика осенней миграционной активности трёх видов, выраженная в их суммарной встречаемости в отловах по пентадам (цвет онлайн)

Fig. 1. The dynamics of the autumn migration activity of the three species, expressed in their total occurrence in catches by pentads (colour online)

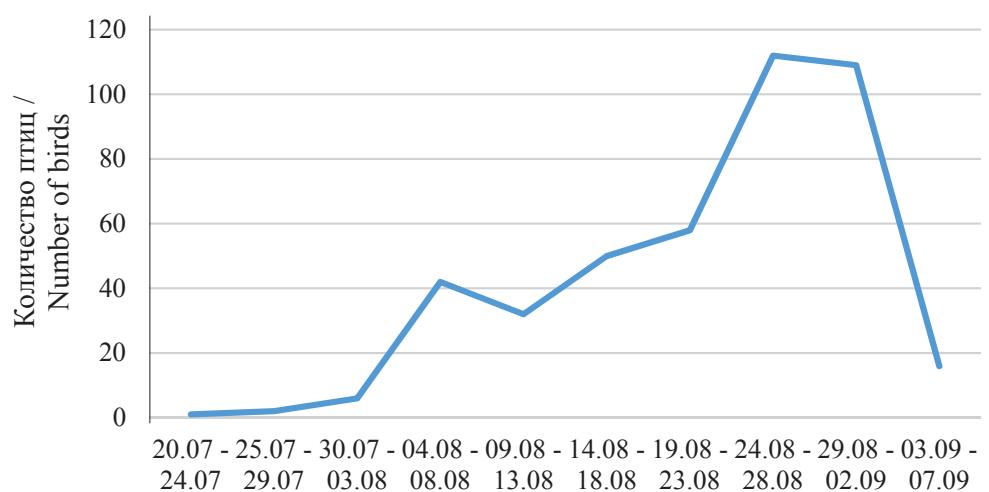


Рис. 2. Динамика осенней миграционной активности варакушки, выраженная в суммарной встречаемости в отловах по пентадам

Fig. 2. The dynamics of the autumn migration activity of bluethroat, expressed in the total occurrence in catches by pentads

лых птиц оставалась довольно равномерной на протяжении всего исследуемого периода, начиная с начала августа, без явных акцентуаций по пятидневкам. Достоверность пиков и отличий в количестве пойманных по пентадам птиц подтверждается значениями критерия хи-квадрат: 351,8 ($p < 0,001$), 41,0 ($p < 0,001$), 36,4 ($p < 0,001$) для варакушки, горихвостки и белобровика соответственно.

Изменения в интенсивности пролёта этих видов объясняются комплексом факторов.

Так, в период 25–29 июня завершается полярный день и начинает увеличиваться тёменная фаза ночи, что актуально для дроздовых, относящихся к видам со смешанным ритмом миграционной активности [16]. Однако начало и сам процесс пролёта обусловлены отнюдь не только изменением фотопериода, но и эндогенными процессами: в формировании волн миграции птиц участвуют жиронакопление и расход энергии [17]. Для варакушки и горихвостки фактором, влияющим на увеличение



встречаемости, выступает снижение температуры. В конце третьей декады августа (26–29 числа) на острове наблюдаются похолодания с дождевыми осадками и первые заморозки [18], вызывающие уменьшение количества насекомых и обусловливающие перемещение птиц в более южные районы.

По сравнению с другими, находящимися южнее, стационарами по кольцеванию, в Пасвике осенний пролёт дроздовых протекает в более сжатые сроки, миграционные пики наблюдаются раньше. Так, на Ладожской орнитологической станции ($N 60^{\circ} 41' E 32^{\circ} 57'$) максимум активности птиц отмечается около второй декады сентября, т.е. приблизительно на полтора месяца позже, чем на о. Варлама

[6]. Эта разница обусловлена более сложными климатическими условиями Крайнего Севера, требующими ускоренной миграции к местам зимовки. В отличие от остальных дроздовых, миграция воронки в заповеднике проходит в более широких временных рамках и сроками сравнима с данными, собранными в д. Черная Река ($N 66^{\circ} 31', E 32^{\circ} 55'$): максимум пролета вида наблюдается в первой декаде сентября [19].

В рамках круглосуточных отловов, проводившихся в летне-осенний сезон 2024 г., был получен ряд данных по суточной активности птиц. Результаты продемонстрированы на гистограмме встречаемости дроздовых в предрассветные и послерассветные часы (рис. 3).

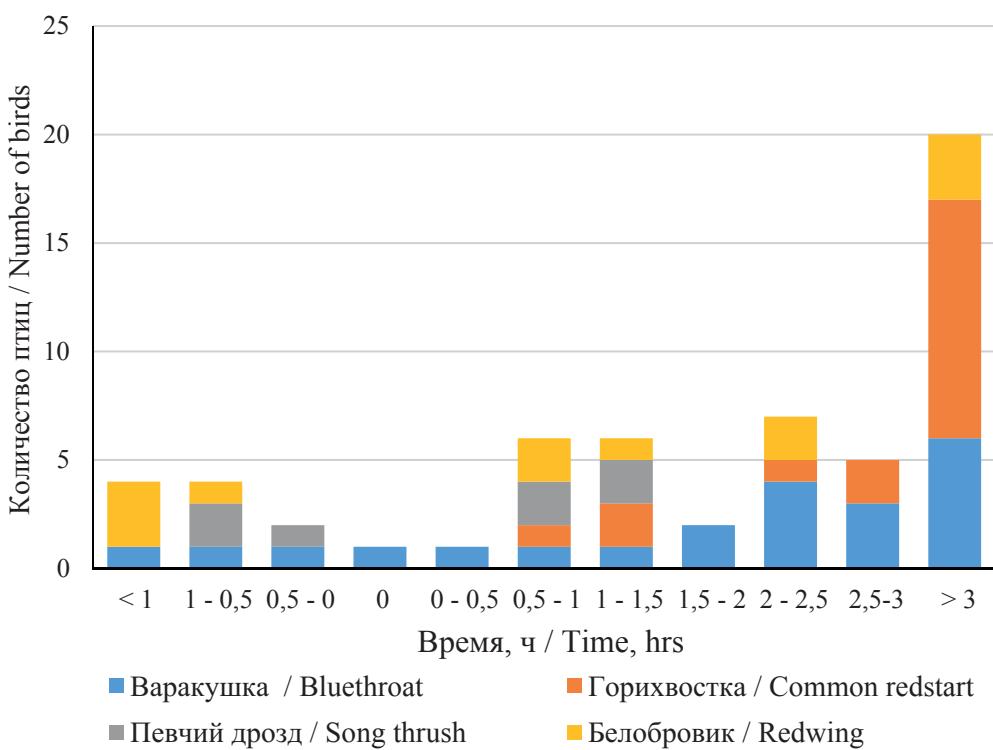


Рис. 3. Встречаемость дроздовых в отловах в предрассветные и послерассветные часы (цвет онлайн)

Fig. 3. Occurrence of thrushes in pre-dawn and post-dawn catches (colour online)

Полученные результаты показали, что максимальная активность миграции дроздовых, включая воронку и горихвостку, преимущественно наблюдается в период после рассвета. Коэффициенты корреляции составляют $K_s = 0,85$ ($p < 0,05$) для воронки и $K_s = 0,79$ ($p < 0,05$) для горихвостки, указывая на высокую зависимость интенсивности пролёта от

предрассветных часов. Варакушка регистрировалась в количестве одной особи за временной промежуток в первые полтора часа после восхода солнца, после чего её численность увеличивалась до шести особей на интервал.

Белобровик и певчий дрозд, как более ранние мигранты с ночной активностью, демонстрировали пики активности приблизи-

тельно за час до рассвета и в течение полутора часов после него, достигая до четырёх особей на интервал. Однако ярко выраженной зависимости от времени восхода солнца для этих видов не было отмечено. Такая вариативность активности может быть обусловлена особенностями освещённости в условиях полярного дня, когда полная темнота отсутствует, что, вероятно, приводит к нарушению традиционных циркадных ритмов и вынуждает птиц переходить к дневной ориентации из-за невозможности использования системы звёздной навигации [20].

В качестве другого объяснения наблюдаемой активности можно выдвинуть то, что птицы, пойманные днём, могут быть «нетранзитными», т. е. находиться на миграционной остановке [21]. Известно, что дневные перемещенияочных мигрантов не являются формой полётной миграционной активности, они направлены на поиск оптимальных мест для остановки и отдыха [1]. При этом большинство птиц могут либо продолжить миграцию после остановки на следующую ночь, либо перемещаться в другое ближайшее место остановки [22]. Таким образом, активность, зафиксированная в дневное время, может свидетельствовать о стремлении птиц выбрать наиболее подходящее убежище и условия для восстановления сил перед продолжением миграции.

Заключение

В ходе исследования выявлено, что временные и количественные аспекты миграционной активности дроздовых птиц демонстрируют значительные различия в зависимости от вида и времени суток. Максимальная активность их миграции в условиях завершающегося полярного дня наблюдается в период после рассвета, при этом воракушка демонстрирует планомерное увеличение численности в течение первых полутора часов после восхода солнца. Белобровик и певчий дрозд, мигрирующие преимущественно ночью, проявляют активность за час до восхода и в течение полутора часов после.

Миграционный период в заповеднике «Пасвик» начинается в начале августа и завершается в конце того же месяца. У певчего дрозда основной пик был зафиксирован в начале августа, что совпадает с первыми макси-

мальными значениями активности воракушки и белобровика. Горихвостка демонстрирует выразительный пик лишь в середине августа, после чего её численность начинает колебаться. Полученные данные указывают на необходимость учёта специфики миграционных паттернов у разных видов при планировании экологического мониторинга. Существует заметная разница в сроках миграции между северными регионами и районами южнее, что объясняется необходимостью для птиц северных широт ускоренной миграции к местам зимовки.

Список литературы

1. Чернецов Н. С. Миграция воробьиных птиц: остановки и полёт. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. 175 с.
2. Синельщикова А. Ю., Воротков М. В., Булюк В. Н., Большаков К. В. Минимизация энергетических затрат во время осеннего миграционного полета дроздов (*Turdus* spp.) // Энергетика и годовые циклы птиц (памяти В. Р. Дольника) : материалы междунар. конф. (Звенигород, 24–29 сентября 2015 г.). Звенигород : Т-во науч. изд. КМК, 2015. С. 252–254.
3. 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. Вып. 16. Саратов ; Хвалынск : ООО «Амирит», 2024. С. 30–35.
4. Хлебосолов Е. И., Макарова О. А., Хлебосолова О. А., Поликарпова Н. В., Зацаринный И. В. Птицы Пасвика. Рязань : НП «Голос губернии», 2007. 176 с.
5. Рябцев В. К. Птицы европейской части России: справочник-определитель : в 2 т. М. ; Екатеринбург : Кабинетный учёный, 2020. Т. 1. 424 с.
6. Миграции птиц Северо-Запада России. Воробьиные / под ред. Г. А. Носкова, Т. А. Рымкевич, А. Р. Гагинской. СПб. : Реноме, 2020. 532 с. <https://www.doi.org/10.25990/genomespb.wqr9-8n23>
7. Стариков Д. А. Опыт использования звуковых приманок для отлова птиц на Ладожской орнитологической станции // Русский орнитологический журнал. 2009. Т. 18, № 533. С. 2205–2212.
8. Панов И. Н. Опыт звукового привлечения для отлова птиц семейств Muscicapidae и Turdidae в северной тайге в период осенней миграции // Русский орнитологический журнал. 2024. Т. 33, № 2426. С. 2585–2586.
9. Нумеров А. Д., Климов А. С., Труфанова Е. И. Полевые исследования наземных позвоночных. Воронеж : Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2010. 300 с.

10. Виноградова Н. В., Дольник В. Р., Ефремов В. Д., Паевский В. А. Определение пола и возраста воробынных птиц фауны СССР. М. : Наука, 1976. 191 с.
11. Коблик Е. А., Архипов В. Ю. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2014. 171 с.
12. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия: учеб. пособие. Петропавловск : Изд-во ПетрГУ, 2010. 104 с.
13. Мельников Е. Ю., Слесарева Е. А., Смолякова Д. С., Валова Е. В., Большаков А. В., Поликарпова Н. В. Редкие виды птиц заповедника «Пасвик» в отловах стационара «Остров Варлама» // Амурский зоологический журнал. 2025. Т. 17, № 1. С. 56–65. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-1-56-65>
14. Günter M., Zatsarinny I. Birds of the Pasvik Valley: Checklist // Bioforsk FOKUS. 2014. Vol. 9, № 6. P. 3–15.
15. Зацаринный И. В., Собчук И. С., Большаков А. А., Булычева И. А., Макарова О. А., Поликарпова Н. В., Варюхин В. С., Грибова М. О., Шаврина Ю. Ю. Птицы заповедника «Пасвик» и прилегающих территорий // Русский орнитологический журнал. 2018. Т. 27, № 1625. С. 2829–2908.
16. Большаков К. В. Изучение ночных миграций птиц (методический аспект) // Методы изучения миграций птиц : материалы Всесоюзной школы-семинара / отв. ред. В. Д. Ильиничев. М. : Зоол. ин-т АН СССР, 1977. С. 77–96.
17. Воротков М. В., Синельщикова А. Ю. Влияние фазы лунного цикла на интенсивность ночной миграции дроздов // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30, № 2030. С. 495–496.
18. Поликарпова Н. В., Макарова О. А., Берлина Н. Г., Зануздаева Н. В., Толмачева Е. Л., Татаринкова И. П., Чемякин Р. Г. Календарь природы заповедников Мурманской области // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения : материалы VI Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 120-летию со дня рождения Г. М. Крепса и 110-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского (Апатиты, 10–14 октября 2016 г.). Апатиты : Кольский научный центр РАН, 2016. С. 137–142.
19. Панов И. Н., Чернецов Н. С. Миграционная стратегия воробушки (*Luscinia svecica*) в Восточной Фенноскандии. Сообщение 1: основные параметры миграционных остановок // Труды Зоологического института РАН. 2010. Т. 314, № 1–2. С. 93–104.
20. Золотарева А. Д., Чернецов Н. С. Астрономическое ориентирование у птиц // Зоологический журнал. 2021. Т. 100, № 3. С. 333–343. <https://www.doi.org/10.31857/S0044513421030119>
21. Salewski V., Thoma M., Schaub M. Stopover of migrating birds: Simultaneous analysis of different marking methods enhances the power of capture-recapture analyses // Journal of Ornithology. 2007. Vol. 148. P. 29–37. <https://www.doi.org/10.1007/s10336-006-0096-y>
22. Schaub M., Jenni L., Bairlein F. Fuel stores, fuel accumulation, and the decision to depart from a migration stopover site // Behav. Ecol. 2008. Vol. 19. P. 657–666. <https://www.doi.org/10.1093/beheco/arn023>

References

1. Chernetsov N. S. *Migratsii vorob'inykh ptits: ostanovki i polet* [Migrations of passerine birds: Stops and flights]. Moscow, KMK Scientific Press, 2010. 173 p. (in Russian)
2. Sinel'shchikova A. Iu., Vorotkov M. V., Buliuk V. N., Bol'shakov K. V. Minimization of energy expenditure during autumn migratory flight in thrushes (*Turdus* spp.). In: *Energetika i godovye tsikly ptits (pamiatni V. R. Dol'nika): materialy mezhdunarodnoi konferentsii, (Zvenigorod, 24–29 sentiabria 2015 g.)* [Energetics and Annual Cycles of Birds (in memory of V. R. Dol'nik): Proc. of the Intern. conf. (Zvenigorod, September 24–29, 2015)]. Zvenigorod, KMK Scientific Press, 2015, pp. 252–254 (in Russian).
3. Mel'nikov E. Yu., Slesareva E. A., Smolyakova D. S., Kozhuhina P. V., Valova E. V., Bol'shakov A. A., Shavrina U. Yu., Polikarpova N. V. Ornithological station “Varlama Island”: Some results of seven years of work. *Scientific Papers of Khvalynsky National Park : Compilation of scientific papers*. Saratov, Khvalynsk, Amirit Publishers Ltd., 2024, iss. 16, pp. 30–35 (in Russian).
4. Hlebosolov E. I., Makarova O. A., Hlebosolova O. A., Polikarpova N. V., Zatsarinny I. V. *Pticy Pasvika* [Birds of Pasvik]. Ryazan', NP "Golos gubernii", 2007. 176 p. (in Russian).
5. Riabitsev V. K. *Ptitsy evropeiskoi chasti Rossii: spravochnik-opredelitel'*: v 2 t. [Birds of the European part of Russia: A definitive guide: in 2 vols]. Moscow, Ekaterinburg, Kabinetnyi uchenyi, 2020, vol. 1. 424 p. (in Russian).
6. *Migratsii ptits Severo-Zapada Rossii. Vorob'inye. Pod red. G. A. Noskova, T. A. Rymkevich, A. R. Gaginskoy* [Noskov G. A., Rymkevich T. A., Gaginskaya A. R., eds. Migration of birds of Northwest Russia. Passerines]. St. Petersburg, Renome, 2020. 532 p. (in Russian).
7. Starikov D. A. Use of acoustic attractant in bird capture on the Ladoga ornithological station. *The Russian Journal of Ornithology*, 2009, vol. 18, no. 533, pp. 2205–2212 (in Russian).
8. Panov I. N. Experience of sound attraction for catching birds of the families muscicapidae and turdidae in the northern taiga during the period of autumn migration. *The Russian Journal of Ornithology*, 2024, vol. 33, no. 2426, pp. 2585–2586 (in Russian).
9. Numerov A. D., Klimov A. S., Trufanova E. I. *Polevye issledovaniia nazemnykh pozvonochnykh* [Field studies of terrestrial vertebrates]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 2010. 300 p. (in Russian).
10. Vinogradova N. V., Dol'nik V. R., Efremov V. D., Paevskii V. A. *Opredelenie pola i vozrasta vorob'inykh*

- ptits fauny SSSR* [Sex and age determination of passerine birds of the fauna of the USSR]. Moscow, Nauka, 1976. 191 p. (in Russian).
11. Koblik E. A., Arkhipov V. Iu. *Fauna ptits stran Severnoi Evrazii v granitsakh byvshego SSSR: spiski vidov* [Bird fauna of the countries of Northern Eurasia within the borders of the former USSR: Lists of species]. Moscow, KMK Scientific Press, 2014. 171 p. (in Russian).
12. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Elementarnaya biometriya: ucheb. posobie* [Elementary Biometry: Textbook]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2010. 104 p. (in Russian).
13. Mel'nikov E. Iu., Slesareva E. A., Smoliakova D. S., Valova E. V., Bolshakov A. A., Polikarpova N. V. Rare bird species captured in net traps at the Varlam Island Station, Pasvik Nature Reserve. *Amurian Zoological Journal*, 2025, vol. 17, no. 1, pp. 56–65 (in Russian). <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-1-56-65>
14. Günter M., Zatsarinny I. Birds of the Pasvik Valley: Checklist. *Bioforsk FOKUS*, 2014, vol. 9, no. 6, pp. 3–15.
15. Zatsarinny I. V., Sobchuk I. S., Bol'shakov A. A., Bulycheva I. A., Makarova O. A., Polikarpova N. V., Varyuhin V. S., Gribova M. O., Shavrina U. Yu. Birds of the Pasvik Nature Reserve and Adjacent Territories. *The Russian Journal of Ornithology*, 2018, vol. 27, no. 1625, pp. 2829–2908 (in Russian).
16. Bol'shakov K. V. Study of nocturnal bird migrations (methodological aspect). In: *Metody izucheniiia migratsii ptits: materialy Vsesoiuznoi shkoly-seminara*. Otv. red. V. D. Ilichev [Ilichev V. D., ed. Methods of studying bird migration: Proc. of the All-Union school-seminar]. Moscow, Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences Publ., 1977, pp. 77–96 (in Russian).
17. Vorotkov M. V., Sinel'shchikova A. Iu. The influence of the phase of the lunar cycle on the intensity of night migration of thrushes. *The Russian Journal of Ornithology*, 2021, vol. 30, no. 2030, pp. 495–496 (in Russian).
18. Polikarpova N. V., Makarova O. A., Berlina N. G., Zanuzdaeva N. V., Tolmacheva E. L., Tatarinkova I. P., Chemyakin R. G. Nature calendar of the Murmansk region nature reserves. *Ekologicheskie problemy severnykh regionov i puti ikh reshenii: materialy VI Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem, posviashchennoi 120-letiiu so dnia rozhdeniya G. M. Krepsa i 110-letiiu so dnia rozhdeniya O. I. Semenova-Tian-Shanskogo (Apatity, 10–14 oktyabrya 2016 g.)* [Environmental Problems of the Northern Regions and Solutions: Proc. of the VI All-Russian sci. conf. with intern. participation, dedicated to the 120th anniversary of the birth of G. M. Kreps and the 110th anniversary of the birth of O. I. Semenov-Tyan-Shansky (Apatity, October 10–14, 2016)]. Apatity, Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 2016, pp. 137–142 (in Russian).
19. Panov I. N., Chernetsov N. S. Migratory Strategy of Bluethroats, *Luscinia svecica*, in Eastern Fennoscandia. Part 1: Main Stopover Parameters. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 2010, vol. 314, no. 1-2, pp. 93–104 (in Russian).
20. Zolotareva A. D., Chernetsov N. S. Celestial orientation in birds. *Zoological Journal*, 2021, vol. 100, no. 3, pp. 333–343 (in Russian). <https://www.doi.org/10.31857/S0044513421030119>
21. Salewski V., Thoma M., Schaub M. Stopover of migrating birds: Simultaneous analysis of different marking methods enhances the power of capture-recapture analyses. *Journal of Ornithology*, 2007, vol. 148, pp. 29–37. <https://www.doi.org/10.1007/s10336-006-0096-y>
22. Schaub M., Jenni L., Bairlein F. Fuel stores, fuel accumulation, and the decision to depart from a migration stopover site. *Behav. Ecol.*, 2008, vol. 19, pp. 657–666. <https://www.doi.org/10.1093/beheco/arn023>

Поступила в редакцию 22.07.2025; одобрена после рецензирования 05.10.2025; принята к публикации 06.10.2025
The article was submitted 22.07.2025; approved after reviewing 05.10.2025; accepted for publication 06.10.2025



ПЕРСОНАЛИИ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология.

2025. Т. 25, вып. 4. С. 477–480

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 477–480

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-477-480>

EDN: ZSAMQS

Персоналии

УДК 929

Памяти Анастасии Андреевны Чигуряевой. К 120-летию со дня рождения

А. П. Забалуев¹ , Т. В. Терешкова²

¹Саратовский медицинский университет "Реавиз", Россия, 410076, г. Саратов, пл. Дегтярная, д. 1, корп. А

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

Забалуев Анатолий Петрович, кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин, zabaluevap@inbox.ru

Терешкова Тамара Викторовна, старший преподаватель, biofac@info.sgu.ru

Аннотация. 31 декабря 2025 г. исполнилось 120 лет со дня рождения доктора биологических наук, профессора А. А. Чигуряевой (1905–1987 гг.), известного ученого, внесшего существенный вклад в развитие палеопалинологии в России. С 1961 г. А. А. Чигуряева возглавляла кафедру морфологии и систематики растений в Саратовском университете, а также организовала и руководила палинологической лабораторией. Основной научный интерес А. А. Чигуряевой связан с изучением флоры и растительности Юго-Востока европейской части СССР. Вместе с соавторами ею написано свыше 140 научных и научно-популярных работ. Под руководством А. А. Чигуряевой защищено 5 кандидатских диссертаций.

Ключевые слова: А. А. Чигуряева, 120-лет со дня рождения, Саратовский государственный университет

Для цитирования: Забалуев А. П., Терешкова Т. В. Памяти Анастасии Андреевны Чигуряевой. К 120-летию со дня рождения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 4. С. 477–480. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-477-480>, EDN: ZSAMQS

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

Personalia

In memory of Anastasiya Andreevna Chiguryaeva. On her 120th anniversary

А. П. Забалуев¹ , Т. В. Терешкова²

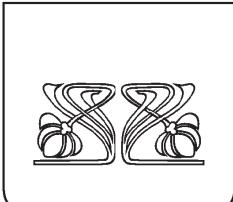
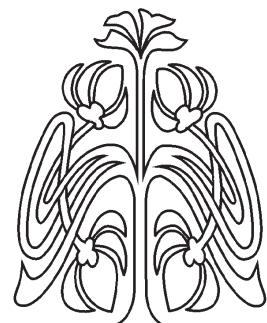
²Medical University "Reaviz", 1 Degtyarnaya Pl., Saratov 410076, Russia

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

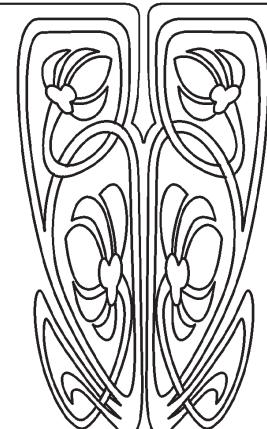
Anatoly P. Zabaluyev, zabaluevap@inbox.ru,

Tamara V. Tereshkova, biofac@info.sgu.ru

Abstract. On December 31, 2025, it was 120 years since the birth of professor A. A. Chiguryaeva (1905–1987), a Doctor of Biological Sciences and Professor – a renowned scientist who made significant contributions to the development of Palaeopalynology in Russia. From 1961,



ПРИЛОЖЕНИЕ





A. A. Chiguryaeva headed the Department of Plant Morphology and Systematics at Saratov State University and also established and led a Palynological Laboratory. Her primary scientific focus was on the study of flora and vegetation in the Southeast of the European part of the USSR. Together with her co-authors, she wrote over 140 scientific and popular science works. Under her supervision, five candidate dissertations were successfully defended.

Keywords: A. A. Chiguryaeva, 120th anniversary, Saratov State University

For citation: Zabaluyev A. P., Tereshkova T. V. In memory of Anastasiya Andreevna Chiguryaeva. On his 120th anniversary. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 4, pp. 477–480 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-477-480>, EDN: ZSAMQS

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

Анастасия Андреевна Чигуряева родилась 31 декабря 1905 г. в с. Лопатино Саратовской губернии в бедной мордовской семье. Отец погиб в Перовую мировую войну. Детей в семье было много, семья испытывала постоянную нужду. Не все выжили в это полное лишений послевоенное время. Мать выбивалась из сил, чтобы поддержать оставшихся в живых Настю и её младшего брата, вывести их в люди. Сельскую среднюю школу в с. Лопатино Анастасия окончила с отличием.

В 1921 г. Анастасия Андреевна приехала в Саратов и поступила на первый курс биологического факультета Саратовского университета. Нелегко было тогда постигать науку: в стране не хватало хлеба, обуви, топлива. У студентов, к тому же, было по одному довоенному учебнику на 20–30 человек. И всё-таки, несмотря на трудности, годы учёбы в университете Анастасия Андреевна вспоминала как самые яркие, самые светлые дни своей жизни.

В 1926 г. она заканчивает биологический факультет СГУ, с мужем и маленьким сыном приезжает в свое родное село и работает учителем, а затем преподает в Петровском педагогическом техникуме. Однако в СГУ не забыли о ней: молодой педагог получает письмо от профессора Дмитрия Ерастовича Янишевского с предложением принять участие в работе экспедиции института «Микроб» по изучению растительности Нижнего Поволжья.

Очевидно, в этот период определился ее интерес к научным исследованиям в области ботаники. С 1930 г. Анастасия Андреевна работает ассистентом в Саратовском зоотехническо-ветеринарном институте. В 1932 г. А. Д. Фурсаев назначается заведующим кафедрой морфологии и систематики растений и приглашает Анастасию Андреевну в аспирантуру. В 1935 г. А. А. Чигуряева становится ассистентом, а в 1939 г. – доцентом кафедры морфологии и систематики растений СГУ.



Будучи молодым сотрудником кафедры, она руководила выполнением темы «История развития растительности гольцена на Юго-Востоке европейской части СССР», предложенной Саратовским краеведческим музеем. Основными объектами изучения были Ивановские торфяники Лопатинского района Саратовской области. Первые шаги в анализе образцов торфа методом спорово-пыльцевого анализа она сделала под руководством профессора В. С. Доктуровского, который возглавлял это направление в то время. В процессе работы ею был впервые применен метод спорово-пыльцевого анализа донных отложений. На его основе А. А. Чигуряевой выделены этапы развития растительности за весь период формирования торфяников, установлен их возраст и реконструирован климат. Полученный материал стал основой кандидатской диссертации, которая была защищена в 1939 г.

В тяжелые годы Великой Отечественной войны Анастасия Андреевна не прекращает научных изысканий. В коротких перерывах между чтением лекций и проведением прак-



тических занятий, рытьем окопов в окрестностях Саратова Анастасия Андреевна изучает особенности морфологии современной и ископаемой пыльцы. За отличную работу в период Великой Отечественной войны А. А. Чигуряева была премирована именными часами.

В 1951 г. после окончания докторантуры при Ботаническом институте АН СССР она защищает докторскую диссертацию, посвященную развитию растительности Южного Предуралья в третичное время. Это была одна из первых в Советском Союзе докторских диссертаций по спорово-пыльцевому анализу. Результатом этих исследований явился «Атлас микроспор из третичных отложений СССР», вышедший из печати в 1956 г. Этот атлас был главным, а зачастую единственным пособием в то время по определению спор и пыльцы из третичных отложений.

В 1961 г. Анастасия Андреевна Чигуряева возглавила кафедру морфологии и систематики растений, а также палинологическую лабораторию.

А. А. Чигуряевой с соавторами написано свыше 140 научных и научно-популярных работ. Тематика работ весьма разнообразна. Это палинотретиаграфическая характеристика геологических отложений, восстановление растительности в различные временные отрезки третичного и четвертичного периодов, характеристика ископаемых пыльцевых зерен гнетовых, кейтониевых, вельвичиевых и других голосеменных, характеристика морфологии пыльцы систематических групп современных растений.

Среди проблем, разрабатываемых А. А. Чигуряевой, – мелиссопалинология, или палинологическая характеристика медов; вопросы аэропалинологии и связанные с ней проблемы аллергических заболеваний; палинологическая характеристика зерновой пыли с элеваторов, вызывающей аллергию; характеристика ископаемых спор грибов, водорослевых остатков и многие другие.

Кроме изучения палинологических проблем Анастасия Андреевна занималась исследованием современной флоры. Под ее руководством сотрудниками был проанализирован гербарий кафедры и издан конспект флоры Саратовской области, а также сводки по медоносным, лекарственным и другим группам растений.

Начиная с 1970-х гг. особое внимание А. А. Чигуряева уделяла охране редких и исчезающих растений. При ее активном участии были изданы коллективная монография «Охраняемые растения Саратовской области» (1979), научно-популярная книга «Опасайтесь потерять друзей» (1983), красочные плакаты с подборками иллюстраций по отдельным группам исчезающих растений области.

А. А. Чигуряева активно участвовала в общественной работе, неоднократно избиралась на различные должности на биологическом факультете, в том числе более 10 лет была секретарем партийной организации факультета.

В течение многих лет Анастасия Андреевна была председателем Юго-Восточного филиала Всесоюзного ботанического общества, членом Волго-Уральской комиссии по изучению четвертичного периода, членом Поволжско-Уральского Совета ботанических садов, Научно-координационного центра по палеоклиматам Института географии АН СССР, почетным членом Палинологической комиссии СССР. Выступала с докладами на международных конгрессах, всесоюзных конференциях, семинарах, совещаниях.

Одновременно с научно-исследовательской деятельностью А. А. Чигуряева вела большую педагогическую работу. За 1960–1980 гг. на биологическом факультете Саратовского госуниверситета было подготовлено более 150 специалистов-палинологов. Местом их работы стали города Саратов, Иркутск, Якутск, Тюмень, Витебск и др. Многие ученики Анастасии Андреевны возглавили палинологические лаборатории или кафедры страны.

Указом Президиума Верховного Совета от 15.09.1961 г. А. А. Чигуряева за заслуги в подготовке специалистов и развитии науки награждена орденом Ленина. Кроме того, она награждалась медалями «За доблестный труд» в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина и «Тридцать лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

Анастасия Андреевна была доброжелательным учителем молодежи, обладающим особым даром увлекать и убеждать своих учеников. Она любила природу, любила жизнь во всех ее проявлениях. Регулярно организовывала экспедиционные поездки.

Необыкновенная работоспособность, безграничная увлеченность, огромный опыт,

умение видеть актуальность той или иной проблемы, скрупулезный подход к решению разрабатываемых задач снискали А. А. Чигуряевой глубокое уважение и широкую известность среди российских и зарубежных ученых.

Крупный ученый, скромный, страстно преданный своему любимому делу трудолюбивый человек – такой Анастасия Андреевна оставалась до последних дней своей жизни и такой она навсегда сохранится в памяти всех, кто с ней работал.

Список литературы

1. Анастасия Андреевна Чигуряева (1905–1987) [Некролог] // Палинологические таксоны в биостратиграфии : межвуз. науч. сб. / отв. ред. Л. А. Назаркин. Саратов, 1989. Ч. 1. С. 149–150.
2. Рябова Т. П., Забалуев А. П. Анастасия Андреевна Чигуряева (1905–1987) // Ботанический журнал 1989. Т. 74, № 12. С. 1812–1820.
3. Анастасия Андреевна Чигуряева (1905–1987) // Бюл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та. 2005. Вып. 4. С. 3–4.
4. Болдырев В. А. 100-летию со дня рождения профессора Анастасии Андреевны Чигуряевой посвящается // Биологические вести : информ. бюл. Сарат. гос. ун-т, биол. фак. 2005. № 4 (дек.). С. 1 : портр.
5. Подгайная Н. Н. Из воспоминаний о профессоре А. А. Чигуряевой и о палинологических буднях и праздниках // Бюл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та. 2005. Вып. 4. С. 14–18.

References

1. Anastasia Andreevna Chiguryaeva (1905–1987) [Nekrolog]. In: *Palinologicheskie taksony v biostratigrafi: meshvuz. nauch. sb. Otv. red. L. A. Nazarkin* [L. A. Nazarkin, guest ed. Palynological taxa in biostratigraphy: Interuniv. scie. coll.]. Saratov, 1989, pt. 1, pp. 149–150 (in Russian).
2. Ryabova T. P., Zabaluev A. P. Anastasia Andreevna Chiguryaeva (1905–1987). *Bot. Journal*, 1989, vol. 74, no. 12, pp. 1812–1820 (in Russian).
3. Anastasia Andreevna Chiguryaeva (1905–1987). *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University*, 2005, iss. 4, pp. 3–4 (in Russian).
4. Boldyrev V. A. The 100th anniversary of the birth of Professor Anastasii Andreevna Chiguryaeva is dedicated. *Biological News: Inform. Bull. of Saratov State University, Biol. fak.*, 2005, no. 4 (Dec.), pp. 1: portr. (in Russian).
5. Podgainaya N. N. From memoirs of Professor A. A. Chiguryaeva and palynological everyday life and holidays. *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University*, 2005, iss. 4, pp. 14–18 (in Russian).

Поступила в редакцию 03.01.2025; одобрена после рецензирования 21.05.2025; принята к публикации 25.05.2025
The article was submitted 03.01.2025; approved after reviewing 21.05.2025; accepted for publication 25.05.2025

ISSN 1816-9775



25004

ISSN 1816-9775 (Print). ISSN 2541-8971 (Online)
Известия Саратовского университета. Новая серия.
Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Том 25, выпуск 4

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

