

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней по специальностям:

03.03.03 Иммунология, 1.5.9. Ботаника, 1.5.11. Микробиология, 1.5.12. Зоология, 1.5.7. Генетика, 3.3.8. Клиническая лабораторная диагностика

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Редакционный совет

- В. С. Артамонова*, д.б.н., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия
О. Ю. Баранов, д.б.н., Институт леса НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь
О. Г. Баранова, д.б.н., Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. С.-Петербург, Россия
В. Д. Богданов, д.б.н., чл.-корр. РАН, Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
М. В. Винарский, д.б.н., Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
О. В. Долгих, д.м.н., Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения Роспотребнадзора, г. Пермь, Россия
С. А. Заморина, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Е. В. Зиновьев, д.м.н., Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
Р. А. Календарь, к.б.н., "National Laboratory Astana", Назарбаев Университет, г. Нур-Султан, Республика Казахстан
Э. А. Коркотян, к.б.н., Научно-исследовательский институт им. Вейцмана, г. Реховот, Израиль
Н. Кристофи, PhD, Эдинбургский Нэпир университет, г. Эдинбург, Великобритания
А. И. Литвиненко, д.б.н., Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия
П. Б. Михеев, PhD, доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Е. Г. Плотникова, д.б.н., Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
Д. В. Политов, д.б.н., Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, г. Москва, Россия
А. В. Пузанов, д.б.н., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия
М. Б. Раев, д.б.н., Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
Е. В. Рахимова, д.б.н., Институт ботаники и фитоинтродукции Комитета лесного хозяйства и животного мира, г. Алматы, Республика Казахстан
В. П. Середина, д.б.н., профессор, Национальный исследовательский томский государственный университет, г. Томск, Россия
В. А. Черешнев, д.м.н., академик РАН, Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
А. Г. Ширяев, д.б.н., Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Редакционная коллегия

- С. В. Боронникова*, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
С. В. Гейн, д.м.н., Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
А. А. Елькин, к.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
О. З. Еремченко, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
С. Л. Есюнин, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Е. Г. Ефимик (секретарь редколлегии), к.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Н. В. Зайцева, д.м.н., академик РАН, Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения Роспотребнадзора, г. Пермь, Россия
И. Б. Ившина, д.б.н., академик РАН, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия
А. Р. Ишбирдин, д-р биол. наук, профессор, Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия
М. С. Куюкина (гл. редактор), д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
С. А. Овеснов, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
Л. Г. Переведенцева, д.б.н., Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
О. Ю. Устинова, д.м.н., Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения Роспотребнадзора, г. Пермь, Россия

Ответственный редактор выпуска *С. А. Овеснов*

© Редакционная коллегия, 2022

Адрес учредителя и издателя:
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
Тел.: 8 (342)2396435; E-mail: info@psu.ru
Подписка на журнал осуществляется онлайн на сайте «Пресса России. Объединенный каталог» <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e41000/>. Подписной индекс 41000
Адрес редакции: 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
Тел.: 8 (342)2396233
E-mail: vestnik_psu_bio@mail.ru
Сайт: press.psu.ru/index.php/bio

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свид. о регистрации средства масс. информации ПИ № ФС 77-66484 от 14 июля 2016 г.

Editorial Board

- V. S. Artamonova*, Dr. Biol. Sc., Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS, Novosibirsk, Russia
O. Yu. Baranov, Dr. Biol. Sc., Institute of Forest of the NAS of Belarus, Gomel, Belarus
O. G. Baranova, Dr. Biol. Sc., Botanical Institute of the RAS, St. Petersburg, Russia
V. D. Bogdanov, Dr. Biol. Sc., Corresponding Member of the RAS, Institute of Plant and Animal Ecology of UB RAS, Ekaterinburg, Russia
M. V. Vinarski, Dr. Biol. Sc., St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
O. V. Dolgikh, Dr. Med. Sc., Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russia
S. A. Zamorina, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
E. V. Zinoviev, Dr. Med. Sc., Institute of Plant and Animal Ecology of UB RAS, Ekaterinburg, Russia
R. A. Kalendar, Cand. Biol. Sc. "National Laboratory Astana", Nazarbaev University, Nur-Sultan, Kazakhstan
E. A. Korkotyan, Cand. Biol. Sc. Weizmann Institute of Science, Rehovot, Izrael
N. Christofí, PhD, Edinburgh Napier University, Edinburgh, Great Britain
A. I. Litvinenko, Dr. Biol. Sc., State agrarian University of Northern TRANS-Urals, Tyumen, Russia
P. B. Mikheev, PhD, Perm State University, Perm, Russia
E. G. Plotnikova, Dr. Biol. Sc., Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
D. V. Polítov, Dr. Biol. Sc., Vavilov Institute of General Genetics of the RAS, Moscow, Russia
A. V. Puzanov, Dr. Biol. Sc., Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, Russia
M. B. Raev, Dr. Biol. Sc., Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
E. V. Rachimova, Dr. Biol. Sc., Institute of Botany and Phytointroduction of the Committee for Forestry and Wildlife, Almaty, Kazakhstan
V. P. Seređina, Dr. Biol. Sc., Tomsk State University, Tomsk, Russia
V. A. Cherešnev, D.Med.Sc., Full Member of the RAS, Institute of Immunology and Physiology of UB RAS, Ekaterinburg, Russia
A. G. Shiryayev, Dr. Biol. Sc., Institute of Plant and Animal Ecology of the UB RAS, Ekaterinburg, Russia

Editors

- S. V. Boronnikova*, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
S. V. Gein, Dr. Med. Sc., Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
A. A. Elkin, Cand. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
O. Z. Eremchenko, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
S. L. Esyunin, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
E. G. Efímik (secretary of the editorial board), Cand. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
N. V. Zaitseva, Dr. Med. Sc., Full Member of the RAS, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russia
I. B. Ivshina, Dr. Biol. Sc., Full Member of the RAS, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the UB RAS, Perm, Russia
A. R. Ishbirdin, Dr. Biol. Sc., Bashkir State University, Ufa, Russia
M. S. Kuyukina (editor in chief), Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
S. A. Ovesnov, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
L. G. Perevedenceva, Dr. Biol. Sc., Perm State University, Perm, Russia
O. Yu. Ustinova, Dr. Med. Sc., Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russia

Contributed editor of the issue *S. A. Ovesnov*

© Editorial Board, 2022

Founder and Publisher Address:
614068, Perm, Bukireva, 15;
Tel: 8 (342) 2396435; E-mail: info@psu.ru
For subscription, visit the United catalog of Press of Russia:
<https://www.pressa-ru/cat/1/edition/e41000/>. Index 41000

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Certificate of registration of mass media PI No. FS 77-66484 dated July 14, 2016.

Editorial office address: 614068, Perm, Bukireva, 15;
Tel.: 8 (342) 2396233
E-mail: vestnik_psu_bio@mail.ru
Website: press.psu.ru/index.php/bio

Содержание

Ботаника

- Карасёва Т. А., Ермолаева О. Ю., Бакулин С. Д., Пукалов М. Е.* Состояние и воспроизводство нижнедонских популяций копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae) 5
- Николин Е. Г.* Новое местонахождение редкого вида *Cotoneaster uralensis* (Rosaceae) на Полярном Урале 18
- Черткова М. А., Шакина Т. Н.* Изучение морфобиологических особенностей некоторых сортов *Gladiolus × hybridus* hort. в условиях Саратовского Поволжья и Пермского края 22

Микробиология

- Тюленев А. В., Смирнова Г. В., Габова А. О., Триандафилова Г. А., Октябрьский О. Н.* Real-time мониторинг физиологических параметров для изучения раннего ответа бактерий *Escherichia coli* на пероксидный стресс 35

Зоология

- Сидоров Г. Н., Одинцев О. А., Кислый А. А., Одинцева А. А.* Изучение позвоночных животных Барабинской и Ишимской лесостепей и Кулундинской степи для подготовки третьего издания Красной книги Омской области 42

Генетика

- Мелоян М. Г., Воскресенская Е. А., Лебедева С. А., Трухачев А. Л.* Обзор методов генетической дифференциации штаммов возбудителя псевдотуберкулеза 54

Почвоведение

- Еремченко О. З., Сапцын Р. В., Ложкина Е. А., Тыршу Е. В.* Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв 64

Микология

- Петрова М. В.* Инвентаризация грибов-макромицетов урбанизированных территорий Республики Башкортостан 72

Персоналии

- Шумихин С. А., Шибанова Н. Л.* Памяти Евгении Ивановны Демьяновой (16.04.1936-10.05.2020) . 77
- Правила оформления статей в Вестник Пермского университета. Серия Биология 80

Contents

Botany

- Karasyova T. A., Ermolaeva O. Yu., Bakulin S. D., Pukalov M. E.* Conditions and reproduction of Lower Don populations of *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) 5
- Nikolin E. G.* New location of the rare species *Cotoneaster uralensis* (Rosaceae) in the Polar Urals 18
- Chertkova M. A., Shakina T. N.* Study of morphobiological features of some *Gladiolus × hybridus* hort. cultivars in Saratov and Perm regions 22

Microbiology

- Tyulenev A. V., Smirnova G. V., Gabova A. O., Triandafilova G. A., Oktyabrsky O. N.* Real-time monitoring of physiological parameters in the study of *Escherichia coli* early response to peroxide stress 35

Zoology

- Sidorov G. N., Odintsev O. A., Kislyi A. A., Odintseva A. A.* Study of vertebrate animals of the Barabin and Ishim forest steppe and Kulunda steppe for preparation of the third edition of the Red book of the Omsk region 42

Genetics

- Meloyan M. G., Voskresenskaya E. A., Lebedeva S. A., Trukhachev A. L.* Review of the methods of genetic differentiation of pseudotuberculosis pathogen strains 54

Soil science

- Eremchenko O. Z., Saptsyn R. V., Lozhkina E. A., Tyrshu E. V.* Assessment of performance of oil-contaminated soil reclamation 64

Mycology

- Petrova M. V.* Inventory of macromycete fungi in urbanized territories of the Republic of Bashkortostan 72

Personalities

- Shumikhin S. A., Shibanova N. L.* The memory of Evgenia I. Demyanova (16.04.1936-10.05.2020) 77

БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.522 + 581.95

doi: 10.17072/1994-9952-2022-4-5-17

**Состояние и воспроизводство нижнедонских популяций
копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall.,
Fabaceae)**

**Татьяна Александровна Карасёва¹✉, Ольга Юрьевна Ермолаева²,
Семён Дмитриевич Бакулин³, Михаил Евгеньевич Пукалов⁴**

^{1, 2, 3, 4} Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

¹✉ takaras@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4170-9123>

² oermolaeva@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7021-7614>

³ bakulinsd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2136-4973>

⁴ pukalov@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5734-8759>

Аннотация. Представлены итоги мониторинговых исследований популяций *Hedysarum grandiflorum* в бассейне Нижнего Дона (Ростовская обл.). Выявлено 8 новых ценопопуляций вида в регионе, описаны условия их произрастания. Количественные характеристики популяций и фитоценотическая роль *H. grandiflorum* в составе ценозов ниже, чем в оптимальных условиях произрастания вида. По возрастной структуре популяции нормальные, неполночленные, реже полночленные, с правосторонним или центрированным онтогенетическим спектром. По классификации «дельта-омега» они отнесены к зрелым и зреющим, по величине индекса замещения – к неустойчивым, реже перспективным. Основными лимитирующими факторами в изученных популяциях выступают антропогенное воздействие, преимущественно в форме пасквальной нагрузки, и, в меньшей степени, частичное несоответствие климатических условий экологическим потребностям вида. Для *H. grandiflorum* в ценопопуляциях Аксайского р-на характерны крайне низкие значения числа и доли полноценных семян на плод, что в большей степени обусловлено нарушениями созревания завязавшихся семян. Значения реальной семенной продуктивности на плод существенно варьируют по годам наблюдений, что может обуславливать значительные колебания общей семенной продуктивности и выступать одной из причин нерегулярного семенного возобновления. В благоприятные для вызревания семян годы семенную продуктивность растений копеечника можно считать удовлетворительной.

Ключевые слова: *Hedysarum grandiflorum*, ценопопуляция, онтогенетическая структура, семенная продуктивность

Для цитирования: Состояние и воспроизводство нижнедонских популяций копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae) / Т. А. Карасёва, О. Ю. Ермолаева, С. Д. Бакулин, М. Е. Пукалов // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 5–17. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-5-17>.

BOTANY

Original article

**Conditions and reproduction of Lower Don populations
of *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae)**

**Tatiana A. Karasyova¹✉, Ol'ga Yu. Ermolaeva², Semyon D. Bakulin³,
Mikhail E. Pukalov⁴**

^{1, 2, 3, 4} Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

¹✉ takaras@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4170-9123>

² oermolaeva@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7021-7614>

³ bakulinsd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2136-4973>

⁴ pukalov@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5734-8759>

Abstract. The article presents the results of the monitoring research of *Hedysarum grandiflorum* Lower Don basin populations (Rostov Region). Eight new populations of the species are revealed in the region, their habitat

conditions are described. Quantitative characters of populations studied and coenotic role of *H. grandiflorum* are lower than it is observed in optimal conditions. In relation to their ontogenetic structure, the populations are normal, mostly incomplete, having right-sided or centered ontogenetic spectrum. According to delta-omega classification, they belong to mature and ripening; according to replacement index, most of them are unstable or rarely perspective. The principal limiting factors in populations observed are an anthropogenic impact, mainly grazing, and partially discordance between climatic conditions of the region and ecologic requirements of the plant species. *H. grandiflorum* coenopopulations of the Aksay District are characterized by extremely low number and proportion of the viable seeds per fruit because of seed developmental disorder. Actual seed productivity values vary significantly between years that may condition fluctuations of total seed productivity per individual plant and cause an irregular renewal by seed. In years good for seed maturing, seed productivity of *H. grandiflorum* may be considered satisfactory.

Keywords: *Hedysarum grandiflorum*, coenopopulation, ontogenetic structure, seed productivity

For citation: Karasyova T. A., Ermolaeva O. Yu., Bakulin S. D., Pukalov M. E. [Conditions and reproduction of Lower Don populations of *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae)]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 5-17. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-5-117>.

Введение

Hedysarum grandiflorum Pall. (копеечник крупноцветковый) – ксерофильный каудексообразующий многолетник, наиболее широкоареальный представитель секции *Subacaulia* (Boiss.) V. Fedtsch.; восточноевропейский по характеру распространения вид, ареал которого охватывает среднее и нижнее течение Дона, Приволжскую возвышенность, Ергени, Заволжье, Южный Урал; за пределами России произрастает в пределах Донецкой и Луганской народных республик, Днепропетровской обл. Украины, известны местонахождения на территории Болгарии и Румынии [Васильева, 1987; Дёмина, Никитина, 2008; Шишлова, Шмараева, 2014]. В Красной книге Российской Федерации копеечник крупноцветковый имеет категорию статуса редкости 3 в – редкий вид, большая часть ареала которого находится в России. Произрастание вида подтверждено современными находками в 12 регионах России. В Пензенской обл. вид считается исчезнувшим [Новикова, 2013]; для Курской обл. приводился ошибочно [Дёмина, Никитина, 2008]. Наибольшее число местонахождений вида отмечено в республиках Башкортостан [Мулдашев, Маслова, Галеева, 2011] и Татарстан [Шайхутдинова, 2016], Волгоградской [Супрун, 2017], Ростовской [Шишлова, Шмараева, 2014] и Самарской [Ильина, Митрошенкова, Саксонов, 2017] обл. Популяции *H. grandiflorum* в перечисленных регионах многочисленны, стабильны; в Красных книгах Самарской и Волгоградской обл. вид приводится со статусом 5 – восстанавливающийся в численности.

Копеечник крупноцветковый как вид, обладающий федеральным статусом охраны, детально и всесторонне изучался на большем протяжении его российского ареала. Исследовались ценогическая приуроченность вида, его отношение к ведущим факторам среды, пространственная и возрастная структура популяций [Ильина, 2013а, 2015, 2019; Лаврентьев, Болдырев, 2017], процессы расообразования и интродукции в местах контакта с другими видами секции *Subacaulia* с использованием сравнительно-морфологических и молекулярных методов [Князев, 2014; Супрун, 2014]. Описан большой жизненный цикл вида, даны характеристики онтогенетических состояний [Ильина, 2007; Супрун, 2014]. Проведены эксперименты и разработаны рекомендации к реинтродукции и восстановлению популяций вида [Мулдашев и др., 2012; Лаврентьев, 2019; Maslova, Muldashev, Elizaryeva, 2019], к размножению в культуре *in vitro* [Ахметова, Зарипова, 2013; Малаева, 2016]. Особенности семенной репродукции данного вида копеечника изучены слабее, преимущественно в связи с поиском оптимальных условий проращивания и методик предпосевной обработки семян [Ильина, 2013б; Супрун, 2014; Лаврентьев, 2016]. Работы по определению семенной продуктивности немногочисленны [Кузнецова, 2008; Лаврентьев, 2016].

В Красной книге Ростовской обл. *H. grandiflorum* придана категория статуса редкости 3 в, д: редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность, связанный со специфическими условиями произрастания и имеющий ограниченный ареал, часть которого находится в Ростовской обл. Известные местонахождения вида сосредоточены в северной (правобережье среднего течения Дона) и северо-западной (восточный отрог Донецкого кряжа, р. Калитва с притоками, Северное Приазовье) частях региона, доходя на восток по правому берегу Дона до Константиновского р-на. К югу от нижнего течения Дона копеечник крупноцветковый отмечался в нескольких точках по балкам, впадающим в ложе Цимлянского водохранилища. Таким образом, по долине Нижнего Дона в целом проходит южная граница распространения вида. Популяции *H. grandiflorum* в западных районах области многочисленны (100–800 тыс. особей), их состояние не вызывает опасений. Популяции в Константиновском и Дубовском р-нах у южной границы ареала малочисленны и фрагментарны, их численность составляет от нескольких десятков до 1–5 тыс. особей, стабильность их существования зависит от уровня антропогенной нагрузки на экотоп [Шишлова, Шмараева, 2014]. Возрастная структура популяций не определялась. Детальные сведения о состоянии и воспроизводстве популяций копеечника крупноцветкового в Ростовской обл. в литературе отсутствуют.

Цель нашей работы – оценка состояния и воспроизводства популяций *Hedysarum grandiflorum* в бассейне нижнего течения р. Дона. Поставленная цель включает уточнение распространения и условий произрастания вида на Нижнем Доне, определение онтогенетической структуры популяций, выявление основных лимитирующих факторов, влияющих на воспроизводство вида, а также определение основных показателей семенной продуктивности на примере вновь обнаруженной ценопопуляции *H. grandiflorum* в Аксайском р-не Ростовской обл.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2019–2021 гг. в десяти районах Ростовской обл., относящихся к бассейнам р. Дон, Северский Донец, Сал, а также охватывающих побережье Цимлянского водохранилища (рис. 1). При обнаружении ценопопуляций (ЦП) *H. grandiflorum* выполнялись геоботанические описания фитоценозов, определялась примерная численность популяции и занимаемая ею площадь. Измерялись некоторые морфометрические показатели генеративных растений (диаметр в проекции вегетативных частей; высота, определяемая по размерам наиболее длинного репродуктивного побега; число цветочных частей) на 20–30 особях каждой ЦП; для каждого показателя вычислялось среднее значение и его ошибка. Плотность особей определяли в местах концентрации на учётных площадках 1 м². Учёт особей разных возрастных состояний проводился также на учётных площадках, либо (при небольшой численности и низкой плотности растений в ЦП) методом сплошного учёта на 70–120 экземпляров. Статистическая обработка числовых данных осуществлялась по стандартным методикам [Лакин, 1990] с использованием MS Excel 1997-2003. Вычисление индексов восстановления (I_v), замещения (I_z), старения ($I_{ст}$), индекса возрастности дельта (Δ) и индекса эффективности омега (ω), определение положения популяций по классификации «дельта-омега» и по величине индекса замещения проводились по общепринятым методикам [Уранов, 1975; Жукова, 1987; Животовский, 2001; Жукова, Полянская, 2013].

Определение показателей семенной продуктивности *H. grandiflorum* осуществлялось по методике И.В. Вайнагий [1974] для ЦП1 в сезоны 2019 и 2020 гг., для ЦП2 – в 2019 г. Объём выборки в каждой ЦП составлял 130–150 плодов. Потенциальная семенная продуктивность (ПСП), или общее число семязачатков в завязи, принималась равной числу члеников плода. Помимо реальной семенной продуктивности (РСП), определяемой как число полноценных семян в бобе, подсчитывалась условно-реальная семенная продуктивность (УРСП) как сумма полноценных и начавших развитие, но не вызревших (поражённых или щуплых) семян. Коэффициент семенификации вычислялся как для реальной семенной продуктивности ($K_{C(РСП)}$), так и для условно-реальной ($K_{C(УРСП)}$). В связи с тем, что распределение счётных показателей семенной продуктивности отклоняется от нормального, статистическое сравнение частот вариантов для каждого показателя было выполнено с помощью непараметрического критерия хи-квадрат (χ^2). В 2020 г. определялись также показатели семенной продуктивности в расчёте на соцветие и на особь.

Результаты исследования

Экспедиционные исследования 2019–2021 гг. показали, что распространение *Hedysarum grandiflorum* в регионе шире, чем приводится в Красной книге Ростовской обл. [Шишлова, Шмараева, 2014]. Все рассматриваемые далее местонахождения вида обнаружены впервые. Произрастание копеечника крупноцветкового впервые отмечено в низовьях р. Калитва (Белокалитвинский р-н, первая находка в районе), западной пограничной части Тарасовского р-на по р. Митякинка. В Аксайском р-не выявлены наиболее южные местонахождения по правобережью долины Нижнего Дона (две ценопопуляции, первые находки в районе). Особый интерес представляет обнаружение *H. grandiflorum* в системе балок по правому берегу р. Сал – левого притока нижнего течения Дона (Волгодонский р-н, первая находка в районе). До настоящего времени местонахождения данного вида к югу от нижнего течения Дона были известны лишь по берегу Цимлянского водохранилища.

В настоящей работе представлены результаты изучения 8 ЦП *Hedysarum grandiflorum* из 6 административных районов Ростовской обл.: Аксайского (2 ЦП), Белокалитвинского, Волгодонского, Дубовского (2 ЦП), Красносулинского и Тарасовского (рис. 1). Для Аксайского, Белокалитвинского и Волгодонского р-нов данный вид приводится впервые. По географической локализации популяции *H. grandiflorum* были разделены на правобережные (популяции 1–4 и 8), принадлежащие к бассейну р. Дона в нижнем его течении (Аксайский р-н) или к бассейну Северского Донца, крупнейшего правого притока Нижнего Дона (Красносулинский, Белокалитвинский, Тарасовский р-ны), и левобережные (популяции 5–7), относящиеся к бассейну р. Сал или балок, впадающих непосредственно в ложе Цимлянского водохранилища по его левому борту.

Описание условий произрастания ЦП представлено ниже.

ЦП1. Аксайский р-н, 0,5 км к северу от пос. Пчеловодный, правый коренной берег р. Аксай, верхняя часть остепнённого приводораздельного склона. Почвы: маломощный (смытый) щебневатый северопри-

азовский высококарбонатный чернозём на известняке-ракушечнике. Сообщество: разнотравно-дерновиннозлаковая каменистая степь; ассоциация *Stipa lessingiana* + петрофитно-степное разнотравье.



Рис. 1. Географическая локализация обследованных ценопопуляций *Hedysarum grandiflorum*
[Geographical location of studied populations of *Hedysarum grandiflorum*]

ЦП2. Аксайский р-н, близ южной окраины пос. Реконструктор, степной склон балки, открывающейся в долину р. Аксай. Почвы: маломощный североприазовский чернозём на известняке-ракушечнике. Сообщество: разнотравно-крупнокобыльная каменистая степь; ассоциация *Stipa zaleskii* + петрофильно-степное разнотравье.

ЦП3. Красносулинский р-н, 4.5 км на запад от хутора (х.) Большая Федоровка, вершина поперечного отвершка балки Ясеновской, склон юго-западной экспозиции. Почвы: маломощный чернозём на плотном песчанике. Сообщество: разнотравно-дерновиннозлаковая степь; ассоциация: *Stipa lessingiana* – *Bromopsis riparia* – *Festuca valesiaca* + разнотравье.

ЦП4. Белокалитвинский р-н, восточная окраина х. Крутинского, средняя часть склона левого коренного берега р. Калитвы. Почвы: чернозём примитивный на выветрелом песчанике. Сообщество: каменистая степь; ассоциация: *Festuca valesiaca* – *Stipa lessingiana* – *Thymus dimorphus*.

ЦП5. Волгодонский р-н, в 6.5 км западнее от х. Семёнкин, правый берег р. Сал, водораздел поперечных балочек балки Чапелы. Почвы: чернозём южный маломощный. Со-

общество: каменистая степь; ассоциация *Galatella villosa* + *Festuca rupicola* + разнотравье.

ЦП6. Дубовский р-н, 4 км к югу от ст-цы Малая Лучка, вершина склона балки, впадающей в Цимлянское водохранилище, в ее истоке. Почвы: каштановые на лёссовидном суглинке. Сообщество: дерновинно-злаковая степь; ассоциация *Stipa lessingiana* + *Festuca rupicola* – *Centaurea taliewii*.

ЦП7. Дубовский р-н, 2.9 км юго-западнее х. Алдабульского, вершина склона балки Баклановской, мергелевая грядка. Почвы: чернозём примитивный на щебнистом мергеле. Сообщество: каменистая степь; ассоциация *Stipa lessingiana* + *Cephalaria uralensis*.

ЦП8. Тарасовский р-н, в 1.5 км северо-западнее х. Зелёновка, правый берег р. Митякинка, верхняя часть мелового склона западной экспозиции. Почвы: смытый чернозем на плотном мергеле. Сообщество: каменистая степь; ассоциация: *Festuca rupicola* + *Stipa capillata* + разнотравье.

Сведения о структурных характеристиках травостоя и количественных показателях ЦП приведены в табл. 1.

Все изученные ценопопуляции относительно невелики по численности (от 48 до 400–500 особей без учёта проростков) и занимаемой площади (как правило, несколько сотен квадратных метров, лишь для популяций 1, 3 и 6 свыше 1000 м²).

В большинстве местонахождений *H. grandiflorum* отличается сравнительно более высоким обилием относительно других видов разнотравья, не поднимаясь при этом до статуса субдоминанта, как это отмечается Н.А. Супрун [2013] в Волгоградской, а В.Н. Ильиной [2014, 2019] – в Самарской обл.

Пространственное распределение особей копеечника характеризуется отчётливо выраженной контактичностью. Участки сгущений имеют от 2 до 5 м в диаметре; между ними растения копеечника встречаются со значительно меньшей плотностью. Плотность расположения агрегаций растений, число и распределение особей в промежутках между агрегациями находятся в прямой зависимости от общей численности популяции. Результаты наблюдений согласуются с данными, полученными В.Н. Ильиной [2013а, 2019] для средневолжских популяций вида. Общая плотность растений в местах концентрации на площади геоботанического описания варьирует от 2 ± 0 до 7 ± 2 экз./м², плотность генеративных особей – от 2 ± 0 до 5 ± 0 экз./м². Средняя плотность растений, с учётом характера их распределения, оказывается существенно ниже. Наблюдаемые значения плотности далеки от оптимальных величин, что объясняется общей малочисленностью популяций [Ильина, 2019].

Возрастная структура ценопопуляций определялась в 3 ЦП (ЦП1 в 2019 и 2020 гг., ЦП6 и 7 в 2021 г.) с выделением всех категорий онтогенетических состояний, в ЦП3 (2020 г.) и 5 (2021 г.) – с выделением

трёх онтогенетических периодов: прегенеративного, генеративного и постгенеративного. Для копеечника крупноцветкового в Ростовской области во второй половине лета характерно явление полупокоя, выражающееся в усыхании и сбрасывании листочков на трети – половине листьев текущего года, что существенно усложняет учёт растений ранних прегенеративных состояний. В этой связи в популяциях 2, 4 и 8, которые обследовались в середине – второй половине июля, выявления онтогенетических спектров не проводилось.

Таблица 1

Основные количественные характеристики ценопопуляций *Hedysarum grandiflorum* и содержащих их фитоценозов

[General quantitative characters of *Hedysarum grandiflorum* coenopopulations and plant communities containing them]

№ ЦП	Год обследования	Общая площадь, м ²	Общая численность	Число видов в составе ценоза	ОПП травостоя, %	Проективное покрытие <i>H. grandiflorum</i> , %	Средняя общая плотность, экз./м ²	Средняя плотность генеративных растений, экз./м ²	Антропогенная нагрузка
1	2019	5000	400 – 500	50	80	25	3 ± 1	2 ± 0	Умеренная (рекреация)
2	2019	200	75 – 80	31	75	10	–*	–	Незначительная (рекреация)
3	2020	2000	300 – 400	60	75	40	7 ± 2	3 ± 1	Слабая (следы выпаса)
4	2020	300	48	51	60	20	–	–	Высокая (выпас)
5	2021	350	50	35	40	25	5 ± 1	5 ± 0	Высокая (выпас)
6	2021	1300	150 – 200	28	50	30	–	–	Умеренная (выпас)
7	2021	500	100 – 120	22	30	30	–	–	Слабая (выпас)
8	2021	500	150	51	80	30	–	2 ± 0	Высокая (выпас)

* – величина не оценивалась.

Для всех обследованных популяций оказались характерны такие особенности онтогенетического спектра, как низкая доля особей постгенеративного периода (от 0 до 3.3%, при этом сенильные особи были обнаружены лишь в 2019 г. в ЦП1) и весомое преобладание генеративных растений (70.0–94.7%). Исключение составила лишь ЦП Красносулинского р-на, где в местах концентрации растений доля особей прегенеративного возраста составила 59.5%, в том числе суммарная доля иматурных и виргинильных растений равнялась общей доле генеративных экземпляров. Наблюдаемое успешное семенное возобновление может быть отчасти обусловлено относительно высокой плотностью ценопопуляции (7 ± 2 растения на 1 м² в местах учёта). Как показано В.Н. Ильиной и др. [2021], взрослые растения, формируя условия среды, играют защитную роль для проростков. Существенный вклад могли также внести благоприятные погодные условия весны – начала лета 2020 г. (ранняя тёплая и солнечная весна и большое количество осадков в мае – начале июня).

Онтогенетическая структура ЦП 1, 6 и 7 отражена в табл. 2.

Подробно охарактеризованные популяции можно оценивать как нормальные, полночленные (ЦП1, 2019 г.) или чаще неполночленные (отсутствуют проростки и сенильные особи, иногда также ювенильные растения). Модальный класс распределения в ЦП1 за оба года наблюдений и в ЦП6 – зрелые генеративные растения. Онтогенетический спектр ЦП1 (Аксайский р-н) имеет выраженный правосторонний характер с долей зрелых генеративных особей, равной или превышающей долю молодых генеративных растений, тогда как в обеих ценопопуляциях Дубовского р-на (ЦП6 и 7) доля растений стадии g₃ оказалась крайне низкой (0–1.3%), при этом в ЦП7 доля молодых генеративных особей незначительно превышает процентное содержание растений среднего генеративного возраста.

Соотношение особей различных возрастных состояний в значительной степени определяется сезоном года. В особенности отчётливо это проявляется на примере ЦП1 Аксайского р-на: в 2019 г., когда выявление онтогенетической структуры проводилось в середине мая, суммарная доля проростков и ювенильных растений текущего года составила 5.0%, тогда как в 2020 г. в результате учёта, проведённого в середине июля, особей данных возрастных состояний выявлено не было. Наблюдаемое изменение обусловлено главным образом массовой гибелью проростков к середине вегетационного периода, что выступает характерной особенностью сезонной динамики возрастной структуры популяций изучаемого вида [Ильина, 2012]. Неполночленность онтогенетических спектров ЦП *H. grandiflorum* Дубовского района в части

отсутствия проростков и ювенильных особей уже во второй половине мая (в ЦП6 также имматурных растений), вероятнее всего, обусловлена их элиминацией в результате пасквальной нагрузки.

Таблица 2

Характеристика возрастного состава популяций *H. grandiflorum*
[Characterization of *H. grandiflorum* populations' ontogenetic structure]

№ популя- ции, год набл.	Особь	Возрастные группы								
		p	j	im	v	g1	g2	g3	ss	s
ЦП1, 2019	кол-во	1	5	4	11	22	51	22	2	2
	%	0.83 ± 0.83	4.17 ± 1.82	3.33 ± 1.64	9.17 ± 2.63	18.33 ± 3.53	42.50 ± 4.51	18.33 ± 3.53	1.67 ± 1.17	1.67 ± 1.17
ЦП1, 2020	кол-во	0	0	2	2	11	50	16	2	0
	%	0 ± 0	0 ± 0	2.41 ± 1.68	2.41 ± 1.68	13.25 ± 3.72	60.24 ± 5.67	19.28 ± 4.33	2.41 ± 1.68	0 ± 0
ЦП6, 2021	кол-во	0	0	0	4	14	56	1	0	0
	%	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	5.33 ± 2.59	18.67 ± 4.50	74.67 ± 5.02	1.33 ± 1.32	0 ± 0	0 ± 0
ЦП7, 2021	кол-во	0	0	4	19	29	27	0	1	0
	%	0 ± 0	0 ± 0	5.00 ± 2.44	23.75 ± 4.76	36.25 ± 5.37	33.75 ± 5.29	0 ± 0	1.25 ± 1.24	0 ± 0

Демографические показатели, отражающие состояние изученных популяций, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Некоторые демографические показатели нижнедонских популяций *H. grandiflorum*
[*H. grandiflorum* Lower Don populations' demographic characteristics]

№ популяции, год наблюдений	Соотношение возрастных групп, %: (p+j+im+v) : (g1+g2+g3) : (ss+s)	Соотношение возрастных групп, %: g1:g2:g3	Индекс восстановления (I_b)	Индекс замещения (I_s)	Индекс старения (I_{cr})	Индекс возрастности (Δ)	Индекс эффективности (ω)	Тип популяции по критерию «дельта-омега»	Тип популяции по классификации Л.А. Жуковой и Т.А. Полянской
ЦП1, 2019	17.43:79.16:3.34	23.16:53.68:23.16	0.22	0.21	0.04	0.440	0.771	зрелая	Неустойчивая
ЦП1, 2020	4.82:92.77:2.41	14.29:64.94:20.78	0.05	0.05	0.03	0.503	0.883	зрелая	Неустойчивая
ЦП3, 2020	59.52:40.48:0	–	1.47	1.47	0.00	–	–	–	Перспективная
ЦП5, 2021	11.54:88.46:0	–	0.13	0.13	0.00	–	–	–	Неустойчивая
ЦП6, 2021	5.33:94.67:0	19.72:78.87:1.41	0.06	0.06	0.00	0.440	0.926	зрелая	Неустойчивая
ЦП7, 2021	28.75:70.00:1.25	51.79:48.21:0	0.41	0.40	0.02	0.308	0.737	зреющая	Неустойчивая

По классификации, предложенной Л.А. Жуковой и Т.А. Полянской [2013] на основе индекса замещения, большинство обследованных ЦП с долей растений прегенеративного периода от 4,8 до 28,8% и индексами замещения, колеблющимися от 0,05 до 0,40, было отнесено к категории неустойчивых. Исключение составляет ЦП3 (Красносулинский р-н), онтогенетическая структура которой позволяет рассматривать её как перспективную ($I_b = 1,47$). По классификации «дельта – омега» ЦП1 и 6 были отнесены к группе зрелых, тогда как ЦП7 – к категории зреющих.

Сравнение полученных данных с результатами исследований В.Н. Ильиной [2013а, 2019], А.А. Мулдашева и др. [2013], Н.А. Супрун [2013], Л.М. Абрамовой и др. [2015, 2019], Б.М. Фардеевой и

А.М. Зариповой [2018] в других регионах России показывает следующее. Онтогенетический спектр нижнедонских популяций *H. grandiflorum* по соотношению групп растений разных периодов онтогенеза и преобладанию средневозрастных генеративных особей в целом соответствует базовому онтогенетическому спектру популяций вида Средней Волги [Ильина, 2019] и Предуралья [Абрамова и др., 2015, 2019]. Вместе с тем, правосторонний характер распределения, связанный с более слабой представленностью в большинстве изученных ЦП молодых генеративных и в особенности прегенеративных растений, обусловил отнесение их к зрелым неустойчивым. Это в большей степени сближает демографическую структуру нижнедонских ЦП копеечника со структурой среднедонских популяций, изученных Н.А. Супрун [2013], среди которых также преобладают зрелые, а также средневожских, представленных преимущественно зрелыми со значительной долей переходных [Ильина, 2019]. В Татарском Закамье [Фардеева, Зарипова, 2018] и Предуралья [Мулдашев и др., 2013; Абрамова и др., 2015, 2019] большинство ценопопуляций вида отнесено к молодым перспективным, в волгоградской части Приволжской возвышенности [Супрун, 2013] – к переходным. Таким образом, онтогенетическая структура популяций *H. grandiflorum* у южных пределов распространения в европейской части России свидетельствует о большей уязвимости их естественного воспроизводства по сравнению с популяциями в центральной части ареала и у северных и восточных его границ.

Сравнительный анализ количественных характеристик и демографической структуры ЦП копеечника на Нижнем Доне в различных условиях произрастания свидетельствует о том, что ведущим фактором, в современных условиях Ростовской обл., определяющим численность, устойчивость и способность к самовоспроизводству популяций *H. grandiflorum*, выступает антропопрессия, выражающаяся прежде всего в форме пасквальной нагрузки. Этот фактор наиболее значим для левобережных популяций, обуславливая низкую плотность ЦП6 и 7 копеечника в Дубовском р-не, малую общую численность ЦП5 в Волгодонском, а также ЦП4 в Белокалитвинском р-нах. Влияние рекреационной нагрузки (ЦП1) несколько менее существенно.

Решающая роль антропогенного фактора подтверждается данными о возрастной структуре ЦП1, 3, 5–7. Как показано В.Н. Ильиной [2015] по итогам многолетних исследований *H. grandiflorum* в Самарской обл., в условиях значительной антропогенной нагрузки общая доля генеративных особей в популяциях данного вида возрастает с 64 до более 80%. Среди анализируемых популяций из Ростовской обл. такое распределение свойственно ЦП1, 5 и 6; популяция 7 занимает промежуточное положение, тогда как в ЦП3, произрастающей в условиях незначительной антропопрессии, прегенеративные особи преобладают над генеративными. Одновременно с этим, увеличения доли старовозрастных генеративных и сенильных растений в популяциях 1, 6 и 7 не наблюдалось, абсолютный максимум здесь приходится на особи возрастной стадии g_2 , реже g_1 . Это позволяет предположить, что уровень антропогенной нагрузки на описываемые сообщества не является критическим для поддержания популяций копеечника.

Среди других значимых факторов, определяющих состояние популяций копеечника крупноцветкового в Ростовской обл., необходимо назвать климатические и эдафические условия местообитания. По данным М.В. Лаврентьева и В.А. Болдырева [2017], *H. grandiflorum* – достаточно стенобионтный вид, оптимум развития которого наблюдается на маломощных небогатых почвах, развивающихся на карбонатных породах, при среднем степном увлажнении. Лимитирующим фактором для нижнедонских популяций вида у юго-восточного предела распространения (ЦП5, 6), вероятнее всего, является недостаточное количество осадков. Относительная малочисленность и низкая общая средняя плотность левобережных популяций *H. grandiflorum* согласуется с данными, приводимыми в Красных книгах Ростовской обл. [Шишлова, Шмарова, 2014] и Калмыкии [Бакташева, 2014]. Невысокая доля прегенеративных особей в ЦП5–6, наряду с влиянием сбоя, может объясняться сухостью субстрата, ветровой и водной эрозией, как было выявлено Л.М. Абрамовой и др. [2019] в Предуралье. Вместе с тем, возрастной спектр ЦП7 отражает более благоприятную ситуацию в отношении семенного возобновления как по причине менее выраженной пасквальной нагрузки, так и по характеру субстрата – чернозём примитивный на щебнистом мергеле. В ЦП8 сходные эдафические условия частично компенсируют высокую интенсивность выпаса. Популяции копеечника, описанные в западной (ЦП1–3) и северной (ЦП8) частях области, находятся в более благоприятных условиях увлажнения, что положительно сказывается на их состоянии и воспроизводстве.

Структурные характеристики травостоя как фактор, определяющий численность и воспроизводство копеечника, в обследованных популяциях играет менее значимую роль по сравнению с рассмотренными выше. Невысокое проективное покрытие травостоя, наблюдаемое в местообитаниях ЦП 4–7, в большей степени является следствием пастбищной дигрессии степных сообществ. Строгой зависимости между величиной общего проективного покрытия и количественными показателями популяций копеечника не выявлено.

Морфометрические характеристики генеративных растений *H. grandiflorum* в обследованных популяциях приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные морфометрические показатели растений *H. grandiflorum* нижнедонских популяций
[General morphometric characteristics of *H. grandiflorum* plants from Lower Don populations]

№ популяции, год обследования	Высота растения, см	Диаметр растения, см	Число цветоносов
	(x_{min}) $x_{cp} \pm S_x$ (x_{max})	(x_{min}) $x_{cp} \pm S_x$ (x_{max})	(x_{min}) $x_{cp} \pm S_x$ (x_{max})
ЦП1, 2019	(16) 31.6 ± 1.1 (43)	–	(1) 9 ± 1 (42)
	19.23*	–	94.43
ЦП1, 2020	(22) 36.3 ± 1.0 (52)	–	(1) 9 ± 1 (27)
	19.00	–	61.25
ЦП3, 2020	(19) 35.2 ± 2.3 (47)	(36) 51.0 ± 4.3 (61)	(1) 9 ± 3 (28)
	20,43	18.81	92.08
ЦП5, 2021	(13) 18.4 ± 1.9 (24)	(40) 47.0 ± 3.0 (57)	(1) 5 ± 1 (11)
	22.61	14.43	65.10
ЦП6, 2021	(26) 30.9 ± 1.1 (38)	(38) 47.8 ± 2.2 (60)	(9) 23 ± 5 (62)
	12.04	14.28	69.41
ЦП7, 2021	(16) 20.4 ± 1.4 (25)	(23) 39.5 ± 3.1 (58)	(2) 8 ± 1 (15)
	21.70	25.04	53.19
ЦП8, 2021	(40) 50.6 ± 1.2 (58)	(9) 26.5 ± 3.4 (42)	(10) 16 ± 2 (31)
	9.35	43.93	46.94

* Для каждого показателя под чертой указано значение коэффициента вариации C_v , %.

Сравнительный анализ полученных данных с литературными демонстрирует, что наиболее значительные отличия наблюдаются в значении среднего числа цветоносов на растение. По данным В.Н. Ильиной [2005], этот показатель в средневожских популяциях колеблется от 1.0 ± 0.2 до 4.2 ± 0.35 в зависимости от возрастного состояния и уровня жизненности особей, тогда как в ЦП Ростовской обл. он существенно выше – от 5 ± 1 до 23 ± 5 . Это свидетельствует о более благоприятных условиях для формирования соцветий и, вероятнее всего, обусловлено более высокими температурами периода вегетации.

Семенная продуктивность (СП) копеечника крупноцветкового изучалась в двух ЦП Аксайского р-на: в ЦП1 в 2019–2020 гг. и в ЦП2 – в 2019 г. Показатели СП в расчёте на плод приведены в табл. 5 и на рис. 2.

Таблица 5

Показатели семенной продуктивности *Hedysarum grandiflorum* в Аксайском р-не в расчёте на плод
[Seed productivity characteristics per fruit of *Hedysarum grandiflorum* from Aksay district]

№ популяции, год наблюдений	ПСП	РСП	УРСП	$K_{C(РСП)}$, %	$K_{C(УРСП)}$, %
	(x_{min}) $M \pm m_M$ (x_{max})	(x_{min}) $M \pm m_M$ (x_{max})	(x_{min}) $M \pm m_M$ (x_{max})	(x_{min}) $M \pm m_M$ (x_{max})	(x_{min}) $M \pm m_M$ (x_{max})
ЦП1, 2019	(1) 4 ± 0 (6)	(0) 0 ± 0 (2)	(1) 2 ± 0 (5)	9.29 ± 1.40	58.87 ± 1.68
ЦП2, 2019	(1) 3 ± 0 (6)	(0) 0 ± 0 (3)	(1) 2 ± 0 (5)	13.11 ± 1.69	74.72 ± 1.76
ЦП1, 2020	(1) 3 ± 0 (5)	(0) 1 ± 0 (5)	(1) 2 ± 0 (5)	34.54 ± 2.90	77.28 ± 1.85

Потенциальная семенная продуктивность варьирует от 1 до 6 семязачатков на плод в 2019 г. и от 1 до 5 в ЦП1 в 2020 г. Модальный класс распределения совпадает со средним значением показателя и составил 4 семязачатка на плод в ЦП1 по данным 2019 г. и 3 семязачатка на плод в двух остальных случаях. Выявленные отличия в характере распределения показателей ПСП в ЦП1 в 2019 г. от двух других изученных случаев статистически подтверждены ($\chi^2 = 71.8$ по годам наблюдений и $\chi^2 = 31.3$ для двух ЦП в 2019 г.). Наблюдаемая картина в целом соответствует данным других авторов [Кузнецова, 2008; Супрун и др., 2020]. Реальная семенная продуктивность в ЦП копеечника Аксайского р-на в годы наблюдений оказалась очень низкой. Во всех учтённых выборках преобладают плоды, не содержащие полноценных семян. В 2019 г. их доля составила 70.5% в ЦП1 и 66.0% – в ЦП2. Среднее число развитых семян на плод – 0; величины коэффициента семенификации составили 9.29% и 13.11% соответственно. В 2020 г. в ЦП1 большинство плодов также не имело развитых семян, однако их доля снизилась до 40.9%, что сопровождалось существенным увеличением числа плодов с 2 и 3 развитыми семенами. Наблюдаемые различия в структуре реальной семенной продуктивности ценопопуляции 1 по годам наблюдений носят достоверный характер ($\chi^2 = 28.8$), между популяциями в 2019 г. недостоверны. Среднее значение РСП в ЦП1 в 2020 г. составило 1 полноценное семя на плод, коэффициент семенификации $K_{C(РСП)}$ возрос до 34.54%, что можно рассматривать как достаточно высокое значение.

Структура условно-реальной семенной продуктивности в 2019 г. в двух ЦП выглядит очень схожей, с модальным классом распределения 2 завязавшихся семян на плод, что совпадает со средним значением показателя. В 2020 г. в ЦП1 значения УРСП несколько ниже за счёт значительного увеличения доли плодов с одним завязавшимся семенем и менее существенного уменьшения числа плодов с 3 и более семенами. Тем не менее, в отличие от двух предыдущих показателей, значение УРСП на плод не отличается достоверно как в 2019 г. между ценопопуляциями, так и в ЦП1 по годам наблюдений. Коэффициент семенификации для УРСП ($K_{с(урсп)}$) весьма высок и варьирует от 58.87 до 77.28%.

Предполагая, что значения РСП в большей степени зависят от отклонений в развитии семязачатков на презиготических и ранних постзиготических стадиях, тогда как величины УРСП отражают успешность последующих стадий развития формирующихся семян, можно заключить следующее. Величина условно-реальной семенной продуктивности наиболее стабильна и наименее зависит от условий произрастания и текущего сезона. Это свидетельствует об успешности процессов опыления и оплодотворения цветков, как благодаря стабильно низкой степени стерильности семязачатков, так и вследствие предполагаемой высокой активности и регулярной работы опылителей. Крайне невысокие значения реальной семенной продуктивности и её достоверные различия по годам наблюдений однозначно свидетельствуют об экзогенной природе нарушений в развитии завязавшихся семян, причём наибольший вклад, вероятно, вносят погодные условия текущего сезона.

Показатели семенной продуктивности в расчёте на растение определялись в 2020 г. в ЦП1. Среднее число развитых соцветий составило 9 ± 1 ; среднее число плодов в соцветии – 37 ± 1 . Среднее число семязачатков в плоде оказалось равным 3 ± 0 , а у особи – 914. При этом среднее число полноценных семян в плоде составило 1 ± 0 , а у особи – 318.

Сходные значения были получены М.В. Лаврентьевым [2016] в популяциях копеечника южной части Приволжской возвышенности (Саратовская обл.): при пересчёте потенциальная семенная продуктивность оказывается в среднем равна 442 семенам на особь, а реальная – 286 на особь. Однако, учитывая низкие значения $K_{с(рсп)}$ в обеих изученных популяциях в 2019 г., есть все основания предполагать, что в годы, неблагоприятные для вызревания семян, семенная продуктивность *H. grandiflorum* существенно снижается. В частности, коэффициент семенификации для РСП в ЦП1 в 2019 г. был почти в 4 раза ниже по сравнению с 2020 г., тогда как среднее число развитых соцветий у растений ЦП1 за два сезона наблюдений достоверно не различалось. Таким образом, можно заключить, что фактическая семенная продуктивность *H. grandiflorum* в расчёте на растение существенно варьирует по годам, что согласуется с литературными данными о нерегулярном семенном возобновлении данного вида [Супрун, 2013].

Заключение

Ценопопуляции копеечника крупноцветкового в бассейне нижнего течения р. Дона приурочены к типичным местообитаниям вида – каменистым степям на маломощных почвах, сформированных на подстилающих породах различного литологического состава, преимущественно карбонатных. По общей численности, плотности, ценогическим характеристикам популяции *H. grandiflorum* на изучаемой территории уступают популяциям центральной, северной и восточной частей ареала. Основные факторы, ограничивающие распространение и затрудняющие воспроизводство вида на Нижнем Дону – это антропогенное воздействие и, в меньшей степени, климатические и эдафические условия произрастания. Антропогенная нагрузка, преимущественно в форме пастбищной, обуславливает низкую плотность и относительно малочисленность ценопопуляций вида, затрудняя его семенное воспроизводство за счёт эли-

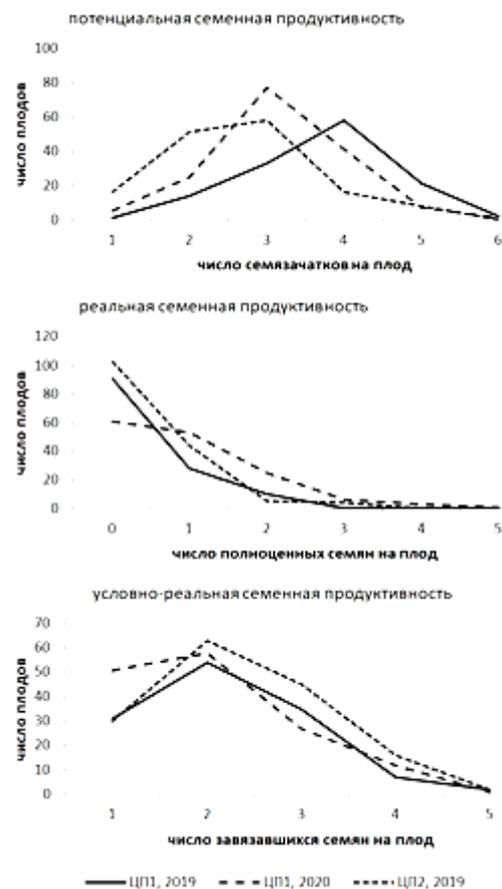


Рис. 2. Структура семенной продуктивности *H. grandiflorum* в расчёте на плод

[*H. grandiflorum* seed productivity structure per one fruit]

минации растений ранних прегенеративных стадий. В условиях незначительной антропопрессии структурные характеристики и онтогенетический состав ценопопуляций приближаются к оптимальным.

Семенная продуктивность *H. grandiflorum* в расчёте на плод в изученных ценопопуляциях в целом очень низка и подвержена погодичным колебаниям, при этом среднее число генеративных единиц на растение больше, чем наблюдается в средневожских популяциях вида. Фактическую семенную продуктивность в расчёте на особь можно расценивать как удовлетворительную.

Состояние большинства обследованных популяций центральных и западных районов Ростовской обл. стабильно и не вызывает опасений, тогда как численность и воспроизводство ценопопуляций у юго-восточной границы распространения вида лимитируется уровнем антропогенной нагрузки на экотоп. Результаты исследования подтверждают соответствие категории редкости *Hedysarum grandiflorum*, принятой в действующем издании Красной книги Ростовской области, текущему состоянию популяций вида в пределах региона.

Список источников

1. Абрамова Л.М., Каримова О.А., Мустафина А.Н. Структура ценопопуляций редкого вида *Hedysarum grandiflorum* Pall. в петрофитных степях Предуралья // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы VI Всерос. конф. Йошкар-Ола, 2015. С. 136–138.
2. Абрамова Л.М. и др. Структура и состояние популяций трёх редких видов рода *Hedysarum* (*Fabaceae*) на Южном Урале // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 5. С. 729–740.
3. Ахметова А.Ш., Зарипова А.А. Размножение видов рода *Hedysarum* L. *in vitro*. // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы V Междунар. науч. конф. Йошкар-Ола, 2013. Ч. I. С. 227–230.
4. Бакташева Н.М. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Республики Калмыкия. Элиста: Джангар, 2014. Т. 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения растения и грибы. С. 130.
5. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. 1974. Т. 59, вып. 6. С. 826–831.
6. Васильева Л.И. Род Копеечник – *Hedysarum* L. // Флора европейской части СССР. Л.: Наука, 1987. Т. 7. С. 87–93.
7. Дёмина О.Н., Никитина С.В. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. С. 240–241.
8. Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
9. Жукова Л.А. Динамика ценопопуляций луговых растений в естественных фитоценозах // Динамика популяций травянистых растений. Киев: Наукова думка, 1987. С. 9–19.
10. Жукова Л.А., Полянская Т.А. О некоторых подходах к прогнозированию перспектив развития ценопопуляций растений // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2013. Вып. 32, № 31. С. 160–171.
11. Ильина В.Н. Жизненность и виталитетная структура ценопопуляций *Hedysarum grandiflorum* Pall. и *H. rasoumovianum* Fisch. et Helm в Самарской области // Самарская Лука: Бюл. 2005. № 16. С. 179–186.
12. Ильина В.Н. Онтогенез копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall.) // Онтогенетический атлас растений. Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. Т. 5. С. 126–132.
13. Ильина В.Н. Особенности погодичной и сезонной динамики онтогенетической структуры популяций копеечника крупноцветкового // Раритеты флоры Волжского бассейна: докл. участников II Рос. науч. конф. Тольятти: Кассандра, 2012. С. 109–110.
14. Ильина В.Н. О биоэкологических особенностях копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall., *Fabaceae*) в Самарской области // Самарский научный вестник. 2013а. № 4(5). С. 78–80.
15. Ильина В.Н. Перспективы интродукции некоторых видов семейства бобовые в связи с особенностями начальных периодов онтогенеза // Самарский научный вестник. 2013б. № 3(4). С. 44–47.
16. Ильина В.Н. Структура и состояние популяций средневожских видов рода *Hedysarum* L. (*Fabaceae*) // Самарский научный вестник. 2014. № 2(7). С. 37–40.
17. Ильина В.Н. Изменения базовых онтогенетических спектров популяций некоторых редких видов растений Самарской области при антропогенной нагрузке на местообитания // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2015. Т. 24, № 3. С. 144–170.
18. Ильина В.Н. Онтогенетическая структура и типы ценопопуляций копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall.) в бассейне Средней Волги // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. (Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. Биол. науки). 2019. Т. 64, № 3. С. 302–310.
19. Ильина В.Н. и др. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Самарской области. Самара, 2017. Т. 1. Редкие виды растений и грибов. С. 121.
20. Ильина В.Н., Атаджанов И.Р., Власенко Н.В. Об онтогенетических консорциях *Hedysarum grandiflorum* на особо охраняемых природных территориях Самарской области // Самарская Лука: проблемы

региональной и глобальной экологии. 2021. Т. 30, № 2. С. 59–60.

21. Князев М.С. Бобовые (*Fabaceae* Lindl.) Урала: видообразование, географическое распространение, эколого-исторические свиты: дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2014. Т. 1. 144 с.

22. Кузнецова М.Н. Семенное воспроизведение Копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall.) // Современные проблемы морфологии и репродуктивной биологии семенных растений: материалы междунар. конф. Ульяновск, 2008. С. 75–84.

23. Лаврентьев М.В. Характеристика репродуктивных особенностей *Hedysarum grandiflorum* (Fabaceae) в южной части Приволжской возвышенности // Бюллетень Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2016. Т. 14, вып. 2. С. 35–43.

24. Лаврентьев М.В. Особенности охраны *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Экобиотех. 2019, Т. 2, № 4. С. 515–519.

25. Лаврентьев М.В., Болдырев В.А. Характеристика местообитаний и адаптации к ним *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae, Dicotyledones) в южной части Приволжской возвышенности // Поволжский экологический журнал. 2017. № 1. С. 54–61.

26. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 350 с.

27. Малаева Е.В. Изучение особенностей микроклонального размножения некоторых видов редких растений // Актуальные вопросы теории и практики биологического образования: материалы 10 всерос. науч.-практ. конф. М.: Планета, 2016. С. 93–95.

28. Мулдашев А.А., Маслова Н.В., Галеева А.Х. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Республики Башкортостан. Уфа: МедиаПринт, 2011. Т. 1. Растения и грибы. С. 153.

29. Мулдашев А.А. и др. Создание искусственных популяций редких видов рода *Hedysarum* L. (Fabaceae) в Республике Башкортостан // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1(7). С. 1791–1795.

30. Мулдашев А.А. и др. Характеристика возрастного состава популяций *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) в Башкирском Предуралье // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 10(159). С. 198–201.

31. Новикова Л.А. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Пензенской области. Пенза, 2013. Т. 1. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения. С. 124.

32. Супрун Н.А. Структура популяций *Hedysarum grandiflorum* Pall. в Волгоградской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 3(1). С. 346–351.

33. Супрун Н.А. Копеечники (*Hedysarum* L.) Нижнего Поволжья: изменчивость и систематика: дис. ... канд. биол. наук. М., 2014. 160 с.

34. Супрун Н.А. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Волгоградской обл. Воронеж: Издат-Принт, 2017. Т. 2. Растения и другие организмы. С. 136.

35. Супрун Н.А., Малаева Е.В., Шумихин С.А. Особенности семенного размножения *Hedysarum grandiflorum* Pall. *ex situ* и *in vitro* // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2020. Вып. 4. С. 286–293.

36. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. 1975. № 2. С. 7–34.

37. Фардеева М.Б., Зарипова А.М. Состояние популяций *Hedysarum grandiflorum* Pall. и *Oxytropis hippolyti* Boriss. на границе ареала // Систематические и флористические исследования Северной Евразии: материалы II междунар. конф. М., 2018. С. 80–84.

38. Шайхутдинова Г.А. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). Казань: Идел-Пресс, 2016. С. 388–389.

39. Шишлова Ж.Н., Шмараева А.Н. Копеечник крупноцветковый *Hedysarum grandiflorum* Pall. // Красная книга Ростовской области. Ростов-на-Дону, 2014. Т. 2. Растения и грибы. С. 196.

40. Maslova N.V., Muldashev A.A., Elizaryeva O.A. Creating Rare Species Artificial Populations of the Genus *Hedysarum* L. (Fabaceae) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. P. 022200.

References

1. Abramova L.M., Karimova O.A., Mustafina A.N. [Structure of rare species *Hedysarum grandiflorum* Pall. coenopopulations in Pre-Ural petrophytic steppes]. *Principy i sposoby sochranenija bioraznoobrazija* [Principles and methods of biodiversity conservations: Proceedings of the 6-th All-Russian conference with international participation]. Yoşkar-Ola, 2015, pp. 136–138. (In Russ.).

2. Abramova L.M., Mustafina A.N., Karimova O.A., Şigapov Z.Kh. [Population structure and state of three rare *Hedysarum* species (Fabaceae) on the Southern Ural]. *Botaniĉeskij žurnal*. V. 104, No 5 (2019): pp. 729–740. (In Russ.).

3. Akhmetova A.Sh., Zaripova A.A. [In vitro *Hedysarum* L. species propagation]. *Prinstipy i sposoby sokhranenia bioraznoobraziya* [Principles and methods of biodiversity conservations: Proceedings of the 5-th International conference]. Yoşkar-Ola, 2013, part 1, pp. 227–230. (In Russ.).

4. Baktasheva N.M. [*Hedysarum grandiflorum* Pall.]. *Krasnaja kniga Respubliki Kalmykija* [Red Book of Kalmykia Republic. V 2. Rare and endangered plants and fungi]. Elista, Džangar Publ., 2014, p. 130. (In Russ.).

5. Vaynagiy I.V. [To the technique for the plant seed productivity research]. *Botaničeskij žurnal*. V. 59, No 6 (1974): pp. 826-831. (In Russ.).
6. Vassilyeva L.I. [Genus *Hedysarum* L.]. *Flora evropejskoj časti SSSR* [Flora of the European part of USSR]. Leningrad, 1987, V. 6: pp. 87-93. (In Russ.).
7. Dyomina O.N., Nikitina S.V. [*Hedysarum grandiflorum* Pall.]. *Krasnaja kniga Rossijskoj Federacii (rastenija i griby)* [Red Book of Russian Federation (plants and fungi)]. Moscow, 2008, pp. 240-241. (In Russ.).
8. Životovskiy L.A. [Ontogenetic states, effective density, and classification plant populations]. *Ekologija*. No 1 (2001): pp. 3-7. (In Russ.).
9. Žukova L.A. [Coenopopulation dynamics of meadow plants in natural phytocoenoses]. *Dinamika populjacij travjanistych rastenij* [Population dynamics of herbal plants]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. pp. 9-19. (In Russ.).
10. Žukova L.A., Pol'anskaya T.A. [About some approaches to forecasting of plant coenopopulations development prospects]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologija i ekologija*. V 32, N 31 (2013): pp. 160-171. (In Russ.).
11. Ilyina V.N. [Vitality condition and vitality structure of *Hedysarum grandiflorum* Pall. and *H. rasoumovianum* Fisch. coenopopulations in Samara Region]. *Samarskaja Luka. Bull.* No. 16 (2005): pp. 179-186. (In Russ.).
12. Ilyina V.N. [Ontogenesis of *Hedysarum grandiflorum* Pall.]. *Ontogenetičeskij atlas rastenij. T. 5*. [Atlas of plant ontogenesis. V. 5]. Yoškar-Ola, 2007, pp. 126-132. (In Russ.).
13. Ilyina V.N. [Characteristic features of seasonal and year-to-year dynamics of *Hedysarum grandiflorum* populations ontogenetic structure]. *Rariteti flory Volžskogo bassejna* [Rarities of Volga basin flora: reports of participants of 2-nd Russian scientific conference]. Togliatti, 2012, pp. 109-110. (In Russ.).
14. Ilyina V.N. [On the biological and ecological features of *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) in Samara Region]. *Samarskij naučnyj vestnik*. No 4(5) (2013a): pp. 78-80. (In Russ.).
15. Ilyina V.N. [Perspectives of some *Fabaceae* species introduction in the connection with the features of their ontogenesis initial stages]. *Samarskij naučnyj vestnik*. No 3(4) (2013b): pp. 44-47. (In Russ.).
16. Ilyina V.N. [Structure and population condition of the Middle Volga populations of *Hedysarum* L. (Fabaceae)]. *Samarskij naučnyj vestnik*. No 2(7) (2014): pp. 37-40. (In Russ.).
17. Ilyina V.N. [Changes of the basic ontogenetic spectra of some rare plant species of Samara Region under anthropogenic impact to their habitats]. *Samarskaja Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii*. V. 24, No 3 (2015): pp. 144-170. (In Russ.).
18. Ilyina V.N. [Ontogenetic structure and coenopopulation types of *Hedysarum grandiflorum* Pall. in Middle Volga basin]. *Vesci Nacyjanal'naj akademii navuk Belarusi. Seriya bijalagičnych navuk*. V. 64, No 3 (2019): pp. 302-310. (In Russ.).
19. Ilyina V.N., Mitrošenkova A.E., Saksonov S.V., Šaronova I.V. *Hedysarum grandiflorum* Pall. *Krasnaja kniga Samarskoj oblasti. T. 1. Redkie vidy rastenij i gribov* [Red Book of Samara Region. V 1. Rare species of plants and fungi]. Samara, 2017, p. 121. (In Russ.).
20. Ilyina V.N., Atadžanov I.R., Vlasenko N.V. [To ontogenetic consortia of *Hedysarum grandiflorum* in the specially protected natural areas of Samara Region]. *Samarskaja Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii*. V. 30, No 2 (2021): pp. 59-60. (In Russ.).
21. Knyazev M.S. *Bobovye (Fabaceae Lindl.) Urala: vidoobrazovanie, geografičeskoe rasprostranenie, ekologo-istoričeskije svity. Diss. d-ra biol. nauk*. [Fabaceae Lindl. of Urals: speciation, geographical distribution, ecological-historical species complexes. Doct. diss.]. Ekaterinburg, 2014. V. 1. 144 p. (In Russ.).
22. Kuznetsova M.N. [*Hedysarum grandiflorum* Pall. seed reproduction]. *Sovremennye pribliemy morfologii i reproduktivnoj biologii semennyh rastenij* [Modern problems of morphology and reproductive biology of seed plants: Proceedings of international conference dedicated to memory of R.E. Levina]. Ulyanovsk, 2008, pp. 75-84. (In Russ.).
23. Lavrentyev M.V. [Characteristics of reproductive features of *Hedysarum grandiflorum* (Fabaceae) in Southern part of Volga Upland]. *Bulleten' botaničeskogo sada Saratovskogo universiteta*. V. 14, No 2 (2016): pp. 35-43. (In Russ.).
24. Lavrentyev M.V. [Specificity of *Hedysarum grandiflorum* Pall. protection]. *Ekobiotech*, V. 2, No 4 (2019): pp. 515-519. (In Russ.).
25. Lavrentyev M.V., Boldyrev V.A. [Characteristics of *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae, Dicotyledones) habitats and its adaptations]. *Povolžskij ekologičeskij žurnal*, No 1 (2017): pp. 54-61. (In Russ.).
26. Lakin G.F. *Biometrija* [Biometrics]. Moscow, Vysšaja škola Publ., 1990. 350 p. (In Russ.).
27. Malayeva E.V. [Some rare plant species micropropagation features research]. *Aktual'nye voprosy teorii i praktiki biologičeskogo obrazovanija* [Actual problems of theory and practice of biological education: Proceedings of the 10th All-Russian scientific-practical conference]. Moscow, Planeta Publ., 2016, pp. 93-95. (In Russ.).
28. Muldashev A.A., Maslova N.V., Galeeva A.Kh. [*Hedysarum grandiflorum* Pall.]. *Krasnaya kniga Respubliki Baškortostan. T. 1: Rastenija i griby*. [Red Book of Republic Bashkortostan. V. 1: Plants and fungi]. Ufa, 2011, p. 153. (In Russ.).

29. Muldashev A.A., Elizaryeva O.A., Maslova N.V., Galeeva A.Kh. [Establishment of artificial populations of *Hedysarum L.* (Fabaceae) rare species in Republic Bashkortostan]. *Izvestija Samarskogo naučnogo centra RAN*, V. 14, No 1(7) (2012): pp. 1791-1795. (In Russ.).

30. Muldashev A.A., Maslova N.V., Elizaryeva O.A., Galeeva A.Kh. [Characteristics of *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) populations age structure in Bashkir Pre-Urals]. *Vestnik Orenburgckogo gosudarstvennogo universiteta*, No 10(159) (2013): pp. 198-201. (In Russ.).

31. Novikova L.A. [*Hedysarum grandiflorum* Pall.] *Krasnaja kniga Penzenskoj oblasti. T. 1. Griby, lišajniki, mchi, sosudistyje rastenija* [Red Book of Penza Region. V. 1. Fungi, lichens, bryophytes, vascular plants]. Penza, 2013, p. 124. (In Russ.).

32. Suprun N.A. [*Hedysarum grandiflorum* Pall. population structure in Volgograd Region]. *Izvestiya Samarskogo naučnogo centra RAN*, V. 15, No 3(1) (2013): pp. 346-351. (In Russ.).

33. Suprun N.A. *Kopečniki (Hedysarum L.) Nižnego Povolž'ja: izmenčivost' i sistematika. Diss. kand. biol. nauk.* [Hedysarum L. of Lower Volga region: variation and systematics. Cand. diss.]. Moscow, 2014. 160 p. (In Russ.).

34. Suprun N.A. [*Hedysarum grandiflorum* Pall.] *Krasnaja kniga Volgogradskoj oblasti. T. 2. Rastenija i drugie organizmy.* [Red Book of Volgograd Region. V. 2. Plants and other organisms]. Voronezh, 2017, p. 136. (In Russ.).

35. Suprun N.A., Malayeva E.V., Šumikhin S.A. [Specificity of *Hedysarum grandiflorum* Pall. ex situ and in vitro seed reproduction]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologiya*. Iss. 4 (2020): pp. 286-293. (In Russ.).

36. Uranov A.A. [Phytocoenopopulation age spectrum as a function of time and energetic wave processes]. *Biologičeskie nauki*. No 2 (1975): pp. 7-34. (In Russ.).

37. Fardeeva M.B., Zaripova A.M. [*Hedysarum grandiflorum* Pall. and *Oxytropis hippolyti* Boriss. population state on margins of their distribution areas]. *Sistematičeskie i florističeskie issledovanija Severnoj Evrazii* [Taxonomical and floristic research in the North Eurasia. Proceedings of 2-nd international conference (dedicated to 90th anniversary of prof. A. G. Yelenevskiy birthday)]. Moscow, 2018, pp. 80-84. (In Russ.).

38. Šaykhtudinova G.A. [*Hedysarum grandiflorum* Pall.]. *Krasnaja kniga Respubliki Tatarstan (životnyje, rastenija, griby)* [Red Book of Republic Tatarstan (plants, animals, fungi)]. Kazan', Idel-Press Publ., 2016, pp. 388-389. (In Russ.).

39. Šišlova Ž.N., Šmarayeva A.N. [*Hedysarum grandiflorum* Pall.]. *Krasnaja kniga Rostovskoj oblasti. T. 2. Rastenija i griby.* [Red Book of Rostov Region. V. 2. Plants and fungi]. Rostov-on-Don, 2014, p. 196. (In Russ.).

40. Maslova N.V., Muldashev A.A., Elizaryeva O.A. Creating Rare Species Artificial Populations of the Genus *Hedysarum L.* (Fabaceae). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 272 (2019): pp. 022200.

Статья поступила в редакцию 20.01.2022; одобрена после рецензирования 21.02.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 20.01.2022; approved after reviewing 21.02.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

Т. А. Карасёва – канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники;

О. Ю. Ермолаева – канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники;

С. Д. Бакулин – биолог Ботанического сада ЮФУ;

М. Е. Пукалов – студент бакалавриата кафедры ботаники.

Information about the authors

T. A. Karasyova, candidate of biological sciences, associate professor of the Department of Botany;

O. Yu. Ermolaeva, candidate of biological sciences, associate professor of the Department of Botany;

S. D. Bakulin, biologist of SFU Botany Garden;

M. E. Pukalov, bachelor student of the Department of Botany.

Вклад авторов:

Карасёва Т. А. – научное руководство; сбор исходных данных; статистическая обработка материала; написание исходного текста; итоговые выводы.

Ермолаева О. Ю. – концепция исследования; сбор исходных данных; доработка текста; итоговые выводы.

Бакулин С. Д. – сбор исходных данных; статистическая обработка материала.

Пукалов М. Е. – сбор исходных данных; статистическая обработка материала.

Contribution of the authors:

Karasyova T. A. – research supervisor; primary data collection; statistical processing of the material; writing the draft; final conclusions.

Ermolaeva O. Yu. – research concept; primary data collection; followed revision of the text; final conclusions.

Bakulin S. D. – primary data collection; statistical processing of the material.

Pukalov M. E. – primary data collection; statistical processing of the material.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.9

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-18-21.

**Новое местонахождение редкого вида *Cotoneaster uralensis*
(*Rosaceae*) на Полярном Урале**

Евгений Георгиевич Николин¹

¹ Институт биологических проблем криолитозоны Якутского научного центра СО РАН, Якутск, Россия, enikolin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0053-6713>

Аннотация. Выявлен новый пункт распространения редкого растения, эндемика Среднего, Приполярного и Полярного Урала, – *Cotoneaster uralensis*. Растение занесено в региональные Красные книги РФ – ЯНАО и Х-МАО. Местонахождение этого вида установлено в верховье р. Крестовая (приток р. Лонготъёган), близ осевой линии Полярного Урала, на западной границе Ямало-Ненецкого автономного округа Российской Федерации. Приводятся координаты этого пункта и краткое описание местности. Новая находка вида устраняет разрыв распространения *C. uralensis* между двумя его самыми северными пунктами и семью пунктами, известными южнее.

Ключевые слова: редкий вид сосудистых растений, эндемик, *Cotoneaster uralensis*, региональная Красная книга, местонахождение

Для цитирования: Николин Е. Г. Новое местонахождение редкого вида *Cotoneaster uralensis* (*Rosaceae*) на Полярном Урале // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 18–21. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-18-21>.

Благодарности: Работа выполнена по заданию НП «Российский Центр освоения Арктики» (г. Салехард) по экспертизе территории на возможность расселения снежного барана (*Ovis nivicola* Esch.) на Полярном Урале и в рамках базового проекта ИБПК СО РАН: «Популяции и сообщества животных водных и наземных экосистем криолитозоны восточного сектора российской Арктики и Субарктики: разнообразие, структура и устойчивость в условиях естественных и антропогенных воздействий» (номер научной темы: 0297-2021-0044).

Выражаю глубокую признательность за организационно-техническую помощь директору Некоммерческого партнерства «Российский Центр освоения Арктики» А.Н. Умникову, заместителю начальника отдела координации научной деятельности Департамента внешних связей ЯНАО Д.О. Замятину, заместителю директора Государственного природного парка «Полярно-Уральский» И.Н. Дроздову, водителям вездеходов и всем коллегам, принявшим участие в полевых работах. Благодарю сотрудницу ИБПК СО РАН, к.б.н. Е.И. Троеву за подготовку карты распространения *Cotoneaster uralensis*.

BOTANY

Original article

**New locations of the rare species *Cotoneaster uralensis*
(*Rosaceae*) in the Polar Urals**

Evgenii G. Nikolin¹

¹ Institute for Biological Problems of Cryolithozone Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Russia, enikolin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0053-6713>

Abstract. The study reveals and identifies a new distribution point of a rare plant endemic to the Middle, Circumpolar and Polar Urals, – *Cotoneaster uralensis*. The plant is listed in the regional Red Books of the Russian Federation – namely the Red Books of YANAO and H-MAO. The location of this species installed in the upper river Krestovaya (tributary of the Langotyugan river), close to the centerline of the Polar Urals, on the Western border of the Yamalo-Nenets Autonomous district (YANAO) of the Russian Federation. The article contains coordinates of this point and a brief description of the area. The new discovery of the species eliminates the gap in the distribution of *C. uralensis* between its 2 northernmost points and 7 points to the south known currently.

Keywords: rare species of vascular plants, endemic, *Cotoneaster uralensis*, Regional Red Book, location

For citacion: Nikolin E. G. [New location of the rare species *Cotoneaster uralensis* (Rosaceae) in the Polar Urals]. *Bulletin of Perm University. Biology.* Iss. 1. (2022): pp. 18-21. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-18-21>.

Acknowledgments: The research was carried out at the request of the NP "Russian Center for Arctic Development" (Salekhard, Russia) for the examination of the territory for the possibility of settling snow sheep (*Ovis nivicola* Esch.) in the Polar Urals and within the framework of the basic project of the IBPC SB RAS: "Populations and communities of animals of aquatic and terrestrial ecosystems of the cryolithozone of the eastern sector of the Russian Arctic and Subarctic: diversity, structure and stability under natural and anthropogenic influences" (research topic number: 0297-2021-0044).

I express my deep gratitude for the organizational and technical assistance to A.N. Umnikov, the Director of the Non-Profit Partnership "Russian Center for Arctic Development"; D.O. Zamyatin, the Deputy Head of the Department for Coordination of Scientific Activities of the Department of External Relations of the Yamalo-Nenets Autonomous District; I.N. Drozdov, the Deputy Director of the State Natural Park "Polar-Uralsky", all-terrain vehicle drivers and all colleagues who took part in field work. I thank E.I. Troeva, Ph.D, the employee of the IBPC SB RAS for preparing a map of the spread of *Cotoneaster uralensis*.

Введение

Обособленность *Cotoneaster uralensis* В. Нуймо et Fryer., эндемика Полярного, Приполярного и Северного Урала, описанного в 1999 г., систематиками принимается неоднозначно. В Арктической флоре СССР [1984] растения рода *Cotoneaster* с Полярного Урала были отнесены к широко распространенному азиатскому виду *C. uniflorus* Bunge. При этом автором обзора этого рода в Арктической флоре, В.Н. Гладковой, подразумевалась обособленность *C. uniflorus* от *C. cinnabarius* Juz. А *C. cinnabarius* рассматривался как эндемичный для Кольского полуострова гипоарктический вид. В таксономической и номенклатурной ревизии рода *Cotoneaster*, выполненной для Атласа флоры Европы, Aleksander N. Sennikov [Sennikov, 2011] отождествляет *C. uralensis* с *C. cinnabarius* Juz., рассматривая последний как гипоарктический вид, распространенный от Кольского полуострова до Урала. Вероятно, не стоит игнорировать мнение М.С. Князева, который в дополнение к типовым критериям *C. uralensis* [Нуймо, Fryer, 1999], привел и усредненные отличительные признаки этого вида [Князев, 2007]. А поскольку *C. uralensis* все же имеет некоторые отличия от *C. cinnabarius* s. str., понимаемого в узком смысле, как и от других близких видов, остановимся на новом местонахождении *C. uralensis* на Полярном Урале, которое частично перекрывает разрыв его распространения между другими известными пунктами.

C. uralensis – редкий вид, занесенный в перечень растений, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде Красной книги Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) РФ [Красная ..., 2010] и в категорию 3 (редкий вид, эндемик Урала) Красной книги Ханты-Мансийского автономного округа (Х-МАО) [Красная ..., 2013]. По данным М.С. Князева, составителя очерков выше упомянутых Красных книг, известно 3 пункта распространения *C. uralensis* на территории Х-МАО и 9 пунктов – в ЯНАО. Характерные места произрастания вида на Полярном Урале – скалистые останцы и каменные россыпи в тундровом поясе [Растительные ..., 2006]. На территории ЯНАО все пункты нахождения *C. uralensis* вытянуты в меридиональном направлении, по осевой линии Полярного Урала, вдоль западной границы округа (рис. 1).

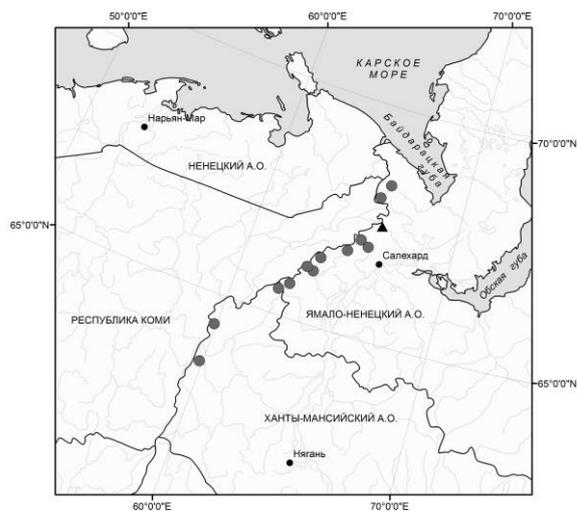


Рис. 1. Пункты распространения *Cotoneasner uralensis* на Полярном Урале (серые кружки – пункты известные ранее [Красная ..., 2010; 2013], черный треугольник – новое местонахождение). Сплошные черные линии – границы административных территорий Российской Федерации). Карта подготовлена Е.И. Троевой [Distribution points of *Cotoneasner uralensis* in the Polar Urals (gray circles are previously known points [Krasnaja ..., 2010; 2013], a new location is marked with the black triangle). Solid black lines represent the borders of the administrative territories of the Russian Federation). The map was prepared by E.I. Troeva]

Материал и методы исследования

Полевые работы проводились в верховьях р. Собы (руч. Нырдомэн-Шор), Лонготъёган и Большая Хадата, в период с 20 по 30 августа 2020 г. *C. uralensis* обнаружен в единственном пункте 25.08.2020 г. Местонахождение вида фиксировалось GPS-навигатором и фотографированием. Гербарный образец (ветвь растения) находится в фондах гербария ИБПК СО РАН (SASY).

Результаты исследования

Пункт нахождения вида относится к правому притоку р. Немурёган – р. Крестовой, на удалении от их слияния около 6.5 км (см. рис. 1). Локализация: склон южной экспозиции (обращенный к руслу р. Крестовой) безымянной горы (условно обозначенной нами как гора «Белая» из-за контрастирующей белой тональности горных пород на ее склонах), расположенной в левобережье р. Крестовой, за впадением малого ручья (левого притока). Небольшая популяция вида (несколько полупростратных кустиков) обнаружена в верхней части скального выступа, на его ребре, обращенном к юго-западу (рис. 2, 3). Приблизительные координаты: 67°25'05" с.ш., 066°09'10" в.д. Высота местности около 350 м над ур. м. У одного из растений наблюдалось плодоношение – единичные вызревшие плоды оранжевого цвета (рис. 4).



Рис. 2. Юго-западный склон скальных выступов горы «Белая» – местонахождение локальной популяции *Cotoneasner uralensis*
[The southwestern slope of the rocky ledges of Belaya Mount is the location of a local population of *Cotoneasner uralensis*]



Рис. 3. Одиночный кустик *C. uralensis* (справа – русло р. Крестовая, вид вниз по течению)
[A single bush of *C. uralensis* (the Krestovaya River bed is on the right, a downstream view)]



Рис. 4. Плодоносящая ветвь *C. uralensis*
[Fruit-bearing branch of *C. uralensis*]

Заключение

Новый пункт произрастания вида дополняет данные о распространении этого редкого и весьма уязвимого на северной границе ареала растения, перекрывает разрыв его ареала на границе ЯНАО, между двумя самыми северными локализациями и остальными семью, расположенными южнее [Красная ..., 2010].

Список источников

1. Арктическая флора СССР. Л.: Наука, 1984. Вып. 9, ч. 1. Семейства Droseraceae – Rosaceae. 334 с.
2. Князев М.С. Род *Cotoneaster* (Rosaceae) на Урале // Ботанический журнал. 2007. Т. 92, № 3. С. 420–428.
3. Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: животные, растения, грибы. Екатеринбург, 2013. 460 с.
4. Красная книга Ямало-Ненецкого автономного округа: животные, растения, грибы. Екатеринбург, 2010. 308 с.
5. Растительный покров и растительные ресурсы Полярного Урала. Екатеринбург, 2006. 796 с.
6. Hylmo B., Fryer J. Cotoneasters in Europe // Acta Bot. Fenn. 1999. Vol. 162. P. 185–190.
7. Sennikov A.N. Atlas Florae Europaeae notes 18. Synonymy and distribution of some native and alien species of *Cotoneaster* (Rosaceae) in Eastern Europe and the Caucasus // Ann. Bot. Fenn. 2011. 48(4). P. 325–336.

References

1. *Arktičeskaja flora SSSR. Vyp. 9, čast 1* [Flora Arctica URSS Fasc. IX. Droseraceae – Leguminosae. P. 1. Droseraceae – Rosaceae]. Leningrad, Nauka Publ., 1984. 334 p. (In Russ.).
2. Knyasev M.S. [The genus *Cotoneaster* (Rosaceae) in the Urals]. *Botaničeskij žurnal*. V. 92, No 3 (2007): pp. 420–428. (In Russ.).
3. *Krasnaja kniga Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Jugry: životnye, rastenija, griby* [The Red book of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra: animals, plants, fungi]. Ekaterinburg, 2013. 460 p. (In Russ.).
4. *Krasnaja kniga Jamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga: životnye, rastenija, griby* [The Red book of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug: animals, plants, fungi]. Ekaterinburg, 2010. 308 p. (In Russ.).
5. *Rastitel'nyj pokrov i rastitel'nye resursy Poljarnogo Urala* [Vegetation cover and plant resources of the Polar Ural]. Ekaterinburg, 2006. 796 p. (In Russ.).
6. Hylmo B., Fryer J. Cotoneasters in Europe. *Acta Bot. Fenn.* V. 162 (1999): pp. 185–190.
7. Sennikov A.N. Atlas Florae Europaeae notes 18. Synonymy and distribution of some native and alien species of *Cotoneaster* (Rosaceae) in Eastern Europe and the Caucasus. *Ann. Bot. Fenn.* 48(4) (2011): pp. 325–336.

Статья поступила в редакцию 18.01.2022; одобрена после рецензирования 04.02.2022; принята к публикации 14.03.2022.
The article was submitted 18.01.2022; approved after reviewing 04.02.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторе

Е. Г. Николин – доктор биологических наук, главный научный сотрудник.

Information about the author

E. G. Nikolin, doctor of biological sciences, chief researcher.

БОТАНИКА

Научная статья

УДК 581.6: 582.579.2

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-22-34

**Изучение морфобиологических особенностей некоторых сортов
Gladiolus × hybridus hort. в условиях Саратовского Поволжья и
Пермского края**

Марина Анатольевна Черткова^{1✉}, Татьяна Николаевна Шакина²

^{1✉} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Учебный Ботанический сад им. А.Г. Генкеля, Пермь, Россия, plusnina-marina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3558-9575>

² Саратовский национальный исследовательский государственный университет, Учебно-научный центр «Ботанический сад», Саратов, Россия, shakinatn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8084-8180>

Аннотация. Представлены результаты трехлетнего изучения биологических особенностей сортов гладиолуса гибридного ‘Малика’, ‘Professor Parolek’, ‘Долгожданный дебют’ на территориях Учебно-научного центра «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета (г. Саратов) и Учебного Ботанического сада им. А.Г. Генкеля Пермского государственного национального исследовательского университета (г. Пермь). Высокие летние температуры и недостаточная увлажненность, что характерно для Саратовского Поволжья, отрицательно сказывались на декоративных качествах растений в этом регионе. Продолжительность цветения, высота растений, длина цветоноса и диаметр цветка гладиолусов были достоверно меньше, чем в Пермском крае. Тем не менее, в условиях Саратовского ботанического сада ритм развития гладиолусов в целом соответствовал характеристике этих сортов, они успевали пройти вегетацию до наступления заморозков и образовывали вызревшую замещающую клубнелуковицу. В Пермском крае наблюдалась тенденция к смещению сроков цветения изученных сортов на более позднее время, что в свою очередь, возможно, препятствовало вызреванию замещающих клубнелуковиц за вегетационный период и увеличивало риск поражения грибковыми заболеваниями. При этом исследованные сорта наиболее полно реализовывали свои декоративные качества в климатических условиях Перми.

Ключевые слова: *Gladiolus × hybridus*, интродукция, климатические условия, биологические особенности, Пермь, Саратов, декоративность

Для цитирования: Черткова М. А., Шакина Т. Н. Изучение морфобиологических особенностей некоторых сортов *Gladiolus × hybridus* hort. в условиях Саратовского Поволжья и Пермского края // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 22–34. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-22-34>.

BOTANY

Original article

Study of morphobiological features of some *Gladiolus × hybridus* hort. cultivars in Saratov and Perm regions

Marina A. Chertkova^{1✉}, Tatiana N. Shakina²

^{1✉} Perm State University, Genkel Botanical Garden, Perm, Russia, plusnina-marina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3558-9575>

² Saratov State University, Education and Research Center «Botanical Garden» SSU, Saratov, Russia, shakinatn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8084-8180>

Abstract. The paper describes the results of a three-year study of biological characteristics of ‘Malika’, ‘Professor Parolek’, ‘Dolgozhdannyy Debut’ gladiolus cultivars on the territory of the Education and Research Center «Botanical Garden» in Saratov State University (Saratov) and the Genkel Botanical Garden in Perm State University (Perm). Plants in Saratov region experienced a detrimental effect of high summer temperatures and insufficient humidity: the height of the plant and the size of the inflorescence, the number of flowers in the inflorescence decreased. Nevertheless, the gladiolus development rate matched the biological characteristics of the cultivars in the Saratov Botanical Garden, they happened to go through the growing season before the frost and formed a mature replacement corm. In the Perm Botanical Garden, the studied cultivars also went through all the

stages of growth and development, but the flowering period of the studied cultivars started later, which may be associated with a decrease in summer temperature below the optimum temperature in some years. This may have impeded the maturation of replacement corms and increased the susceptibility to fungal diseases. At the same time, the studied gladiolus cultivars retained most fully their decorative features in the Perm Botanical Garden.

Keywords: *Gladiolus* × *hybridus*, introduction, climatic conditions, biological features, Perm, Saratov, decorativeness

For citation: Chertkova M. A., Shakina T. N. [Study of morphobiological features of some *Gladiolus* × *hybridus* hort. cultivars in Saratov and Perm regions]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 22–34. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-22-34>.

Введение

Интродукция служит целям накопления и сохранения видового и сортового разнообразия растений конкретного региона, тем самым способствуя обогащению растительных ресурсов, а также является основой для реализации селекционных программ. В процессе интродукционных исследований в ботанических садах и селекционных центрах осуществляется подробное изучение биологических особенностей интродуцентов, что позволяет оценить их состояние и адаптационные возможности в природно-климатических условиях конкретного района [Шилов и др., 2019].

В настоящее время *Gladiolus* × *hybridus* hort., как один из представителей культурной флоры семейства касатиковые (*Iridaceae* Juss.), считается популярнейшим клубнелуковичным растением. Он занимает одну из ведущих позиций среди цветочных культур благодаря своим декоративным качествам, неограниченным возможностям аранжировки цветов, а также относительной неприхотливости к условиям выращивания.

Гладиолус гибридный получен в результате многократных скрещиваний различных видов [Кузичев, Кузичева, Кузичев, 2002], и на сегодняшний день под этим названием объединяет все существующие сорта [Седельникова, Зубкус, 1987]. Интродукцией, изучением биологических особенностей и гибридизацией гладиолуса занимаются многие ботанические сады и научно-исследовательские институты на территории РФ и стран СНГ [Денисова, Миронова, 2016; Кручонок, 2016; Ламонов, 2016; Седельникова, 2016; Черткова, Шумихин, 2019; Шакина, 2009]. Кроме этого, учеными проводятся исследования о влиянии удобрений и биостимуляторов на хозяйственно-ценные признаки и декоративные качества гладиолуса гибридного [Примаков, 2009], изучение показателей продуктивности [Кузичев, Кузичев, 2007], а также зимостойкости клубнелуковиц [Шакина, 2012] и многое другое. Интерес к культуре гладиолуса проявляют и за рубежом. Ученых разных стран интересует широкий круг вопросов: сортоизучение в условиях конкретного региона [Asatkar et al., 2018; Schwab et al., 2018; Azimi, 2020]; устойчивость к болезням [Waghmare et al., 2020]; влияние минеральных и органических удобрений, физиологически активных веществ и натуральных стимуляторов на рост, развитие и продуктивность растений [Abdou et al., 2018, 2019; Janowska et al., 2018; Sable, 2018; Mishra, Singh, Kumar, 2018; Ahmmad, Abdullatif, 2020]; определение оптимальных условий для выращивания и круглогодичной выгонки гладиолусов в условиях закрытого грунта [Abdou et al., 2018; Schwab et al., 2018]; а также получение новых сортов путем гибридизации [Azimi, Edrisi, Khalaj, 2020].

Однако данных о влиянии погодных условий конкретного региона интродукции на биологические особенности сортов гладиолуса гибридного, выведенных при определенных климатических условиях, на сегодняшний день еще недостаточно. В связи с этим, цель работы – изучение влияния условий интродукции на сортовые характеристики некоторых сортов гладиолуса гибридного на территории учебно-научного центра (УНЦ) «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета (г. Саратов) и Учебного Ботанического сада им. А.Г. Генкеля (УБС) Пермского государственного национального исследовательского университета (г. Пермь).

Материалы и методы исследования

Объектами исследования стали имеющиеся в коллекциях обоих ботанических садов сорта гладиолуса гибридного отечественной и зарубежной селекции, которые по данным оригинаторов имеют следующие характеристики:

– ‘Долгожданный дебют’ 543, С, 23–26, 8–9, 160–165, 1984 (Громов, Россия). Цветок лососево-розовый с кремоватым пятном на нижнем лепестке, по которому как бы проведен небольшой радужный мазок красноватого тона. Окраска воспринимается как неповторимая. Мощное растение с длинным прочным стеблем. Соцветие двурядное, плотное. Цветки широко открытые, красивой округлой формы, волнисто-гофрированные. Ткани плотные. Великолепный срезочный и выставочный сорт. Очень жизнеспособный, устойчив к грибковым болезням, дождю, росе. Клубнелуковица бело-кремовая, высокоприподнятая, 5–7 см [Громов, Ардабьевская, 2002].

– ‘Малика’ 5(47–64)у, С, 22–24, 7–9, 150–165, 1984 (Громов, Россия). Сорт посвящен Малике Сабиро-

вой, ученице Г. Улановой, народной артистке СССР. Очень яркий, семговой с розово-малиново-лиловыми разводами и переливами прозрачных светлых тонов, с более темным красно-малиново-лиловым пятном. Окраска исключительно притягательная. Цветки очень крупные, до 18 см, лепестки слабогофрированные. Стебель прочный, длинный, соцветие до 70 см. Сорт отлично подходит для срезки. Клубнелуковица оранжево-палевая, высокоприподнятая, 5–6.5 см [Громов, Ардабьевская, 2002].

– ‘Professor Parolek’ 427, С, 20–24, 8–10, 140–150, 1988 (Вериньш, Латвия). Трехцветный гладиолус: темно-оранжевый с золотистым центром и красным напылением в «горле». Хорошо гофрированный. Ткани лепестков плотные, шелковистые. В двухрядном колосе 20–24 бутона, одновременно открывает 8–10 цветков. Цветонос прочный. Высота растений 140–150 см. Размножается хорошо. Устойчив к болезням. Победитель и призер выставок в Москве и Риге [Лисянский, Ладыгина, 2002].

Интерес к сортам, которые были созданы в 80-х годах XX в., обусловлен тем, что они могут обладать более устойчивым генотипом, чем у современных гибридов, и, следовательно, меньше подвергаться мутациям. Данный аспект важен с селекционной точки зрения, так как сорта со стабильными декоративными признаками могут служить донорами определенных генов для создания сортов с заданными параметрами.

Материалом для исследования послужили клубнелуковицы первого разбора (3.2 см и более), количество которых ежегодно составляло не менее 10 для каждого сорта. Исследования проводились в 2017–2019 гг. согласно общепринятым методикам: «Методика первичного сортоизучения гладиолуса гибридного» [Тамберг, 1972], «Основы сравнительной сортооценки декоративных культур» [Былов, 1978], «Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР» [1975]. Сортовую принадлежность устанавливали в соответствии с определителем сортов гладиолуса Б.Г. Лисянского и Г.Г. Ладыгиной [2002], а также с данными каталогов А.Н. Громова и Т.В. Ардабьевской [2002].

Был проведен анализ интродукционных возможностей исследуемых сортов в климатических условиях Саратовского Поволжья и Предуралья и сравнение декоративных и хозяйственно-ценных признаков с исходными параметрами. В ходе фенологических наблюдений отмечались следующие даты: посадка, прорастание главного побега, начало цветения и отцветания, конец вегетации (выкопка на зимнее хранение); подсчитывалась продолжительность развития от даты посадки до наступления цветения [Методика..., 1975]. Под фенологическими фазами понимали внешние проявления сезонных изменений растения. Кроме того, изучали декоративные качества (высота растения, длина соцветия, общее количество цветков в соцветии, количество одновременно открытых цветков и диаметр цветка) и хозяйственно-биологические признаки (коэффициент размножения; поражаемость клубнелуковиц и растений болезнями и вредителями) [Былов, 1978; Тамберг, 1972]. Полученные данные приводятся в виде таблиц и рисунков.

Вегетативную продуктивность изучаемых сортов определяли в соответствии с методиками Т.Г. Тамберг [1972], А.Н. Громова [1981], Л.Л. Седельниковой и Л.П. Зубкус [1987].

Гладиолус гибридный – культура теплолюбивая, поэтому высадка клубнелуковиц в грунт рекомендуется при прогревании почвы до +10°C на глубину 10 см [Тамберг, 2001]. Это способствует хорошему укоренению и нормальному развитию всех органов растения. Учитывая данную биологическую особенность гладиолусов, а также регион исследования и погодные условия, посадку клубнелуковиц проводили во второй или третьей декаде мая. Выкопка клубнелуковиц на зимнее хранение осуществлялась в сентябре – октябре.

Все агротехнические мероприятия по посадке и уходу за растениями выполняли согласно рекомендациям Е.З. Мантровой [1973], А.Н. Громова [1981], Т.Г. Тамберг [2001], Б.А. Кузичева, О.А. Кузичевой, О.Б. Кузичева [2002].

В период вегетации и хранения проводили наблюдения за уровнем заболеваемости растений. Симптомы заболевания идентифицировали визуально по справочнику «Вредители и болезни цветочно-декоративных растений» [Синадский, 1982]. Больные клубнелуковицы выбраковывались в течение зимнего хранения, весной перед посадкой, и осенью перед закладкой на хранение. После посадки учитывалось количество не проросших клубнелуковиц. В течение вегетационных периодов проводили учет поражаемости растений гладиолуса фузариозным увяданием и другими заболеваниями по методике Т.Г. Тамберг [1972].

Вредители сортов гладиолуса выявлялись при маршрутных обследованиях в период вегетации и в течение хранения. Определение вредителей осуществлялось с помощью справочника «Вредители и болезни цветочно-декоративных растений» [Синадский, 1982].

Данные по среднемесячным температурам воздуха и сумме осадков регионов исследования взяты в открытом доступе в базе данных «Погода и климат» [www.pogodaiklimat.ru].

Статистическая обработка результатов исследования включала вычисление стандартных показателей изменчивости для количественных и качественных признаков по методике Г.Ф. Лакина [1990]. Для сравнения средних значений количественных признаков применяли t-критерий Стьюдента, для сравнения качественных показателей – критерий χ^2 . При изучении зависимости выраженности декоративных признаков сортов от погодных усло-

вий и региона интродукции применяли дисперсионный анализ [Лакин, 1990].

Результаты и их обсуждение

Климат г. Саратова – умеренно континентальный, с холодной зимой и сухим, жарким летом (рис. 1). Главная же его особенность – это частая повторяемость засух и ветров-суховеев. Безморозный период длится в среднем 162 дня (с колебаниями по годам от 151 дней до 180 дней) [Пряхина, Фридман, Васильева, 2006]. Сумма температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 2200°C . Самый теплый месяц в году – июль со средней температурой воздуха $+22.7^{\circ}\text{C}$. По средним многолетним данным наибольшее количество осадков за вегетационный период выпадает в июне – июле (соответственно 46 мм и 48 мм) [Погода и климат ...]. Климат правобережья там, где территориально расположен УНЦ, менее континентален по отношению к району левобережья.

Климат г. Перми характеризуется континентальностью [Мамаев, 1982]. Безморозный период длится в среднем 115 дней (с колебаниями по годам от 93 до 152 дней). Сумма температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 1580°C . Самый теплый месяц в году – июль со средней температурой воздуха $+18.6^{\circ}\text{C}$ (рис. 1). По средним многолетним данным наибольшее количество осадков выпадает в июне и августе (соответственно 81 и 76 мм) [Погода и климат ...].

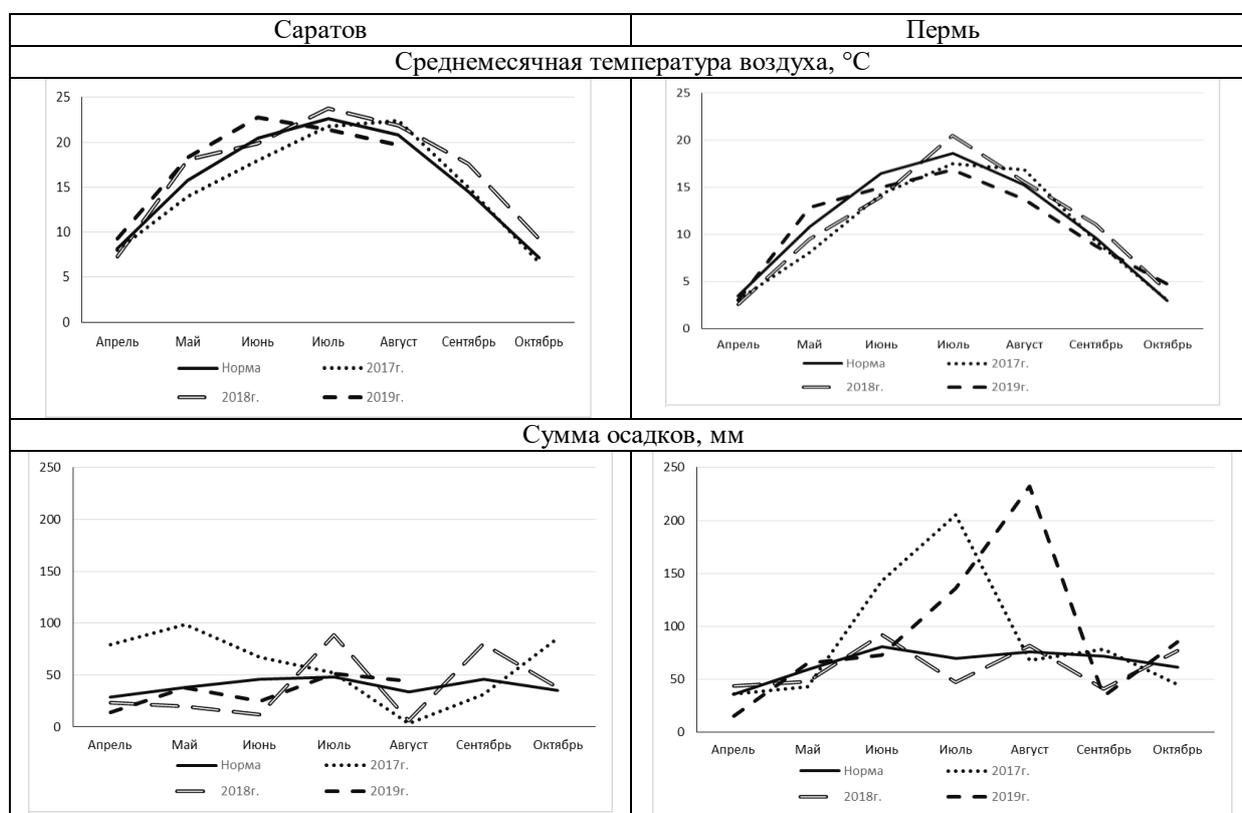


Рис. 1. Сравнение погодных условий регионов исследования в 2017–2019 гг.

[Comparison of the weather conditions of the study regions in 2017–2019]

Как температурный режим, так и количество осадков в период исследования варьировали по годам как в г. Саратове, так и в Перми, а также при сравнении двух регионов. В Саратове температура июня – августа в среднем была выше, чем в Перми на 4.5°C в 2017 г., на 5.2°C в 2018 г. и на 6.1°C в 2019 г. [Погода и климат ...]. Среднее количество осадков в июне – августе в Перми было больше, чем в Саратове на 38 мм в 2018 г., на 98 мм в 2017 г. и на 107 мм в 2019 г.

Согласно литературным источникам [Тамберг, 2001; Кузичев, Кузичева, Кузичев, 2002], для нормального развития всех органов гладиолуса требуется температура в пределах $10\text{--}25^{\circ}\text{C}$ и оптимальный режим увлажнения. Снижение температуры ниже оптимума тормозит рост растения, задерживает наступление цветения. Слишком высокая температура воздуха и почвы также угнетающе действует на растение: мельчают цветки, уменьшается размер соцветия и высота растения. Это касается также влажности воздуха и атмосферных осадков. Соцветия и цветки на стадии бутонизации могут увядать без восстановления тургора.

С одной стороны, гладиолусы могут выдерживать небольшой недостаток влаги. Однако для нормального развития сортовых гладиолусов на ранних стадиях необходимо снабжать растения влагой в изобилии. Вместе с тем, переувлажнение (особенно в сочетании с относительно низкими температурами) может привести к сильному инфицированию грибковыми болезнями растений. Таким образом, чрезмерное проявление одного из этих факторов, всегда пагубно действует на гладиолусы. Любое отклонение от нормы как температурного режима, так и режима увлажнения, приводит к смещению сроков прохождения фенофаз и увеличению их продолжительности, что неблагоприятно сказывается на развитии растений в целом. Запаздывание начала цветения приводит к тому, что период для формирования полноценной замещающей клубнелуковицы уменьшается, так как известно, что для вызревания клубнелуковиц растениям гладиолуса после отцветания необходимо еще от 30 до 50 дней (30 – 40 дней у ранних и средних сортов и 45 – 50 дней у поздних) [Громов, Ардабьевская, 2002].

При интродукции одним из важных показателей является прохождение растением фенологических фаз и динамика роста и развития, так как по этим показателям можно судить о степени адаптации сортов к условиям конкретного района. Сроки и продолжительность цветения являются изменчивыми фенологическими признаками, зависящими от индивидуальных биологических особенностей сорта, климатических условий текущего вегетационного периода, накопления определенной суммы температур, необходимой для зацветания. В частности, на наступление сроков цветения влияют такие факторы, как сумма положительных температур зимнего и весеннего периода [Зайцев, 1978]; чем раньше начинается вегетация, тем раньше происходит наступление всех фаз развития гладиолусов. В связи с этим даты начала цветения различных сортов могут сдвигаться в ту или другую сторону (рис. 2).

В условиях УНЦ феноритмы изученных сортов гладиолуса в целом соответствовали характеристике сортов, они успевали пройти вегетацию до наступления заморозков. В УБС исследованные сорта также проходили все стадии роста и развития растений, но в отдельные годы наблюдений (2017 и 2019 гг.) наступление фенофаз несколько запаздывало (рис. 2).

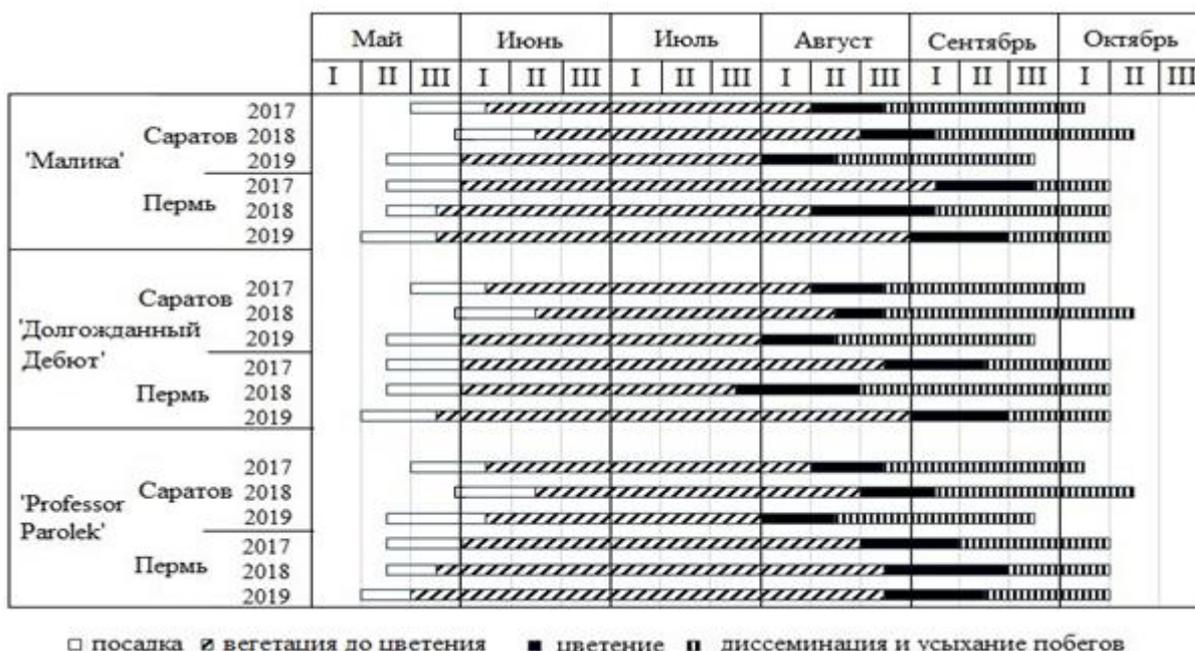


Рис. 2. Феноспектры сортов гладиолуса гибридного в условиях интродукции в 2017–2019 гг.

[Phenological spectra of gladiolus cultivars under conditions of introduction in 2017–2019]

В зависимости от сроков начала цветения сорта гладиолуса делятся на следующие группы: ранние (Р) – 60–70 дней после посадки, средние (С) – 70–80 дней, среднепоздние (СП) – 80–90 дней, поздние (П) – 90–100 дней [Былов, 1978]. Изучаемые сорта по описанию оригинаторов принадлежат к группе со средним сроком цветения (табл. 1).

При сравнении средних значений сроков начала цветения установлено, что изучаемые сорта в УНЦ в 2017 г. показали себя как среднепоздние, в 2019 г. остались в пределах группы среднецветущих. В 2018 г. 'Professor Parolek' и 'Малика' проявили себя как поздноцветущие, тогда как 'Долгожданный дебют' остался в своей группе цветения. Таким образом, наступление фазы цветения у изученных сортов в условиях Саратовского Поволжья сдвигалось, и они в некоторые годы зацветали несколько позднее, чем в условиях, где были выведены (табл. 1).

Таблица 1

Ранжирование по срокам цветения сортов гладиолуса гибридного в условиях г. Саратова и Перми в 2017–2019 гг.

[Ranking of the studied cultivars by flowering time in Saratov and Perm in 2017–2019]

Название сорта	Год исследования	Срок начала цветения (дни)		Продолжительность цветения (дни)		Группа по сроку цветения	
		Саратов	Пермь	Саратов	Пермь	Саратов	Пермь
‘Professor Parolek’	2017 г.	82	98	15	22	С→СП	С→П
	2018 г.	85	101	13	24	С→СП	С→П
	2019 г.	80	100	14	20	С→С	С→П
Среднее за 3 года (M±m)		82.33±1.45	99.67±0.88	14.00±0.58	22.00±1.15		
‘Долгожданный Дебют’	2017 г.	83	102	13	21	С→СП	С→П
	2018 г.	75	79	14	25	С→С	С→С
	2019 г.	78	105	15	20	С→С	С→П
Среднее за 3 года (M±m)		78.67±2.33	95.33±8.21	14.00±0.58	22.00±1.53		
‘Малика’	2017 г.	85	113	12	20	С→СП	С→П
	2018 г.	83	89	15	22	С→СП	С→СП
	2019 г.	78	108	14	18	С→С	С→П
Среднее за 3 года (M±m)		82.00±2.08	103.33±7.31	13.67±0.88	20.00±1.15		

Примечание. Группа по сроку цветения: С – 70 – 80 дней от посадки до цветения, СП – 80–90 дней, П – 90–100 дней.

В условиях УБС смещение сроков цветения наблюдалось у всех сортов. В 2017 и 2019 гг. они оказались в группе позднецветущих. В 2018 г. только сорт ‘Долгожданный дебют’ сохранил описанную оригинатором группу по сроку цветения, тогда как сроки цветения сорта ‘Малика’ сдвинулись в группу среднепоздних. Следовательно, в условиях г. Перми, исследованные сорта зацветают позднее, чем в тех условиях, где они получены, и позже, чем в УНЦ, при этом разница показателей достоверна ($t=4.86 > t_{05}=2.10$; $p=0.05$).

Продолжительность цветения у сортов в УНЦ при действии повышенных температур составила в среднем 13.89 ± 0.37 дней, а на территории УБС – 21.33 ± 0.77 дней (табл. 1), что значительно больше, чем в г. Саратове ($t=8.70 > t_{05}=2.10$; $p=0.05$).

Таблица 2

Оценка декоративных качеств (высота растения и длина соцветия) изученных сортов гладиолуса в условиях г. Саратова и Перми в 2017–2019 гг.

[Evaluation of ornamental qualities (plant height, inflorescence length) of gladiolus cultivars in Saratov and Perm in 2017–2019]

Сорт	Год исследования	Высота растения (M±m), см		Длина соцветия (M±m), см	
		Саратов	Пермь	Саратов	Пермь
‘Professor Parolek’	2017 г.	92.00±4.55 (14.83)	153.00±0.58 (1.13)	50.70±2.78 (16.42)	66.50±1.65 (7.44)
	2018 г.	96.90±3.73 (11.55)	137.50±2.04 (2.57)	51.10±2.86 (16.77)	67.50±1.18 (5.24)
	2019 г.	107.20±4.58 (12.83)	135.00±2.89 (3.70)	58.90±4.69 (23.91)	71.33±1.07 (4.51)
Среднее за 3 года		98.70±4.48	141.83±5.63	53.57±2.67	68.44±1.47
Данные оригинатора		140–150		–	
Реализация сортовых характеристик в регионе интродукции, %		66–71	95–100	–	–
‘Долгожданный Дебют’	2017 г.	104.60±2.74 (7.85)	152.50±2.04 (2.32)	59.70±1.69 (8.47)	72.50±1.18 (4.88)
	2018 г.	102.70±3.05 (8.90)	152.33±4.33 (4.93)	61.50±1.60 (7.79)	70.33±2.99 (12.74)
	2019 г.	97.00±3.65 (11.30)	136.67±8.21 (10.41)	60.00±2.45 (12.27)	78.67±1.71 (6.52)
Среднее за 3 года		101.43±2.28	147.17±5.25	60.40±0.56	73.83±2.50
Данные оригинатора		160–165		–	
Реализация сортовых характеристик в регионе интродукции, %		61–63	89–92	–	–
‘Малика’	2017 г.	102.80±1.71 (5.00)	137.50±6.12 (7.71)	59.60±0.48 (20.51)	67.50±1.18 (5.24)
	2018 г.	109.50±2.04 (5.58)	130.00±8.16 (10.88)	61.90±2.51 (12.15)	65.00±0.94 (4.35)
	2019 г.	118.00±3.45 (8.76)	167.50±2.04 (2.11)	76.40±2.45 (9.62)	72.00±1.41 (5.89)
Среднее за 3 года		110.10±4.40	145.00±11.46	65.97±5.26	68.17±2.05
Данные оригинатора		150–165		70	
Реализация сортовых характеристик в регионе интродукции, %		67–73	88–97	94	97

Примечание. В скобках представлен коэффициент вариации признака (CV, %).

Декоративные качества интродуцентов оценивались такими показателями, как высота растения, длина соцветия, число цветков в соцветии, количество одновременно открытых цветков, их диаметр.

По высоте гладиолусы делят на следующие группы: сильнорослые растения (свыше 150 см); среднерослые (120–150 см); слаборослые (100–120 см); низкорослые (менее 100 см) [Тамберг, Максимов, Чесноков, 1978]. По результатам изучения биометрических параметров в УНЦ сорт гладиолуса ‘Professor Parolek’ вошел в группу низкорослых, ‘Малика’ и ‘Долгожданный Дебют’ – в группу слаборослых. В УБС же все сорта можно было отнести к группе среднерослых (табл. 2). Таким образом, в г. Саратове все изученные сорта были достоверно ниже, чем в Пермском крае ($t = [2.82; 7.99] > t_{05} = 1.96$; $p = 0.05$).

При сравнении с данными оригинаторов по высоте изученные сорта в УБС реализуют этот признак на 88–100%. Тогда как в УНЦ растения исследованных сортов приближаются к характеристикам, заявленным оригинаторами, только на 61–73%.

По длине соцветия сорта гладиолусов подразделяются на короткие (не более 50 см), средние (50–70 см), длинные (70–90 см) [Лисянский, Ладыгина, 2002]. Измерение длины соцветия показало, что все сорта в обоих регионах оказались в группе со средними показателями. Исключение составил только сорт ‘Долгожданный Дебют’, в УБС длина его соцветий составила в среднем 73.83 ± 2.50 см, что дает право отнести его к группе с длинными соцветиями. При сравнении сортов по признаку «длина соцветия» между регионами оказалось, что у сортов ‘Долгожданный Дебют’ и ‘Professor Parolek’ в г. Саратове соцветия формировались достоверно короче, чем в Пермском крае ($t = [4.88; 5.25] > t_{05} = 1.98$; $p = 0.05$). У сорта ‘Малика’ подобной разницы не выявлено ($t = 0.39 < t_{05} = 1.98$; $p = 0.05$). И вместе с тем, у сорта ‘Малика’ показатель данного параметра не достиг значения, заявленного оригинатором, ни в одном из регионов интродукции. Хотя разница между значениями составила всего 3% в г. Перми и 6% – в г. Саратове.

Коэффициент вариации высоты растений и длины соцветий в УБС в среднем меньше, чем в Саратове. Возможно, это связано с разным размером посадочного материала, так как диаметр клубнелуковиц I разбора, которые послужили материалом для исследования, ограничивался только меньшей величиной (от 3.2 см).

Количество цветков в соцветии варьировало в зависимости от сорта от 12 до 18 (в среднем у сорта ‘Professor Parolek’ – 13.70 ± 0.91 ; у сорта ‘Долгожданный Дебют’ – 16.80 ± 0.58 и у сорта ‘Малика’ – 16.00 ± 1.33) в условиях г. Саратова и от 14 до 18 в УБС (в среднем 13.70 ± 0.91 ; 17.39 ± 1.03 и 16.17 ± 0.44 цветка на соцветие соответственно) (табл. 3).

Таблица 3

Оценка декоративных качеств (количество цветков в соцветии и количество одновременно открытых цветков) изученных сортов гладиолуса в условиях г. Саратова и Перми в 2017–2019 гг.

[Evaluation of ornamental qualities (number of flowers per inflorescence, number of simultaneously open flowers) of gladiolus cultivars in Saratov and Perm in 2017–2019]

Сорт	Год исследования	Количество цветков в соцветии (M±m)		Количество одновременно открытых цветков (M±m)	
		Саратов	Пермь	Саратов	Пермь
‘Professor Parolek’	2017 г.	12.60±0.48 (11.35)	14.50±0.24 (4.88)	5.70±0.16 (8.47)	6.50±0.24 (10.88)
	2018 г.	13.00±0.31 (7.25)	17.50±0.24 (4.04)	5.50±0.18 (9.58)	8.00±0.00 (0.00)
	2019 г.	15.50±0.61 (11.88)	16.67±0.19 (3.46)	6.10±0.25 (12.10)	5.67±0.19 (10.19)
Среднее за 3 года		13.70±0.91	16.22±0.89	5.77±0.18	6.72±0.68
Данные оригинатора		20–24		8–10	
Реализация сортовых характеристик в регионе интродукции, %		58–70	67–80	60–75	70–88
‘Долгожданный Дебют’	2017 г.	14.00±0.42 (8.91)	18.50±0.24 (3.82)	5.80±0.14 (7.27)	5.50±0.24 (12.86)
	2018 г.	14.70±0.39 (7.89)	18.33±0.51 (8.33)	5.90±0.11 (5.36)	6.00±0.00 (0.00)
	2019 г.	16.80±0.58 (10.42)	15.33±0.19 (3.77)	5.80±0.14 (7.27)	5.33±0.38 (21.65)
Среднее за 3 года		15.17±0.84	17.39±1.03	5.83±0.03	5.61±0.20
Данные оригинатора		23–26		8–9	
Реализация сортовых характеристик в регионе интродукции, %		58–65	65–74	67–75	67–75
‘Малика’	2017 г.	13.60±0.48 (10.51)	15.50±0.24 (4.56)	6.00±0.00 (0.00)	6.00±0.00 (0.00)
	2018 г.	16.20±0.49 (9.11)	17.00±1.41 (24.96)	6.00±0.00 (0.00)	6.50±0.24 (10.88)
	2019 г.	18.20±0.68 (11.23)	16.00±0.47 (8.84)	6.00±0.00 (0.00)	5.50±0.24 (12.86)
Среднее за 3 года		16.00±1.33	16.17±0.44	6.00±0.00	6.00±0.29
Данные оригинатора		22–24		7–9	
Реализация сортовых характеристик в регионе интродукции, %		67–73	67–73	67–86	67–86

Примечание. В скобках представлен коэффициент вариации признака (CV, %).

Разницы при сравнении сортов по признаку «количество цветков в соцветии» между регионами не выявлено ($t = [0.12; 1.97] < t_{05} = 1.98$; $p = 0.05$). Для изученных сортов количество одновременно открытых

цветков составило от 5 до 8, как в г. Саратове, так и в Перми (табл. 3). Достоверной разницы при сравнении сортов по признаку «количество одновременно открытых цветков в соцветии» между регионами также не выявлено ($t=[0; 1.36]<t_{05}=1.98$; $p=0.05$). Следует отметить, что по количеству цветков и числу одновременно открытых ни один из сортов в обоих регионах не достиг исходных параметров (табл. 3).

По описаниям оригинаторов, исследованные сорта относятся к классам крупных и гигантских по диаметру цветков, однако в условиях Предуралья и Саратовского Поволжья по данному признаку они не могут быть отнесены к этим классам (табл. 4). В обоих регионах интродукции сорта ‘Долгожданный Дебют’ и ‘Малика’ по средним показателям можно отнести к классу крупноцветковых, а сорт ‘Professor Parolek’ – к среднецветковым (табл. 4). Максимальный диаметр цветка среди исследованных сортов в обоих регионах отмечали у сорта ‘Малика’ (в г. Саратове в 2018–2019 гг. – 12.85 см, в г. Перми в 2017 и 2019 гг. – 14.00 см). Диаметр цветка всех изученных сортов достоверно был больше на территории Предуралья, чем в Саратовском Поволжье ($t=[3.36; 7.28]>t_{05}=1.96$; $p=0.05$).

Таблица 4

Диаметр цветка изученных сортов гладиолуса в условиях Саратова и Перми в 2017–2019 гг.
[Flower diameter of gladiolus cultivars in Saratov and Perm in 2017–2019]

Сорт	Год исследования	Диаметр цветка (M±m), см	
		Саратов	Пермь
‘Professor Parolek’	2017	10.50±0.24 (6.73)	11.00±0.33 (9.09)
	2018	10.65±0.31 (8.87)	11.10±0.05 (1.27)
	2019	10.80±0.31 (8.51)	10.90±0.15 (4.20)
Среднее за 3 года		10.65±0.09	11.00±0.06
Данные оригинатора		11.5–14.0	
‘Долгожданный Дебют’	2017	12.20±0.21 (5.18)	13.20±0.09 (2.14)
	2018	12.05±0.15 (3.63)	13.40±0.05 (1.06)
	2019	11.40±0.51 (13.53)	13.13±0.27 (6.15)
Среднее за 3 года		11.88±0.25	13.24±0.08
Данные оригинатора		> 14.0	
‘Малика’	2017	12.35±0.28 (6.89)	14.00±0.17 (3.57)
	2018	12.85±0.18 (4.12)	13.85±0.07 (1.53)
	2019	12.85±0.26 (6.10)	14.00±0.24 (5.05)
Среднее за 3 года		12.68±0.17	13.95±0.05
Данные оригинатора		> 14.0	

Согласно результатам дисперсионного анализа, климатические условия региона интродукции оказывают влияние на высоту растений ($F=186.308$; $p=0.000$), длину соцветия ($F=17.797$; $p=0.000$), количество цветков в соцветии ($F=9.068$; $p=0.003$), и только количество одновременно открытых цветков у изученных сортов не зависит от региона выращивания ($F=1.357$; $p=0.247$). Признак диаметра цветка гладиолуса является сортовой особенностью, а не определяется погодными условиями конкретного вегетационного периода, что также подтверждается результатами дисперсионного анализа ($F=28.753$, $p=0.000$ в УНЦ и $F=53.335$, $p=0.000$ в УБС).

При анализе способности к вегетативному размножению интродуцентов было установлено, что коэффициент размножения у изученных сортов, как в Саратове, так и в Перми варьировал по годам (табл. 5).

В УНЦ продуктивность у изученных сортов была в целом невысокой и в среднем составила от $1.33±0.03$ клубнелуковиц и $4.62±0.34$ клубнепочек на 1 клубнелуковицу до $1.50±0.00$ клубнелуковиц и $8.70±1.48$ клубнепочек на 1 клубнелуковицу (табл. 5), что соответствует первой группе по коэффициенту вегетативного размножения [Былов, 1978]. В УБС изученные сорта согласно средним данным имели коэффициент размножения несколько выше – от $1.00±0.00$ клубнелуковиц и $6.75±0.52$ клубнепочек на 1 клубнелуковицу до $1.07±0.07$ клубнелуковиц и $25.39±1.69$ клубнепочек на 1 клубнелуковицу (табл. 5), что позволило отнести сорта ‘Professor Parolek’ и ‘Малика’ ко второй группе, а сорт ‘Долгожданный дебют’ – к первой [Былов, 1978].

Основными болезнями гладиолуса гибридного являются сухая фузариозная гниль (*Fusarium oxysporum* Schl. f. *gladioli* (Mass.) Sn. et Hans.), коричневая сердцевинная гниль (*Botrytis gladiolorum* Timm), бактериальная парша (*Pseudomonas marginata*) [Синадский, 1982]. Однако наиболее опасным из них является сухая фузариозная гниль, при которой поражаются корни и сосудистая система клубнелуковицы. Болезнь может проявляться на всех этапах развития растения, начиная с того, что часть высаженных клубнелуковиц не прорастает, хотя внешне имеет вполне здоровый вид. Зараженные клубнелуковицы, собранные осенью и заложенные на хранение, постепенно усыхают и гибнут [Тамберг, Максимов, Чесноков, 1978; Синадский, 1982]. Также растения гладиолусов могут поражаться вирусными заболеваниями, которые по характеру симптомов можно отнести к двум группам: мозаики (*Gladiolus mosaic virus*) и

желтухи (*Yellow mosaic virus*) [Синадский, 1982]. В течение всего периода исследования у изученных сортов признаков поражения вирусными патогенами не наблюдалось ни в УНЦ, ни в УБС.

Таблица 5

Оценка репродуктивного потенциала сортов гладиолуса в условиях г. Саратова и Перми в 2017–2019 гг.

[Evaluation of reproductive potential of gladiolus cultivars in Saratov and Perm in 2017–2019]

Название сорта	Год исследования	Коэффициент вегетативного размножения (M±m)			
		Саратов		Пермь	
		клубнелуковицами	клубнепочками	клубнелуковицами	клубнепочками
‘Professor Parolek’	2017	1.4	4.7	1.0	15.75
	2018	1.5	5.7	1.0	16.33
	2019	1.4	5.7	1.0	14.00
Среднее за 3 года		1.43±0.03 (4.03)	5.37±0.33 (10.76)	1.00±0.00 (0.00)	15.36±0.70 (7.90)
‘Долгожданный Дебют’	2017	1.4	5.30	1.0	7.75
	2018	1.3	4.23	1.0	6.50
	2019	1.3	4.32	1.0	6.00
Среднее за 3 года		1.33±0.03 (4.33)	4.62±0.34 (12.86)	1.00±0.00 (0.00)	6.75±0.52 (13.35)
‘Малика’	2017	1.5	5.90	1.2	25.00
	2018	1.5	9.25	1.0	28.50
	2019	1.5	10.95	1.0	22.67
Среднее за 3 года		1.50±0.00 (0.00)	8.70±1.48 (29.53)	1.07±0.07 (10.83)	25.39±1.69 (11.56)

Примечание. В скобках представлен коэффициент вариации признака (CV, %).

В Саратовском Поволжье и Предуралье гладиолусу гибридного наибольший вред наносит сухая фузариозная гниль, тогда как другие заболевания поражают растения и клубнелуковицы в незначительной степени. Исследуемые сорта проявили разную степень устойчивости к фузариозу (табл. 6). Фузариозное усыхание отмечали на клубнелуковицах после хранения, а также на растениях в период вегетации.

Таблица 6

Оценка заболеваемости фузариозом сортов гладиолуса гибридного в условиях Саратова и Перми в 2017–2019 гг.

[Evaluation of the fusarium incidence of gladiolus cultivars in conditions of Saratov and Perm in 2017–2019]

Название сорта	Год исследования	Количество пораженных растений (выборка за вегетационный период), %		Количество пораженных клубнелуковиц (выборка после зимнего хранения), %	
		Саратов	Пермь	Саратов	Пермь
‘Professor Parolek’	2017	5.3	5.6	0.0	17.7
	2018	9.1	4.2	3.9	47.8
	2019	20.0	0.0	8.7	35.3
Суммарное количество за 3 года		12.12	3.39	4.23	35.09
‘Долгожданный Дебют’	2017	9.5	0.0	11.1	14.3
	2018	16.7	19.1	4.6	41.2
	2019	9.5	0.0	15.0	0.0
Суммарное количество за 3 года		12.12	10.81	10.15	27.27
‘Малика’	2017	8.7	0.0	4.0	43.8
	2018	20.0	7.1	4.0	15.4
	2019	12.5	0.0	8.3	30.0
Суммарное количество за 3 года		13.89	2.12	4.84	26.09

В Пермском крае у сортов ‘Малика’ и ‘Professor Parolek’ суммарное количество зараженных клубнелуковиц за весь период исследования после зимнего хранения было значительно больше, чем в период вегетации ($\chi^2=11.098$, $p<0.001$ и $\chi^2=18.954$, $p<0.001$ соответственно). У сорта ‘Долгожданный Дебют’ подобной закономерности не выявлено ($\chi^2=3.126$, $p=0.078$). При анализе уровня заболеваемости фузариозом в Пермском крае можно увидеть, что процент выпавших клубнелуковиц весной почти всегда превышает данный показатель за период роста и развития растений в открытом грунте. На наш взгляд, возможно в более влажные вегетационные периоды поражение фузариозом растений гладиолуса в открытом грунте происходило интенсивнее. Кроме того, из-за погодных условий в 2017 и 2019 гг. к моменту выкопки растения гладиолуса не смогли сформировать вызревших замещающих клубнелуковиц, что в дальнейшем сказалось на их хранении и поражаемости инфекцией.

В условиях Саратовской области не наблюдается превышения показателей выбраковки после зимнего хранения, чем в течение вегетации (у сорта ‘Малика’ – $\chi^2=3.115$, $p=0.078$; у ‘Professor Parolek’ – $\chi^2=2.888$, $p=0.090$; у ‘Долгожданный Дебют’ – $\chi^2=0.133$, $p=0.715$). Следует отметить, что только у сорта

‘Долгожданный Дебют’ в 2017 и 2019 гг. процент пораженных клубнелуковиц был больше после хранения, чем в период вегетации (табл. 6).

При сравнении степени заболеваемости фузариозом клубнелуковиц и растений исследованных сортов гладиолуса между регионами можно заметить, что после зимнего хранения количество пораженных клубнелуковиц у всех сортов в Пермском крае заметно выше, чем на территории УНЦ (у сорта ‘Professor Parolek’ – $\chi^2=20.431$, $p<0.001$; у ‘Малика’ – $\chi^2= 9.969$, $p< 0.01$; у ‘Долгожданный Дебют’ – $\chi^2= 4.952$, $p< 0.05$). Только сорт ‘Малика’ на территории УНЦ имел большее количество поврежденных фузариозом растений в сезон вегетации, по сравнению с УБС ($\chi^2=4.689$, $p<0.05$). У остальных сортов такой закономерности не выявлено ($\chi^2=0.040$, $p=0.843$ и $\chi^2=3.227$, $p=0.073$) (табл. 6).

Маршрутные обследования гряд с гладиолусом и осмотр клубнелуковиц во время хранения показали, что главным вредителем гладиолуса гибридного в Саратовском Поволжье является гладиолусовый трипс (*Taeniothrips gladioli* Moris), который наносит ущерб, как во время вегетации, так и во время хранения клубнелуковиц. Зараженность клубнелуковиц трипсами во время хранения была незначительной благодаря профилактическим мероприятиям, проводившимся в течение вегетационного сезона и выбраковки поврежденных клубнелуковиц при их закладке на хранение осенью. Следует отметить, что в условиях УБС вредители на гладиолусах замечены не были.

Заключение

Несмотря на негативное влияние абиотических и биотических факторов, исследованные сорта в обоих регионах интродукции ежегодно проходили все фазы роста и развития, массово цвели и формировали замещающие клубнелуковицы с клубнепочками. Однако погодные условия вносили свой вклад в реализацию декоративных качеств растений. Так, высокие летние температуры и недостаточная увлажненность, характерные для Саратовского Поволжья, отрицательно сказывались на внешнем облике гладиолусов в этом регионе: уменьшалась высота растения, размер соцветия и количество цветков в соцветии. Тем не менее, в условиях УНЦ ритм развития гладиолусов в целом соответствовал характеристике сортов, они успевали пройти вегетацию до наступления заморозков и образовывали вызревшую замещающую клубнелуковицу. В УБС в некоторые годы наблюдалась тенденция к смещению сроков цветения изученных сортов на более позднее время, обусловленная снижением летней температуры ниже оптимума, что, в свою очередь, возможно препятствовало вызреванию замещающих клубнелуковиц за вегетационный период и увеличивало поражаемость грибковыми заболеваниями. При этом в УБС изученные сорта гладиолусов наиболее полно сохраняли свои декоративные качества. Использование изученных сортов гладиолуса гибридного в условиях конкретных регионов расширяет возможности их применения в создании флористических композиций и ландшафтном дизайне, а также включения их в селекционные программы как доноров ценных декоративных и хозяйственно-важных признаков.

Список источников

1. Былов В.Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. М.: Наука, 1978. С. 7–32.
2. Громов А.Н. Гладиолусы. М.: Россельхозиздат, 1981. 191 с.
3. Громов А.Н., Ардабьевская Т.В. Гладиолусы. М.: ОЛМА-пресс Звезд. мир, 2002. 176 с.
4. Денисова С.Г., Миронова Л.Н. Коллекционный фонд гладиолуса в Уфимском ботаническом саду // Цветоводство: История, Теория, Практика: материалы VII Междунар. науч. конф. Минск: Конфидо, 2016. С. 101–104.
5. Зайцев Г.Н. Фенология травянистых многолетников. М.: Наука, 1978. 50 с.
6. Кручонок А.В. Коллекция гладиолуса гибридного в Центральном ботаническом саду: этапы формирования, структура и критерии содержания // Цветоводство: История, Теория, Практика: материалы VII Междунар. науч. конф. Минск: Конфидо, 2016. С. 143–145.
7. Кузичев Б.А., Кузичева О.А., Кузичев О.Б. Гладиолусы. М.: Фитон+, 2002. 144 с.
8. Кузичев О.Б., Кузичев Б.А. Изучение прироста клубнелуковиц и других показателей продуктивности сортов гладиолуса // Вестник МичГАУ. 2007. № 1. С. 41–45.
9. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
10. Ламонов В.В. Оценка сортового фонда гладиолуса гибридного ВНИИС имени И.В. Мичурина // Цветоводство: История, Теория, Практика: материалы VII Междунар. науч. конф. Минск: Конфидо, 2016. С. 152–153.
11. Лисянский Б.Г., Ладыгина Г.Г. Гладиолусы: определитель. М.: АСТ, 2002. 251 с.
12. Мамаев С.А. Основные итоги и важнейшие проблемы интродукции растений на Урале // Интродукция и акклиматизация декоративных растений. Свердловск, 1982. С. 3–23.
13. Мантрова Е.З. Особенности питания и удобрения декоративных культур. М., 1973. 239 с.
14. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М., 1975. 27 с.

15. Погода и климат Пермского края и Саратовской области. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28224> (дата обращения: 08.04.2020).
16. Примаков С.А. Влияние микроудобрений и биостимуляторов на продуктивность и декоративные качества гладиолуса // Аграрный вестник Урала. Агрономия. 2009. № 8 (62). С. 76–78.
17. Пряхина С.И., Фридман Ю.Н., Васильева М.Ю. Мониторинг климата Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая сер. Сер. Науки о Земле. 2006. Т. 6. Вып. 1. С. 15–18. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2006-6-1-15-18>
18. Седельникова Л.Л. Интродукция гладиолуса гибридного (*Gladiolus hybridus* hort.) в Сибири: история, формирование коллекции, современные направления // Цветоводство: История, Теория, Практика: материалы VII Междунар. науч. конф. Минск: Конфидо, 2016. С. 192–194.
19. Седельникова Л.Л., Зубкус Л.П. Гладиолусы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. 152 с.
20. Синадский Ю.В. Вредители и болезни цветочно-декоративных растений. М: Наука, 1982. 592 с.
21. Тамберг Т.Г. Методика первичного сортоизучения гладиолуса гибридного. Л., 1972. 35 с.
22. Тамберг Т.Г. Тюльпаны, лилии, нарциссы, гладиолусы. СПб.: Агропромиздат, 2001. 400 с.
23. Тамберг Т.Г., Максимов В.А., Чесноков К.А. Гладиолус. Л.: Колос, 1978. 159 с.
24. Черткова М.А., Шумихин С.А. Коллекция рода *Gladiolus* L. в Ботаническом саду им. А.Г. Генкеля Пермского университета // Цветоводство: история, теория, практика: сб. статей IX Междунар. науч. конф. СПб., 2019. С. 164–169.
25. Шакина Т.Н. Ритмы сезонного развития некоторых сортов гладиолуса гибридного в условиях Нижнего Поволжья // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2009. № 8. С. 192–199.
26. Шакина Т.Н. Оценка зимостойкости клубнелуковиц гладиолуса гибридного в условиях Нижнего Поволжья // Дендрология, цветоводство и садово-парковое строительство: материалы Междунар. науч. конф. Ялта, 2012. Т. 1. С. 146.
27. Шилов М.П. и др. Сады и ноосфера. Владимир: Транзит–ИКС; Чебоксары: Новое время, 2019. 200 с.
28. Abdou M.A.H. et al. Effect of compost and some natural stimulant treatments on: i. vegetative growth and flowering aspects of (*Gladiolus grandiflorus* cv. Peter Pears) plants // Scientific Journal Flowers & Ornamental Plants. 2018. Vol. 5, № 2. P. 105–114. doi: 10.21608/sjfo.2018.17770
29. Abdou M.A.H. et al. Influence of organic manure, biofertilizer and/or some vitamin treatments on: a. vegetative growth and flowering aspects of *Gladiolus grandiflorus* var. Gold Field plants // Scientific Journal Flowers & Ornamental Plants. 2019. Vol. 6, № 2. P. 113–124. doi: 10.21608/sjfo.2019.70965
30. Ahmmad C.A., Abdullatif S.A. Effect of organic matter, bio-fertilizers and magnetic water on the vegetative growth and flower quality of gladiolus (*Gladiolus hybrida* L.) var. Cartago // Applied Ecology and Environmental Research. 2020. Vol. 18, № 2. P. 2637–2655.
31. Asatkar R.B. et al. Growth and flowering performance of gladiolus varieties // Journal of Soils and Crops. 2018. Vol. 28, № 1. P. 212–215.
32. Azimi M.H. Evaluation yield and genetically factors in different cultivars of gladiolus // Ornamental Horticulture. 2020. Vol. 26. №. 1. P. 8–17. <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v26i1.2027>
33. Azimi M.H., Edrisi B., Khalaj M.A. Evaluation of genetic parameters and cormlet yield in gladiolus offspring // Journal of Ornamental Plants. 2020. Vol. 10, № 1. P. 37–47.
34. Janowska B. et al. The flowering and nutritional status of *Gladiolus hybridus* cv. Black Velvet following a cytokinin treatment // Journal of Elementology. 2018. Vol. 23, № 3. P. 1119–1128. doi: 10.5601/jelem.2018.23.1.1522
35. Mishra A., Singh A.K., Kumar A. Effect of foliar feeding of zinc and iron on flowering and yield attributes of *Gladiolus* (*Gladiolus grandiflorus* L.) cv. Novalux // Plant Archives. 2018. Vol. 18. № 2. P. 1355–1358.
36. Sable P.R. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and vase life of *Gladiolus* cv. H.B. Pitt // Journal of Soils and Crops. 2018. Vol. 28, № 1. P. 199–203.
37. Schwab N.T. et al. Duration of cycle and injuries due to heat and chilling in gladiolus as a function of planting dates // Ornamental Horticulture. 2018. Vol. 24, № 2. P. 163–173.
38. Waghmare S.J. et al. Evaluation of fungicides and bioagents against *Fusarium solani* incitant of wilt disease of gladiolus // International journal of plant sciences. 2020. Vol. 15, № 1. P. 29–33. doi: 10.15740/HAS/IJPS/15.1/29–33

References

1. Bylov V.N. [Fundamentals of comparative cultivars evaluation of ornamental plants]. *Introdukciya i selekciya cvetochno-dekorativnyh rastenij* [Introduction and selection of floral and ornamental plants]. Moscow, Nauka Publ., 1978, pp. 7-32. (In Russ.).
2. Gromov A.N. *Gladiolusy*. [Gladioli]. Moscow, Rossel'chozizdat Publ., 1981. 191 p. (In Russ.).
3. Gromov A.N., Ardab'evskaya T.V. *Gladiolusy*. [Gladioli]. Moscow, OLMA-press Zvezdnyj mir Publ., 2002. 176 p. (In Russ.).

4. Denisova S.G., Mironova L.N. [Gladiolus collection fund in the Ufa botanical garden]. *Cvetovodstvo: Istorija, Teorija, Praktika* [Floriculture: History, Theory, Practice: materials of the VII International Scientific Conference]. Minsk, 2016, pp. 101-104. (In Russ.).
5. Zajcev G.N. *Fenologija travjanistych mnogoletnikov* [Phenology of herbaceous perennials]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 50 p. (In Russ.).
6. Kruchonok A.V. [The collection of gladioli in the Central botanical garden: steps of formation, structure and criteria of maintaining]. *Cvetovodstvo: Istorija, Teorija, Praktika* [Floriculture: History, Theory, Practice: materials of the VII International Scientific Conference]. Minsk, 2016, pp. 143-145. (In Russ.).
7. Kuzichev B.A., Kuzicheva O.A., Kuzichev O.B. *Gladiolusy*. [Gladioli]. Moscow, Fiton+ Publ., 2002. 144 p. (In Russ.).
8. Kuzichev O.B., Kuzichev B.A. [Study of corms growth and other indicators of productivity of gladiolus cultivars]. *Vestnik MičGAU*. No 1 (2007): pp. 41-45. (In Russ.).
9. Lakin G.F. *Biometrija* [Biometriya]. Moscow, Vysšaja škola Publ., 1990. 352 p. (In Russ.).
10. Lamonov V.V. [Assessment of the fund of grades of the gladiolus hybrid of I.V. Michurin all-Russia research institute for horticulture]. *Cvetovodstvo: Istorija, Teorija, Praktika* [Floriculture: History, Theory, Practice: materials of the VII International Scientific Conference]. Minsk, 2016, pp. 152-153. (In Russ.).
11. Lisyanskij B.G., Ladygina G.G. *Gladiolusy: opredelitel'*. [Gladioli: the determinant]. Moscow, AST Publ., 2002. 251 p. (In Russ.).
12. Mamaev S.A. [The main results and the most important problems of plant introduction in the Urals]. *Introdukcija i akklimatizacija dekorativnyh rastenij* [Introduction and acclimatization of ornamental plants]. Sverdlovsk, 1982, pp. 3-23. (In Russ.).
13. Mantrova E.Z. *Osobennosti pitaniya i udobrenija dekorativnyh kul'tur* [Features of nutrition and fertilization of ornamental crops]. Moscow, 1973. 239 p. (In Russ.).
14. *Metodika fenologičeskich nabljudenij v botaničeskich sadach SSSR* [Methods of phenological observations in USSR botanical gardens]. Moscow, 1975. 27 p. (In Russ.).
15. Weather and climate [Electronic resource]. Available at: www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=28224 (accessed 08.04.2021). (In Russ.).
16. Primakov S.A. [Influence of microfertilizers and biostimulants on gladiolus productivity and decorative qualities]. *Agrarnyj vestnik Urala. Agronomija*. No 8 (62) (2009): pp. 76-78. (In Russ.).
17. Pryahina S.I., Fridman Yu.N., Vasil'eva M.Yu. [Climate monitoring of the Saratov region]. *Izvestija Saratovskogo universiteta. Novaja serija. Serija Nauki o Zemle*. V. 6, Iss. 1 (2006): pp. 15-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2006-6-1-15-18>
18. Sedelnikova L.L. [Introduction of *Gladiolus hybridus* hort. In Siberia: history, formation of collection, modern direction]. *Cvetovodstvo: Istorija, Teorija, Praktika* [Floriculture: History, Theory, Practice: materials of the VII International Scientific Conference]. Minsk, 2016, pp. 192-194. (In Russ.).
19. Sedelnikova L.L., Zubkus L.P. *Gladiolusy v Zapadnoj Sibiri* [Gladioli in Western Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. 152 p. (In Russ.).
20. Sinadskij YU.V. *Vrediteli i bolezni cvetočno-dekorativnyh rastenij* [Pests and diseases of ornamental plants]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 592 p. (In Russ.).
21. Tamberg T.G. *Metodika pervičnogo sortoizučeniya gladiolusa gibridnogo*. [Methodology for the primary cultivar study of gladiolus hybridus]. Leningrad, 1972. 35 p. (In Russ.).
22. Tamberg T.G. *Tjul'pany, lilii, narcissy, gladiolusy*. [Tulips, lilies, daffodils, gladioli]. St-Peterburg, Agropromizdat Publ., 2001. 400 p. (In Russ.).
23. Tamberg T.G., Maksimov V.A., Chesnokov K.A. *Gladiolus* [Gladiolus]. Leningrad, Kolos Publ., 1978. 159 p. (In Russ.).
24. Chertkova M.A., Shumikhin S.A. [*Gladiolus* L. collection in Botanical Garden of Perm State University]. *Cvetovodstvo: istorija, teorija, praktika* [Floriculture: history, theory, practice: collection of articles of the IX International Scientific Conference]. St-Peterburg, 2019, pp. 164-169. (In Russ.).
25. Shakina T.N. [Rhythms of seasonal development of some gladiolus cultivars in conditions of Lower Volga region]. *Bjulleten' botaničeskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*. No 8 (2009): pp. 192-199. (In Russ.).
26. Shakina T.N. [Assessment of winter hardiness of gladiolus corms in Lower Volga region]. *Dendrologija, cvetovodstvo i sadovo-parkovoe stroitel'stvo* [Dendrology, floriculture and garden and park construction: materials of the International Scientific Conference]. Yalta, 2012, V. 1, p. 146. (In Russ.).
27. Shilov M.P., Shilov Yu.M., Dimitriev A.V., Sigunov E.V. *Sady i noosfera* [Gardens and noosphere]. Vladimir, Nranzit-IKS Publ., 2019. 200 p. (In Russ.).
28. Abdou M.A.H., Badran F.S., Ahmed E.T., Taha R.A., Abdel-Mola M.A.M. Effect of compost and some natural stimulant treatments on: i. vegetative growth and flowering aspects of (*Gladiolus grandiflorus* cv. Peter Pears) plants. *Scientific Journal Flowers & Ornamental Plants*. V. 5, No 2 (2018): pp. 105-114. doi: 10.21608/sjfo.2018.17770

29. Abdou M.A.H., Aly M.K., El-Sayed A.A., Ahmed A.S.A. Influence of organic manure, biofertilizer and/or some vitamin treatments on: a. vegetative growth and flowering aspects of *Gladiolus grandiflorus* var. Gold Field plants. *Scientific Journal Flowers & Ornamental Plants*. V. 6, No 2 (2019): pp. 113-124. doi: 10.21608/sjfop.2019.70965
30. Ahmmad C.A., Abdullatif S.A. Effect of organic matter, bio-fertilizers and magnetic water on the vegetative growth and flower quality of gladiolus (*Gladiolus hybrida* L.) var. Cartago. *Applied Ecology and Environmental Research*. V. 18, No 2 (2020): pp. 2637-2655.
31. Asatkar R.B., Panchbhai D.M., Badge Sh., Gaidhani A. Growth and flowering performance of gladiolus varieties. *Journal of Soils and Crops*. V. 28, No 1 (2018): pp. 212-215.
32. Azimi M.H. Evaluation yield and genetically factors in different cultivars of gladiolus. *Ornamental Horticulture*. V. 26, No 1 (2020): pp. 8-17. <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v26i1.2027>
33. Azimi M.H., Edrisi B., Khalaj M.A. Evaluation of genetic parameters and cormllet yield in gladiolus offspring. *Journal of Ornamental Plants*. V. 10, No 1 (2020): pp. 37-47.
34. Janowska B., Andrzejak R., Kosiada T., Kwiatkowska M., Smolińska D. The flowering and nutritional status of *Gladiolus hybridus* cv. Black Velvet following a cytokinin treatment. *Journal of Elementology*. V. 23, No 3 (2018): pp. 1119-1128. doi: 10.5601/jelem.2018.23.1.1522
35. Mishra A., Singh A.K., Kumar A. Effect of foliar feeding of zinc and iron on flowering and yield attributes of *Gladiolus (Gladiolus grandiflorus* L.) cv. Novalux. *Plant Archives*. V. 18, No 2 (2018): pp. 1355-1358.
36. Sable P.R. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and vase life of *Gladiolus* cv. H.B. Pitt. *Journal of Soils and Crops*. V. 28, No 1 (2018): pp. 199-203.
37. Schwab N.T., Streck N.A., Uhlmann L.O., Becker C.C., Ribeiro B.S.M.R., Langner J.A., Tomiozzo R. Duration of cycle and injuries due to heat and chilling in gladiolus as a function of planting dates. *Ornamental Horticulture*. V. 24, No 2 (2018): pp. 163-173.
38. Waghmare S.J., Joshi S., Patil V.V., Patil V.S. Evaluation of fungicides and bioagents against *Fusarium solani* incitant of wilt disease of gladiolus. *International journal of plant sciences*. V. 15, No 1 (2020): pp. 29-33. doi: 10.15740/HAS/IJPS/15.1/29-33

Статья поступила в редакцию 21.10.2021; одобрена после рецензирования 08.12.2021; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 21.10.2021; approved after reviewing 08.12.2021; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

М. А. Черткова – канд. биол. наук;

Т. Н. Шакина – канд. биол. наук.

Information about the authors

M. A. Chertkova – candidate of biological sciences;

T. N. Shakina – candidate of biological sciences.

Вклад авторов:

Черткова М.А. – анализ литературы; выполнение исследования; обработка результатов; написание исходного текста.

Шакина Т.Н. – анализ литературы; выполнение исследования; обработка результатов; написание исходного текста.

Contribution of the authors:

Chertkova M.A. – literature analysis; research execution; processing of results; writing the text of the article.

Shakina T.N. – literature analysis; research execution; processing of results; writing the text of the article.

МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 579.22

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-35-41

**Real-time мониторинг физиологических параметров
для изучения раннего ответа бактерий *Escherichia coli*
на пероксидный стресс**

**А. В. Тюленев^{1✉}, Г. В. Смирнова², А. О. Габова³, Г. А. Триандафилова⁴,
О. Н. Октябрьский⁵**

^{1,2,4,5} Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

³ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Валерьевич Тюленев, Leksey333@yandex.ru

Аннотация. Исследовался ответ аэробно растущих культур *Escherichia coli* на пероксидный стресс с применением синхронного мониторинга в реальном времени таких параметров, как pO_2 (парциальное давление кислорода), pH, Eh (редокс-потенциал культуры), экстраклеточные уровни ионов K^+ и S^{2-} , в комбинации с традиционными физиолого-биохимическими и генетическими методами. Установлено, что при раннем ответе на пероксидный стресс наблюдается резкое повышение pO_2 в среде, вызванное деградацией H_2O_2 эндогенными каталазами. При действии $100 \mu M H_2O_2$ обратимое падение скорости роста сопровождалось возрастанием экстра- и внутриклеточного глутатиона и кратковременным увеличением продукции сульфида. Обработка высокой дозой H_2O_2 ($10 mM$) приводила к ингибированию роста и снижению колониеобразующей способности (CFU), наиболее выраженных у мутантов по синтезу глутатиона. Одновременно у 8% клеток снижался мембранный потенциал, наблюдался выход части калия в среду, и возрастала экспрессия гена *sulA*, входящего в состав SOS-регулона. В совокупности, применение комплексного подхода позволило выявить тесную связь между ростовыми параметрами (удельная скорость роста и выживаемость), дыхательной активностью, продукцией сульфида, а также способностью бактерий к поддержанию мембранного потенциала и градиента ионов калия.

Ключевые слова: физиологические (интегральные) параметры культуры, электрохимические сенсоры, мониторинг в реальном времени, бактерии *Escherichia coli*, пероксидный стресс

Для цитирования: Real-time мониторинг физиологических параметров для изучения раннего ответа бактерий *Escherichia coli* на пероксидный стресс / А. В. Тюленев, Г. В. Смирнова, А. О. Габова, Г. А. Триандафилова, О. Н. Октябрьский // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 35–41. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-35-41>.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания, номер госрегистрации темы: АААА-А19-119112290009-1, грантов президента РФ МК-420.2020.4, РФФИ-Урал 19-44-590009, РФФИ 20-34-90016.

MICROBIOLOGY

Original article

**Real-time monitoring of physiological parameters in the study
of *Escherichia coli* early response to peroxide stress**

**A. V. Tyulenev^{1✉}, G. V. Smirnova², A. O. Gabova³, G. A. Triandafilova⁴,
O. N. Oktyabrsky⁵**

^{1,2,4,5} Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of RAS, Perm, Russia

³ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Corresponding author: Aleksey V. Tyulenev, Leksey333@yandex.ru

Abstract. The response of aerobically growing *Escherichia coli* cultures to peroxide stress was studied using synchronous real-time monitoring of parameters pO_2 (oxygen partial pressure), pH, Eh (redox potential of the culture), extracellular levels of K^+ and S^{2-} , in combination with traditional physiological, biochemical and genetic methods. A sharp increase in pO_2 level in the medium caused by the destruction of H_2O_2 by endogenous catalases was observed in the early response to peroxide stress. The addition of $100 \mu M H_2O_2$ provoked a reversible

decrease in the specific growth rate, accompanied by an increase of extra- and intracellular glutathione and a short-term increase in sulfide production. Treatment with a high dose of H₂O₂ (10 mM) led to growth inhibition and a CFU loss, most pronounced in glutathione synthesis mutants. Simultaneously, in 8% of cells, the membrane potential decreased, a part of potassium was released into the medium, and the expression of the *sulA* gene, which is part of the SOS-regulon, increased. Application of an integrated approach to the study of stress revealed a close relationship between growth parameters (specific growth rate and survival), respiratory activity, sulfide production, and the ability of *E. coli* cells to maintain the membrane potential and K⁺ gradient.

Keywords: physiological parameters, integral parameters of bacterial culture, electrochemical sensors, real-time monitoring, *Escherichia coli*, peroxide stress

For citation: Tyulenev A. V., Smirnova G. V., Gabova A. O., Triandafilova G. A., Oktyabrsky O. N. [Real-time monitoring of physiological parameters in the study of *Escherichia coli* early response to peroxide stress]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 35-41. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-35-41>.

Acknowledgments: the research was supported by the state assignment AAAA-A19-119112290009-1, and by the grants MK-420.2020.4, Russian Foundation of Basic Research RFBR-Ural 19-44-590009, RFBR-20-34-90016.

Введение

Окислительный стресс, как неизбежное следствие аэробной жизни, является результатом воздействия активных форм кислорода (АФК) на живые организмы. АФК оказывают токсическое и мутагенное действие на все виды клеток вследствие окислительного повреждения мембранных липидов, белков и ДНК. В ходе эволюции бактерии, как и другие организмы, выработали защитные механизмы, позволяющие адаптироваться к различным типам окислительного стресса, одним из которых является пероксидный стресс. При действии на бактерии *Escherichia coli* пероксида водорода, адаптивный ответ связан, в первую очередь, с индуцированным синтезом большого числа белков, включая каталазы. Синтез этих белков кодируется генами, часть которых находится под контролем регулонов *oxyR* и SOS-ответа.

Окислительный стресс может быть следствием прямого действия экзогенных АФК, а также побочным результатом метаболической активности самих бактерий. Известно, что одним из основных внутриклеточных источников АФК является дыхательная цепь. В нормальных условиях эти АФК, благодаря активности компонентов антиоксидантной защиты, присутствуют в безопасных количествах. Однако при различных стрессовых ситуациях АФК могут накапливаться в высоких концентрациях, создающих потенциальную угрозу для выживаемости бактериальной клетки. Следует отметить, что, хотя повышение АФК при стрессах показано во многих работах, вопрос об их вкладе в стресс-индуцируемые повреждения клеточных структур остается открытым, что, во многом, связано с наличием противоречивых данных [Zhao et al., 2015]. Источниками расхождений в результатах могут быть такие факторы, как использование разных питательных сред или условий культивирования, способов отбора биоматериала, а также отсутствие контроля за изменениями таких физико-химических параметров, как условия аэрации, редокс-состояние (Eh) культуры, pH и ионный баланс. Одним из способов решения этой проблемы может быть применение системы непрерывной и синхронной регистрации указанных параметров в растущих культурах бактерий в комбинации с традиционными физиолого-биохимическими методами. Это позволяет отследить изменения параметров, происходящие в течение нескольких секунд, без отбора биоматериала – непосредственно в бактериальной культуре, что приближает получаемые данные к условиям *in vivo*. Ранее этот подход применялся нами при изучении ответа растущих *E. coli* на стрессы, индуцируемые голоданием по питательным субстратам и антибиотиками [Smirnova et al., 2017, 2018, 2019; Tyulenev et al., 2018].

Цель исследования – изучить ранний ответ аэробно растущих штаммов *E. coli* на пероксидный стресс с помощью системы мониторинга физиологических параметров в реальном времени на основе электрохимических сенсоров, в комплексе с традиционными физиолого-биохимическими и генетическими методами.

Материалы и методы исследования

Объект исследований. Грамотрицательные энтеробактерии *Escherichia coli* BW25113 (родительский тип, wt), JW2663 (*AgshA*), дефектный по синтезу глутатиона (GSH) из коллекции Keio (Coli Genetic Stock Center) [Baba et al., 2006]. NM3011, несущий слияние промотора гена *sulA* со структурным геном *lacZ*, сконструирован в лаборатории физиологии и генетики микроорганизмов (ЛФГМ) на основе BW25113. Бактерии культивировали на минимальной среде M9 [Miller, 1972] с добавлением 0,15% глюкозы в аэробных условиях при 37°C в термостатируемом орбитальном шейкере при 150 об/мин в колбах на 250 мл.

Под ранним ответом («early response») мы указываем период от момента индукции стресса до некоторой стабилизации исследуемых параметров, продолжительностью около 120 мин. Исследование проводили в середине экспоненциальной фазы роста, в диапазоне OD_{600} 0.4–0.8 и pO_2 60–40%.

Ростовые характеристики. Оптическую плотность культуры определяли на фотометре КФК-3 («ЗОМЗ», Россия) при длине волны 600 нм. Удельную скорость роста (μ) рассчитывали по формуле

$$\mu = \frac{\ln OD_{600}(t_2) - \ln OD_{600}(t_1)}{t_2 - t_1},$$

где $OD_{600}(t_2)$ и $OD_{600}(t_1)$ – оптическая плотность культуры во время t_2 и t_1 . Определение способности к образованию колоний (КОЕ, CFU) выполняли общепринятым методом, подсчитывая число колоний, выросших на чашках Петри с твердым LB-агаром через 24 ч. после высева на агар. Образцы для определения КОЕ и других анализов отбирали без остановки перемешивания культуральной жидкости.

Real-time мониторинг с применением электрохимических сенсоров. Регистрацию изменений физиологических параметров растущих культур *E. coli* проводили с помощью установленных непосредственно в колбах электрохимических сенсоров. Информация, поступающая от отдельных блоков регистрации, непрерывно и синхронно обрабатывалась в режиме реального времени с применением единого аппаратно-программного комплекса. Парциальное давление кислорода (pO_2) в среде определяли полярографическим методом с помощью электрода Кларка InPro 6800 (Mettler Toledo) на модифицированном контроллере BioFlo 110 (New Brunswick Scientific Co., USA). Чувствительную регистрацию pH осуществляли комбинированным pH-электродом ЭСК-10301 («Измерительные Технологии», РФ) на том же контроллере. Концентрацию экстраклеточного сульфид-иона определяли, применяя сульфид-специфичный ионоселективный сенсор XC-S2--001 (Sensor Systems Company, РФ) с рабочим диапазоном pH 6–12. Редокс-потенциал (Eh) регистрировали платиновым электродом ЭРП-105 («Измерительные Технологии», РФ), уровень экстраклеточных ионов калия (K^+) регистрировали K^+ -селективным сенсором ELIS-121K («Измерительные Технологии», РФ). Потенциометрические сигналы с указанных электродов обрабатывались цифровыми рХ-метрами срХ-2 (ИБП, Пушино, РФ). Синхронная обработка первичных данных, получаемых от системы сенсоров, осуществлялась по протоколам RS-232 и Modbus, с дальнейшей визуализацией на программном комплексе Advantech OPC Server v3.0 [Tyulenev et al., 2018].

Определение изменений мембранного потенциала (МП). Применяли $\Delta\psi$ -чувствительный флуоресцентный краситель DiBAC4(3), бис-(1,3-дибутилбарбитуратовая кислота)-триметиноксонол). Образцы клеток, иммобилизованные на агаризованной питательной среде, исследовали на флуоресцентном микроскопе Leica DM2000 (фильтр-система I3, возбуждение 450–490 нм, эмиссия 515 нм). Общее количество клеток, в том числе флуоресцирующих, подсчитывалось на определенной площади и обрабатывалось с помощью программных пакетов Leica Application Suite (v.3.4.0) и ImageJ.

Определение концентрации внутри- и экстраклеточного глутатиона (GSH). Внеклеточный глутатион определяли в образцах объемом 2.5 мл, отобранных методом быстрой фильтрации через фильтры с размером пор 0.45 мкм. Пробы для определения внутриклеточного глутатиона отбирали путем центрифугирования ($8000 \times g$ в течение 5 мин). Концентрацию GSH измеряли с использованием высокочувствительного и высокоспецифичного метода рециркуляции DTNB-глутатионредуктазы [Tietze, 1969], модифицированного, как описано ранее [Smirnova et al., 2012].

Определение активности β -галактозидазы. Активность β -галактозидазы в клетках *E. coli*, несущих слияние *sulA::lacZ*, определяли по методу Миллера [Miller, 1972].

Статистический анализ данных. Каждый результат указывается как среднее значение не менее трех независимых экспериментов \pm стандартная ошибка среднего (SEM). Достоверность разницы анализировали с помощью t-критерия Стьюдента. Значение P, равное 0.05, использовалось в качестве порога статистической значимости. Результаты анализировали с помощью пакета программ Statistica 6 (StatSoft Inc. 2001). Профили непрерывной записи представлены в виде типичных кривых из серии экспериментов.

Результаты и их обсуждение

Ответ растущих бактерий *E. coli* на действие пероксида водорода прослеживался в течение 2–3 ч. от начала обработки культуры оксидантом.

В течение первых 90 мин. в не обработанных оксидантом культурах (контроль) удельная скорость роста (μ) составляла 0.65 ± 0.01 у родительского штамма BW25113 и 0.67 ± 0.02 – у штамма JW2663 (*DgshA*), дефицитного по синтезу глутатиона (GSH). Последующее снижение μ до 0.58 ± 0.01 и 0.53 ± 0.03 час⁻¹, соответственно, совпадало с моментом исчерпания растворенного кислорода в среде у обоих штаммов.

Обработка растущих *E. coli* микромолярными дозами (100 μ M) H_2O_2 приводила к быстрому и обратимому снижению скорости роста в 1.5 раза (до 0.42 ± 0.03 час⁻¹) у обоих испытуемых штаммов. Восстанов-

ление μ до значений, наблюдаемых в необработанных оксидантом культурах, наступало через 30 мин. у родительского штамма и через 45 мин. – у мутантов $\Delta gshA$. Добавление 2 mM H_2O_2 вызывало снижение μ в 5 раз (до 0.13 ± 0.02) у BW25113 и в 15 раз (до 0.04 ± 0.006) у $\Delta gshA$. У обоих штаммов полное восстановление скорости роста отмечалось к 100-й мин. Добавление 100 μM и 2 mM H_2O_2 пероксида водорода не оказывало значительного воздействия на выживаемость (CFU) обоих штаммов по сравнению с контролем. Действие 10 mM H_2O_2 вызывало полную остановку роста у обоих штаммов. Снижение оптической плотности культуры указывало на возможную гибель клеток. Действительно, через 180 мин. после воздействия данной концентрацией у родителя отмечалось снижение выживаемости (CFU) в 18 раз, тогда как у мутантов $\Delta gshA$ – на 4 порядка (в 9 550 раза) в сравнении с условиями без обработок (контролем).

Внесение пероксида водорода в среду, не содержащую клеток, не вызывало значительного отклонения от базового уровня pO_2 (100%). Однако после добавления каталазы (50 U/ml) в среду с 10 mM H_2O_2 , в результате ее ферментативной деструкции, уровень растворенного O_2 в среде резко повышался более чем в 4 раза. По мере снижения концентрации оксиданта количество растворенного кислорода в среде возвращалось к базовому значению.

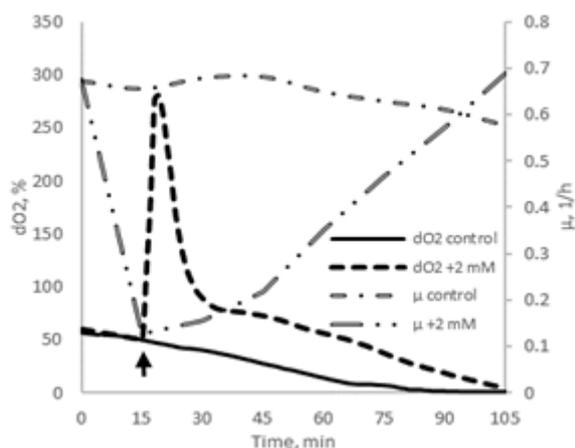


Рис. 1. Изменение парциального давления кислорода в среде (dO_2) и удельной скорости роста (μ) при раннем ответе бактерий *E. coli* BW25113 на добавление 2 mM H_2O_2 . Стрелкой обозначено время индукции стресса

[Changes in the partial pressure of oxygen in the medium (dO_2) and specific growth rate (μ) during the early response of *E. coli* BW25113 to the addition of 2 mM H_2O_2 . The arrow indicates the stress-induction time]

жение pH среды на 0.19 единиц (с 6.99 до 6.8). При росте в присутствии 100 μM H_2O_2 регистрировалось снижение pH среды у родительского штамма и мутанта $\Delta gshA$ на 0.25 и 0.27 единиц, соответственно. При обработке 10 mM H_2O_2 значение pH среды оставалось неизменным в течение всего периода наблюдения, что является следствием ингибирования роста и, соответственно, метаболизма глюкозы.

Ранее было показано, что при некоторых стрессах, сопровождаемых быстрой остановкой роста *E. coli*, растущих аэробно на минеральных средах, наблюдаются скачки редокс-потенциала (Eh) в область отрицательных значений [Oktyabrskii, Smirnova, 2012]. Показано, что этот скачок сопряжен с обратимым увеличением уровня сульфида или цистеина в культуральной среде [Tyulenev et al., 2018]. Выброс H_2S клетками связан с поддержанием гомеостаза цистеина в стрессовых условиях как часть защитного механизма *E. coli* от эндогенного окислительного стресса и может рассматриваться в качестве еще одного параметра физиологического состояния культуры [Smirnova et al., 2019].

В процессе роста обоих штаммов *E. coli* в отсутствие окислительного стресса Eh среды постепенно снижался от +190 мВ до -350 мВ. Переход Eh в область отрицательных значений совпадал с моментом полного исчерпания кислорода. В этих условиях уровень сульфида в среде поддерживался на низком уровне. Внесение 100 μM H_2O_2 в растущую культуру вызывало быстрое обратимое падение потенциала сульфид-специфичного сенсора (pS^2), что указывает на усиление продукции H_2S клетками. Через 2 мин. после добавления H_2O_2 в культуру родительского штамма концентрация сульфида в среде составляла

В культуре *E. coli*, несмотря на интенсивное перемешивание среды, дыхательная активность растущих клеток приводила к постепенному снижению уровня растворенного O_2 до нуля (рис. 1). Добавление 100 μM H_2O_2 вызывало кратковременное увеличение pO_2 на 20% у родительского штамма и на 30% – у $\Delta gshA$, что указывало на ингибирование дыхательной активности клеток. Это подтверждается результатами измерения pO_2 в бесклеточной среде с добавлением каталазы. У обоих штаммов добавление 2 mM H_2O_2 вызывало переходящее повышение pO_2 в 5.6 раза (с 50 до 280%), с последующим снижением до базового уровня, что отражено на рис. 1 в виде кривой непрерывной регистрации этого параметра в реальном времени. В этих условиях у мутанта $\Delta gshA$ ингибирование дыхания было выражено в большей степени, чем у родительского штамма. У обоих штаммов обработка растущих культур 10 mM H_2O_2 приводила к полному ингибированию дыхания.

Известно, что рост *E. coli* на минимальных средах с глюкозой сопровождается закислением среды вследствие накопления продуктов неполного окисления глюкозы. Степень снижения pH культуральной среды может косвенно указывать на интенсивность углеводного метаболизма и применяться как один из интегральных показателей физиологического состояния культуры. В наших условиях при нормальном росте у обоих штаммов регистрировалось постепенное снижение

13.8±0.12 nM. Повышенная концентрация сульфидов в среде сохранялась в течение 8 мин. У мутантов *ΔgshA* продукция сульфидов начиналась сразу после индукции окислительного стресса и длилась в течение 10 мин. Максимальная концентрация сульфидов в среде у *ΔgshA* была в 4 раза выше (58.8±5 nM), чем в культуре родительского штамма. При действии 2 mM H₂O₂ обратимая аккумуляция экстраклеточного сульфидов достигала 380±41 nM в клетках родительского штамма и 701±70 nM – в культуре *ΔgshA* (рис. 2). Обработка 10 mM пероксида не вызывала значительных изменений продукции сульфидов у обоих штаммов. Следует отметить, что наблюдается соответствие между изменениями Eh, концентрации экстраклеточного сульфидов и pO₂ в среде на раннем этапе ответа на пероксидный стресс.

Рост *E. coli* в отсутствие окислительного стресса сопровождался непрерывным поглощением из среды ионов калия в количестве, пропорциональном числу клеток, о чем свидетельствовало постепенное снижение потенциала K⁺-специфического электрода. Добавление 100 μM H₂O₂ не влияло на накопление калия у родительского штамма, а у мутантов *ΔgshA* вызывало кратковременное торможение в течение 3 мин. Обработка 2 mM пероксида водорода приводила к значительному ингибированию входа K⁺, длившемуся 10 мин. у родительского штамма, и 45 мин. – у *ΔgshA*. Следует отметить, что при данной концентрации окислителя оба штамма сохраняли способность к удержанию калия. После добавления 10 mM H₂O₂ полное ингибирование роста и снижение CFU у обоих штаммов сопровождалось утратой части внутриклеточного калия. В нашей работе наблюдение за изменениями мембранного потенциала (МП) в растущей культуре оценивали с помощью флуоресцентного проникающего красителя DiBAC4(3). Повышение доли флуоресцирующих клеток соответствует снижению МП. В нормальных условиях количество окрашенных DiBAC4(3) клеток не превышало 1%. При действии 2 mM H₂O₂ отмечено незначительное увеличение доли флуоресцирующих бактерий не более чем у 3% клеток. Существенное снижение МП наблюдалось только при обработке 10 mM H₂O₂, о чем свидетельствует увеличение доли флуоресцирующих клеток до 8±2%.

Ранее было обнаружено, что аэробно-растущие культуры *E. coli* содержат микромолярные количества глутатиона [Owens, Hartman, 1986]. В нормальных условиях у аэробно растущих *E. coli* на среде M9 с сульфатом, уровень экстраклеточного (GSH_{out}) и внутриклеточного (GSH_{in}) глутатиона находится в динамическом равновесии. При различных стрессах наблюдаются обратимые изменения соотношения GSH_{out}/GSH_{in}. Также известно, что присутствие глутатиона в среде и его изменения при стрессах связаны с циркуляцией глутатиона между цитоплазмой клеток и средой [Smirnova et al., 2012].

В наших условиях по мере накопления биомассы наблюдалось постепенное накопление внутриклеточного GSH и некоторое его снижение в среде. При действии 100 μM перекиси водорода на *E. coli* BW25113, количество экстраклеточного глутатиона в течение 15–30 мин. возрастало в 1.5 раза, после чего постепенно снижалось до базового уровня. При обработке клеток 1 mM H₂O₂, также отмечалось повышение уровня GSH_{out} в 1.8 раза, с максимумом на 45–60 мин. после индукции стресса, после чего происходило снижение до базового значения. Интересно, что в этих же условиях, уровень GSH_{in}, напротив, возрастал в 2.1 раза в первые 15 мин., а затем поддерживался на постоянном уровне до конца эксперимента. Таким образом, при окислительном стрессе, вызванном действием H₂O₂, наблюдается усиление как экспорта глутатиона в среду, так и его аккумуляции в цитоплазме.

Известно, что при воздействии на бактерии *E. coli* пероксидом водорода адаптивный ответ связан с экспрессией SOS-регулона. Ген *sulA* является его частью и индуцируется при повреждении ДНК. В контрольных условиях, у *E. coli* NM3011, несущих слияние *sulA::lacZ*, экспрессия *sulA* находилась на постоянном уровне 170.2±9.5 ед. Миллера. Обработка 100 μM и 1 mM H₂O₂ растущих клеток повышала экспрессию *sulA* в 1.3 и 4 раза, соответственно, по сравнению с базовым значением. Следует отметить, что снижение экспрессии *sulA* по времени совпадало со снижением уровня экстраклеточного глутатиона, возобновлением поглощения калия и скорости роста, что может указывать на адаптацию и восстановление нормальной жизнедеятельности клеток после воздействия данной концентрации пероксида водорода.

В настоящей работе, с использованием электрохимических сенсоров, был осуществлен комплексный *real-time* мониторинг важных параметров растущих культур *E. coli*, подвергнутых пероксидному стрессу:

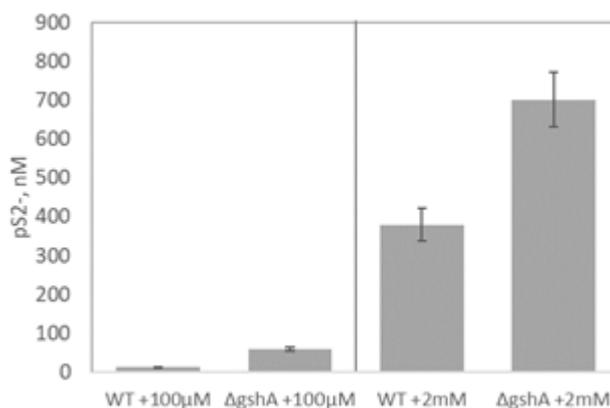


Рис. 2. Продукция сульфидов штаммами *E. coli* BW25113 (wt) и JW2663 (*ΔgshA*) после обработки 100 μM и 2 mM H₂O₂

[Sulfide production of *E. coli* BW25113 (WT) and JW2663 (*ΔgshA*) strains after treatment with 100 μM and 2 mM H₂O₂]

дыхательной активности, редокс-потенциала культуры, продукции сульфида водорода и изменения уровня экстраклеточных ионов K^+ . Измерения этих параметров осуществляли непрерывно в растущих культурах. Одновременно использовались традиционные микробиологические методы, предусматривающие отбор проб для определения ростовых характеристик, уровней GSH и экспрессии гена *sulA*.

Разработанная нами система непрерывного синхронного мониторинга позволила проследить изменения параметров, происходящие в течение нескольких секунд без отбора биоматериала, непосредственно в бактериальной культуре, что важно при исследовании быстрого ответа на пероксидный стресс. В совокупности, применение комплексного подхода позволило выявить тесную связь между такими физиологическими параметрами, как удельная скорость роста, дыхательная активность, продукция сульфида и динамика рН, с одной стороны, и способностью бактерий к поддержанию мембранного потенциала, градиента ионов калия и выживаемости, с другой.

Показано, что микромолярные количества пероксида водорода, не влияя на выживаемость как родителя, так и мутантов по синтезу глутатиона, способны вызывать кратковременное снижение скорости роста и дыхательной активности, сопровождаемые продукцией сульфида. Аналогичный феномен был ранее обнаружен при других стрессах [Smirnova et al., 2017, 2018, 2019]. Обработка 10 mM H_2O_2 оказывала острый токсичный эффект, приводя к полному ингибированию дыхательной активности, необратимой остановке роста и снижению CFU. Показано, что внесение высоких концентраций H_2O_2 может приводить к значительному изменению содержания кислорода в культуре, что, вероятно, является дополнительным стрессовым фактором на раннем этапе развития окислительного стресса.

Одновременно показано, что трипептид глутатион может выполнять важную роль в защите клеток от окислительного стресса, о чем свидетельствует снижение выживаемости мутанта $\Delta gshA$ на 4 порядка по сравнению с родительским штаммом, а также повышенный уровень внутриклеточного и наружного GSH в условиях окислительного стресса. Повышенная продукция эндогенного сульфида мутантами $\Delta gshA$ позволяет предположить, что эту роль глутатион может осуществлять, участвуя в поддержании гомеостаза цистеина. В целом, штамм JW2663, лишенный способности синтезировать глутатион, по всем исследуемым параметрам оказался более восприимчивым к действию всех испытываемых концентраций H_2O_2 .

Заключение

Real-time мониторинг раннего ответа аэробно растущих культур *E. coli* на пероксидный стресс выявил тесную связь между изменениями таких параметров, как удельная скорость роста, выживаемость, дыхательная активность и рН, с одной стороны, и продукция сульфида, мембранный потенциал и градиент K^+ , с другой. Комбинирование традиционных физиолого-биохимических методов и электрохимических сенсоров позволило выявить новые аспекты адаптации *E. coli* к пероксидному стрессу.

Список источников

1. Baba T. et al. Construction of *Escherichia coli* K-12 in-frame, single-gene knockout mutants: the Keio collection // Mol. Syst. Biol. 2006. Vol. 2. P. 1–11. DOI:10.1038/msb4100050
2. Miller J.H. Experiments in molecular genetics // Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press. 1972. 466 p.
3. Oktyabrskii O.N., Smirnova G.V. Redox potential changes in bacterial cultures under stress conditions // Microbiology (Moscow). 2012. Vol. 81, № 2. P. 131–142. DOI:10.1134/s0026261712020099
4. Owens R.A., Hartman P.E. Export of glutathione by some widely used *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* strains // J. Bacteriol. 1986. Vol. 168. P. 109–114. DOI:10.1128/jb.168.1.109-114.1986
5. Smirnova G.V. et al. Transmembrane glutathione cycling in growing *Escherichia coli* cells // Microbiol. Res. 2012. Vol. 167. P. 166–172. DOI:10.1016/j.micres.2011.05.005
6. Smirnova G.V. et al. Ciprofloxacin provokes SOS-dependent changes in respiration and membrane potential and causes alterations in redox status of *Escherichia coli*. // Res. Microbiol. 2017. Vol. 168. P. 64–73. DOI:10.1016/j.resmic.2016.07.008.
7. Smirnova G.V. et al. The sharp phase of respiratory inhibition during amino acid starvation in *Escherichia coli* is *RelA*-dependent and associated with the regulation of ATP synthase activity. // Res. Microbiol. 2018. Vol. 169. P. 157–165. DOI:10.1016/j.resmic.2018.02.003
8. Smirnova G.V. et al. Cysteine homeostasis under inhibition of protein synthesis in *Escherichia coli* cells. // Amino Acids. 2019. Vol. 51. P. 1577–1592. DOI:10.1007/s00726-019-02795-2
9. Tietze F. Enzymic method for quantitative determination of nanogram amounts of total and oxidized glutathione: applications to mammalian blood and other tissues // Anal. Biochem. 1969. Vol. 27. P. 502–522. DOI: 10.1016/0003-2697(69)90064-5
10. Tyulenev A.V. et al. The role of sulfides in stress-induced changes of Eh in *Escherichia coli* cultures. // Bioelectrochemistry. 2018. Vol. 121. P. 11–17. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2017.12.012
11. Zhao X. et al. Moving forward with reactive oxygen species involvement in antimicrobial lethality. // J. Antimicrob. Chemother. 2015. Vol. 70. P. 639–642. DOI:10.1093/jac/dku463

References

1. Baba T., Ara T., Hasegawa M., Takai Yu., Okumura Yo., Baba M., Datsenko K.A., Tomita M., Wanner B. L., Mori H. Construction of *Escherichia coli* K-12 in-frame, single-gene knockout mutants: the Keio collection. *Mol. Syst. Biol.* V. 2 (2006): Epub. 2006 Feb 21. DOI:10.1038/msb4100050
2. Miller J.H. Experiments in molecular genetics. *Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press.* (1972): p. 466.
3. Oktyabrskii O. N., Smirnova G. V. Redox potential changes in bacterial cultures under stress conditions. *Microbiology (Moscow)*. Vol. 81. No 2. (2012): pp. 131-142. DOI:10.1134/s0026261712020099
4. Owens R.A., Hartman P.E. Export of glutathione by some widely used *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* strains. *J. Bacteriol.* V. 168 (1986): pp. 109-114. DOI: 10.1128/jb.168.1.109-114.1986
5. Smirnova G.V., Muzyka N.G., Oktyabrsky O.N. Transmembrane glutathione cycling in growing *Escherichia coli* cells. *Microbiol. Res.* V. 167 (2012): pp. 166-72. DOI: 10.1016/j.micres.2011.05.005
6. Smirnova G.V., Tyulenev A.V., Muzyka N.G., Peters M.A., Oktyabrsky O.N. Ciprofloxacin provokes SOS-dependent changes in respiration and membrane potential and causes alterations in the redox status of *Escherichia coli*. *Res. Microbiol.* V.168 (2017): pp. 64-73. DOI:10.1016/j.resmic.2016.07.008
7. Smirnova G.V., Tyulenev A.V., Muzyka N.G., Oktyabrsky O.N. The sharp phase of respiratory inhibition during amino acid starvation in *Escherichia coli* is *RelA*-dependent and associated with the regulation of ATP synthase activity. *Res. Microbiol.* V.169 (2018): pp. 157-165. DOI:10.1016/j.resmic.2018.02.003
8. Smirnova G.V., Tyulenev A.V., Bezmaternykh K.V., Muzyka N.G., Ushakov V.Yu., Oktyabrsky O. N. Cysteine homeostasis under inhibition of protein synthesis in *Escherichia coli* cells. *Amino Acids.* V. 51 (2019): pp. 1577-1592. DOI: 10.1007/s00726-019-02795-2
9. Tietze F. Enzymic method for quantitative determination of nanogram amounts of total and oxidized glutathione: applications to mammalian blood and other tissues. *Anal. Biochem.* V. 27 (1969): pp. 502-522. DOI:10.1016/0003-2697(69)90064-5.
10. Tyulenev A.V., Smirnova G.V., Muzyka N.G., Ushakov V. Yu., Oktyabrsky O.N. The role of sulfides in stress-induced changes of Eh in *Escherichia coli* cultures. *Bioelectrochemistry.* V. 121 (2018): pp. 11-17. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2017.12.012
11. Zhao X., Hong Y., Karl Drlica. Moving forward with reactive oxygen species involvement in antimicrobial lethality. *J. Antimicrob. Chemother.* V. 70 (2015): pp. 639-642. DOI:10.1093/jac/dku463

Статья поступила в редакцию 24.01.2022; одобрена после рецензирования 07.02.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 24.01.2022; approved after reviewing 07.02.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

Алексей Валерьевич Тюленев – Leksey333@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0312-0409>, канд. биол. наук.;
Галина Васильевна Смирнова – smirnova@iegm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6116-8147>, д-р биол. наук.;
Анна Олеговна Габова – ms.anya.05@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8672-5744>, студент;
Галина Андреевна Триандафилова – lindick@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5536-8214>, аспирант, лаборант;
Олег Николаевич Октябрьский – oktyabr@iegm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9864-209x>, д-р биол. наук, профессор.

Information about the authors

Aleksey V. Tyulenev – Leksey333@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0312-0409>, Cand.biol.sci.;
Galina V. Smirnova – smirnova@iegm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6116-8147>, PhD, Dr.biol.sci.;
Anna O. Gabova – ms.anya.05@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8672-5744>, student;
Galina A. Triandafilova – lindick@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5536-8214>, postgraduate, laboratory assistant;
Oleg N. Oktyabrsky – oktyabr@iegm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9864-209x>, PhD, Dr.biol.sci, professor.

Вклад авторов:

Тюленев А. В. – анализ литературы; выполнение исследования; обработка результатов; написание исходного текста.
Смирнова Г. В. – научный консультант; концепция исследования; итоговые выводы.
Габова А. О. – выполнение исследования; обработка результатов.
Триандафилова Г. А. – обработка результатов; написание исходного текста.
Октябрьский О. Н. – научное руководство; доработка текста; итоговые выв.

Contribution of the authors:

Tyulenev A. V. – literature analysis; research execution; processing of results; writing the draft.
Smirnova G. V. – scientific consultant; research concept; final conclusions.
Gabova A. O. – research execution; processing of results.
Triandafilova G. A. – processing of results; writing the draft.
Oktyabrsky O. N. – scientific management; revision of the text; final conclusions.

ЗООЛОГИЯ

Научная статья

УДК 590.5232(571.13)+502

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-42-53

Изучение позвоночных животных Барабинской и Ишимской лесостепей и Кулундинской степи для подготовки третьего издания Красной книги Омской области

Геннадий Николаевич Сидоров^{1✉, 2}, Олег Александрович Одинцев³,
Александр Александрович Кислый^{4, 5}, Антонина Александровна Одинцева⁶

^{1,3,4} Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия

² Омский научно-исследовательский институт природно-очаговых инфекций, Омск, Россия

^{5,6} Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

^{1✉} g.n.sidorov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8344-7726>

³ odintsevoa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0069-3065>

⁴ alphaedeliways@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9051-1458>

⁶ toska8@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7867-6639>

Аннотация. Представлены результаты мониторинга состояния популяций позвоночных животных, включенных в Красную книгу Омской обл. (2015) на территориях Азовского немецкого национального, Горьковского, Калачинского, Кормиловского, Нижнеомского, Оконешниковского, Омского, и Черлакского муниципальных районов площадью 24 тыс. км². Опрошено 97 респондентов со средним стажем наблюдений за животным миром и работе в природе 27 лет. Научными методами обследовано 67 ключевых участков. Мониторинг велся по поиску всех 107 видов, зафиксированных в Красной книге (2015) на этой территории и оставленных в ней к 2021 г. Было обнаружено 79 видов животных. Предлагается, после обследования всей территории региона, исключить из Красной книги Омской обл. щиповку сибирскую, подкаменщика сибирского, журавля серого, дятла черного, сорокопуга серого. Охраняемый статус савки и дрофы изменить на первую категорию статуса редкости; выши малой, нырка белоглазого и удода – на вторую, поганки серощекой, углозуба сибирского и подорлика большого – на пятую категорию статуса редкости.

Ключевые слова: Красная книга, Омская область, рыбы, птицы, млекопитающие

Для цитирования: Изучение позвоночных животных Барабинской и Ишимской лесостепей и Кулундинской степи для подготовки третьего издания Красной книги Омской области / Г. Н. Сидоров, О. А. Одинцев, А. А. Кислый, А. А. Одинцева // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 42–53. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-42-53>.

ZOOLOGY

Original article

Study of vertebrate animals of the Barabin and Ishim forest steppe and Kulunda steppe for preparation of the third edition of the Red book of the Omsk region

Gennady N. Sidorov^{1✉, 2}, Oleg A. Odintsev³, Alexander A. Kislyi^{4, 5},
Antonina A. Odintseva⁶

^{1,3,4} Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia

² Omsk Research Institute of Natural Focal Infections, Omsk, Russia

^{5,6} Institute of Systematics and Ecology of Animals RAS, Siberian Branch, Novosibirsk, Russia

^{1✉} g.n.sidorov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8344-7726>

³ odintsevoa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0069-3065>

⁴ alphaedeliways@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9051-1458>

⁶ toska8@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7867-6639>

Abstract. The article presents the results of monitoring of the conditions of vertebrate populations included in the Red Book of the Omsk Region (2015) in the territories of the Azov German National, Gorkovskiy, Kalachinsky, Kormilovskiy, Nizhneomskiy, Okoneshnikovskiy, Omsk, and Cherklaskiy municipal districts within the

area of 24 000 square km. 97 respondents with an average experience of observing animals and working in nature for 27 years were interviewed. 67 key sites were surveyed by scientific methods. Monitoring was carried out to search for all 107 species recorded in the Red Book (2015) in the mentioned area and species left in that area by 2021. 79 species of animals were found. After examining its entire territory, it is proposed to exclude the following species from the Red Book of the Omsk region: siberian loach, siberian sculpin, common crane, black woodpecker and the gray shrike. The status of protection of the savka and bustard should be changed to the first category, the little bittern, white-eyed pochard and the Eurasian hoopoe - to the second category, the red-necked grebe, Siberian salamander and the gray-cheeked grebe, Siberian salamander and the greater spotted eagle - to the fifth category of rarity status.

Keywords: Red book, Omsk region, fish, birds, mammals

For citation: Sidorov G. N., Odintsev O. A., Kislyi A. A., Odintseva A. A. [Study of vertebrate animals of the Barabin and Ishim forest steppe and Kulunda steppe for preparation of the third edition of the Red book of the Omsk region]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 42-53. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-42-53>.

Введение

Официальные исследования по ведению Красной книги Омской обл. начались в 1997 г. Работа над первым изданием была завершена в 2005 г. [Красная книга Омской ..., 2005]. Второе издание, переработанное и дополненное, было обнародовано в 2015 г. [Красная книга Омской ..., 2015]. Работа над третьим изданием продолжилась в 2018–2021 гг. Результаты исследований 2018–2019 гг. на территории четырех западных районов Омской обл. (Колосовский, Большеуковский, Называевский и Тюкалинский), расположенных в Нарымских осиново-березовых лесах и Ишимской лесостепи, опубликованы [Сидоров, Одинцев, 2018, 2020]. Третье издание Красной книги Омской обл. запланировано на 2025 г. В этой публикации представлены промежуточные результаты мониторинговой работы над этим природоохранным документом, полученные в 2020 и 2021 гг. на территории 8 юго-восточных и центральных районов Омской обл.

Объекты и методы исследований

Объект исследования – редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды позвоночных животных, занесенные в Красную книгу Омской обл. [2015]. Мониторинг численности и распространения этих организмов на изучаемой территории служит целью настоящей работы.

Мониторинговые работы проводились в 2020–2021 г. на территории 8 юго-восточных и центральных районов Омской обл. (Азовский немецкий национальный, Горьковский, Калачинский, Кормиловский, Нижнеомский, Оконешниковский, Омский, Черлакский) общей площадью 24 тыс. км². Это составляет 17% площади всей области. Семь из обследованных районов находятся на правом берегу р. Иртыша в Барабинской лесостепи и в Кулундинской степи. Азовский р-н и меньшая часть Омского р-на – на левобережье р. Иртыш в Ишимской лесостепи [Гвоздецкий, Михайлов, 1978; Атлас ..., 1999].

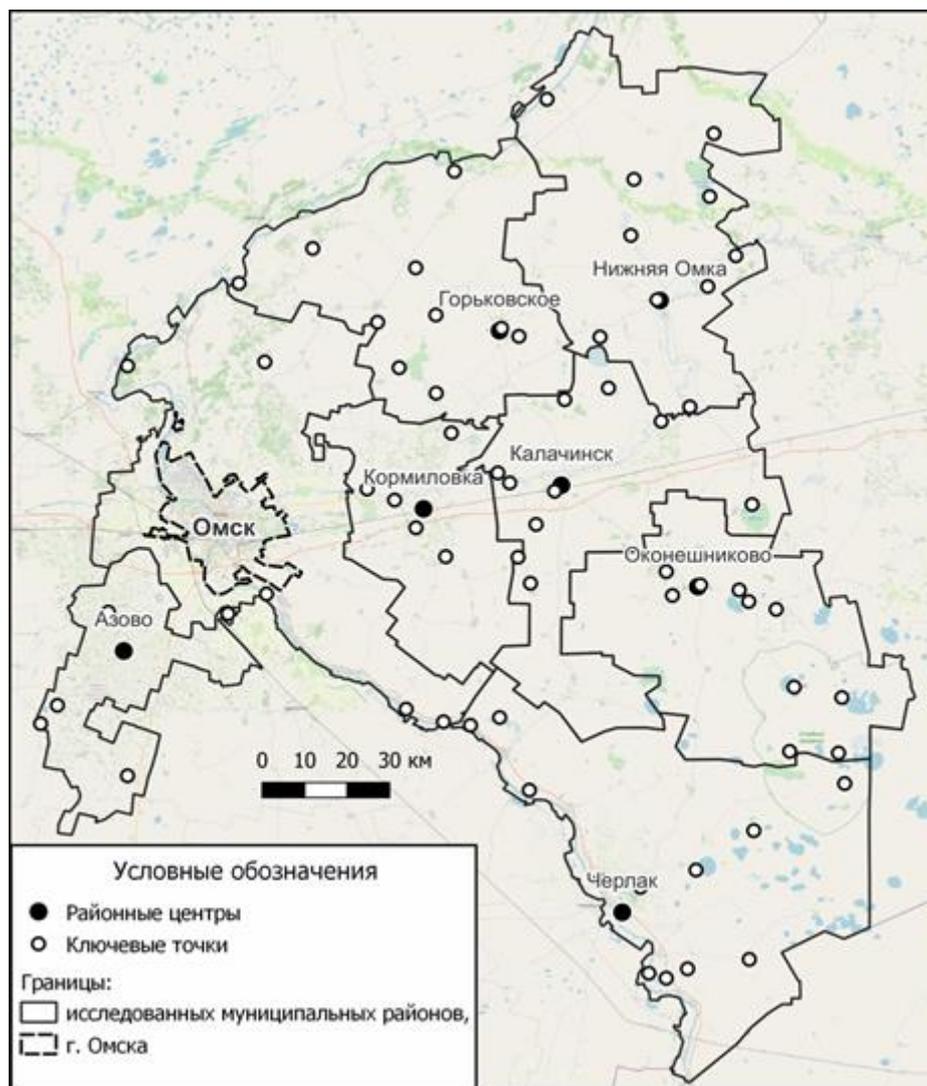
В ходе работы было опрошено 97 респондентов на предмет наличия сведений о численности и распределении видов, занесенных в Красную книгу Омской обл. [2015] за период 2015–2021 гг. В каждом районе опрошено по 10–14 охотоведов, егерей, охотников, рыбаков, работников лесного хозяйства, натуралистов-фотографов со средним стажем работы в природе и наблюдений за животным миром 27 лет. Определение географических указанных респондентами точек на местности проводилось при комплексном анализе комплекта общегеографических карт [Атлас, 2010] масштабом 1:100000 и ряда открытых онлайн-карт.

В 8 административных районах заложено и обследовано 67 ключевых участков. При проведении полевых маршрутных и точечных учетов применялась GPS-навигация с помощью GPS-приемников и аналогичных по функционалу приложений для Android, проводилась запись треков учетных маршрутов, точек учета и отбора проб, мест расположения пробных площадок, фотографирование отдельных представителей видов (рисунок).

Мелкие млекопитающие и земноводные учитывались методом ловчих канавок [Равкин, Ливанов, 2008]. Отлов краснокнижных млекопитающих ловушками [Кучерук, 1952] разрешен в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии № 57 от 17 ноября 2011¹. Земноводные и пресмыкающиеся дополнительно учитывались методом маршрутных учетов [Новиков, 1949; Лавров, 1974; Методы исследования..., 2003]. Проведено 67 маршрутных учетов птиц и пресмыкающихся без ограничения ширины трансекта общей протяженностью более 650 км с записью GPS-треков каждого маршрута и с фотофиксацией типичных мест обитания встреченных краснокнижных животных. Проводился точеч-

¹ Омский Вестник. 25 нояб. 2011. С. 79–80.

ный учет птиц (орнитологические засечки) [Новиков, 1949; Равкин, Челинцев, 1989; Инструкция..., 1989]. Выполнено 12 отловов птиц паутиными сетями с последующим фотографированием и возвращением в природу [Лавров, 1974; Ларина и др., 1981; Юдкин, Ефремова, 2008]. Определение видовой принадлежности млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий, рыб и круглоротых в полевых и камеральных условиях проводилось по определителям [Кузнецов, 1974; Рябицев, 2001; Павлинов и др., 2002; Коблик и др., 2014]. Определение птиц при учетах осуществлялось в 70–80% «на слух», в остальных случаях велось визуальное сопровождение учетного маршрута. Использовались звуковые справочники–определители [Никольский, Рубцов, 2002; Рябицев и др., 2007]. Обследование велось по поиску всех 107 видов, зафиксированных в Красной книге Омской обл. (2015), не считая ряда исключенных из нее позвоночных².



Ключевые точки мониторинга животных в 2020–2021 гг.
[Key points of animal monitoring in 2020–2021]

Категория статуса редкости видов принята по Красной книге Омской обл. [2015]: 0 категория – виды, вероятно, исчезнувшие; 1 – находящиеся под угрозой исчезновения; 2 – сокращающиеся в численности; 3 – редкие, с малой численностью и распространенные на ограниченной территории, либо спорадически распространенные на значительных территориях; 4 – неопределенные по статусу; 5 – восстановленные и восстанавливающиеся; 6 – редкие залетные и заходящие; 7 категория – коммерчески угрожаемые виды, часто добываемые людьми. Категория редкости в Красной книге России указана в соответствии с Прика-

² О внесении изменений в постановление правительства Омской области от 6 июля 2005 г. № 76-п.: Постановление Правительства Омской области от 21 июля 2021 г. № 305-п.

зом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации³.

Оценка угроз и рисков для популяций охраняемых видов Омской обл. представлена согласно рекомендациям Международного союза охраны природы и природных ресурсов МСОП [Списки видов..., 2021]. Картографической основой работы явился комплект общегеографических карт Омской обл. масштабом 1:100000 [Атлас, 2010].

Материалы и их обсуждение

Класс Круглоротые (*Cyclostomata*)

Миного сибирская (*Lethenteron kessleri* Anikin, 1905). Статус: 4-я категория. По информации 97 респондентов, встреча с миногой наблюдалась только дважды. В Черлакском р-не в июне 2020 г. у с. Елизаветинка в р. Иртыш рыбаки поймали миногу в бредень. Люди увидели её первый раз в жизни. В Горьковском р-не осенью 2015 г. рыбак С. (стаж рыбалки 43 г.) в Иртыше у д. Саратово также впервые в жизни случайно бреднем отловил одну особь.

Класс Костные рыбы (*Osteichthyes*)

Осетр сибирский (*Acipenser baerii* Brandt, 1869). 2-я категория. Кк РФ 2 категория. Мелкие особи (до 20–30 см) в 2018–2021 гг. в сплавные сети рыбаков попадали часто, зачастую ежедневно. Обычно один молодой осетр отлавливается в рыбацкую сеть вместе с 5–7 стерлядями (Черлакский, Омский, Горьковский р-ны). Это связано с тем, что р. Иртыш ежегодно зарыбляется молодь осетра, выращиваемой на ООО рыбзаводе «Бородино». Однако рыболовы хорошо помнят о «краснокнижном» статусе этой рыбы и при случайном вылове выпускают ее.

Нельма (*Stenodus leucichthys* Gӱldenstӱdt, 1772). 2-я категория. Нельма попадает в сплавные и верховые сети только осенью или ранней весной по всему Иртышу до границы с Казахстаном. Отлавливается рыбапользователями крайне редко: по 3–4 особи длиной 40–50 см и массой до 3 кг в весенний и осенний сезон. О «красно-книжном» статусе нельмы помнят и ее сразу выпускают. К рыбе перестали относиться как к прилову, что наблюдалось до первого издания Красной книги Омской области [Красная книга..., 2005].

Щиповка сибирская (*Cobitis lanoleuca* Nichols, 1925). 4-я категория. Эту рыбу очень редко отлавливают при ловле других видов рыб в р. Иртыш и Омь. Краснокнижный статус ее рыболовам не известен. Виду ничто не угрожает. Предлагается исключить щиповку сибирскую из Красной книги Омской обл.

Подкаменщик сибирский (*Cottus sibiricus* Kessler, 1889). 4-я категория. Этот вид ни в одном из восьми обследованных районов не обнаружен. Его не наблюдали ни рыбаки, ни члены их семей, ни рыбапользователи обследованных районов. Не обнаружился этот вид и при наших мониторинговых обследованиях 2018, 2019 гг. [Сидоров, Одинцев, 2018, 2020]. Вероятно, внесение вида в Красную книгу Омской обл. [2015] было ошибочно. Предлагается исключить подкаменщика сибирского из Красной книги Омской обл.

Класс Земноводные (*Amphibia*)

Углозуб сибирский (*Salamandrella keyserlingii* Dybowski, 1870). 3-я категория. В Азовском и Калачинском р-нах с 16 июля по 31 августа 2021 г. в ловчие канавки была отловлена 101 особь этих амфибий. По материалам нашей полевой работы в Барабинской и Ишимской лесостепях Омской обл. углозуб сибирский является обычным видом (среднее обилие (плотность) по исследованной территории в 2021 г. составило 1 особь/ 100 цилиндро-суток). Предлагается изменить категорию статуса редкости этого вида на 5.

Тритон обыкновенный (*Lissotriton vulgaris* Linnaeus, 1758). 3-я категория и **Жаба серая (*Bufo bufo* Linnaeus, 1758).** 3-я категория. На территории всех 8 обследованных южных и юго-восточных степных и лесостепных районов Омской обл. не обнаружены. Расширения ареалов этих видов в южном направлении не произошло.

Класс Пресмыкающиеся (*Reptilia*)

Гадюка обыкновенная (*Vipera berus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В Омском и Горьковском р-нах одиночные змеи редко наблюдались в оврагах по правому берегу р. Иртыш. Летом 2016 г. в Калачинском р-не у д. Стародубка на правом берегу р. Омь зафиксирована самая южная точка обнаружения гадюки на территории Омской обл., на границе центральной и южной лесостепи (N 55°21'43" E 74°29'44"). В Оконешниковский и Азовский р-ны гадюки случайно завозились 20–30 лет назад с сеном и дровами из северных районов Омской обл. Но в этих степных и южно-лесостепных районах змеи не приживались.

³ Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24 марта 2020 г. № 162.

Уж обыкновенный (*Natrix natrix* Linnaeus, 1758). 3 категория. На территориях обследованных районов эта змея не была обнаружена как в ходе полевых работ 2020–2021 гг., так и за всю историю научных наблюдений [Красная книга ..., 2005, 2015].

Класс Птицы (*Avis*)

Гагара чернозобая (*Gavia arctica* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Птица замечена на пролете в октябре 2019 г. только в Калачинском р-не на оз. Кабанье.

Поганка малая (*Podiceps ruficollis* Pallas, 1764). 3-я категория. В 2017–2020 гг. птица начала гнездиться на небольших водоемах Черлакского, Омского и Кормиловского р-нов.

Поганка серошекая (*Podiceps griseigena* Boddaert, 1783). 3-я категория. В 2020–2021 г. гнездилась во всех обследованных районах, кроме Нижнеомского. Повсеместная численность от низкой до средней. Предлагается изменить категорию статуса редкости этого вида на 5.

Пеликан кудрявый (*Pelecanus crispus* Bruch, 1832). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. В 2017–2021 гг. на весенних пролетах, в конце апреля, птицы регулярно наблюдались в большинстве изученных районов, кроме Омского и Кормиловского.

Пеликан розовый (*Pelecanus onocrotalus* Linnaeus, 1758). 6-я категория. Кк РФ 1 категория. В апреле и в июне 2021 г. на территории г. Омска, на водоеме природного парка «Птичья гавань», на пролете наблюдали 6 и 5 взрослых птиц соответственно.

Выпь малая, волчок (*Ixobrychus minutus* Linnaeus, 1766). 3-я категория. В 2015–2021 гг., по информации всех 97 охотничьих респондентов и результатам полевых учетов, выпь малая не обнаруживалась. Предлагается изменить категорию статуса редкости этого вида на 2.

Цапля белая большая (*Egretta alba* Linnaeus, 1758). 3-я категория. На территории всех восьми обследованных районов птица встречалась на пролетах относительно часто. Весенний пролет проходил через юго-восточные и центральные районы Омской обл. в конце апреля. Осенний – в конце сентября. Гнездилась редко, в частности, в Горьковском и Нижнеомском р-нах.

Фламинго обыкновенный (*Phoenicopterus roseus* Pallas, 1811). 6-я категория. Кк РФ 3 категория. В октябре 2018 г. в Калачинском р-не, на оз. Большое Митькино, случайно залетела одна птица.

Казарка черная (*Branta bernicla* Linnaeus, 1758). 6-я категория. Кк РФ 2 категория. Из 97 респондентов только один рассказал о том, что в 2001 г. в Оконешниковском р-не на оз. Муздыколь случайно убили одну особь и сделали из неё чучело.

Казарка краснозобая (*Rufibrenta ruficollis* Pallas, 1769). 6-я категория. Кк РФ 3 категория. Весенний и осенний пролеты проходит почти через все обследованные в 2021 г. районы Кулундинской степи, Барабинской и Ишимской лесостепи. Этот вид продолжает подвергаться браконьерской добыче, несмотря на его краснокнижный статус. Браконьерству способствует то, что особи этого вида летят вместе с охотничьим видом – белолобым гусем (*Anser albifrons* Scopoli, 1769).

Пискулька (*Anser erythropus* Linnaeus, 1758). 6-я категория. Кк РФ 2 категория. Встречается на весенних и осенних пролетах в мае и в сентябре во всех обследованных районах. Поскольку летит вместе с белолобым гусем, то подвергается постоянной браконьерской добыче.

Лебедь-шипун (*Cygnus olor* Gmelin, 1789). 3-я категория. Эти лебеди выводят птенцов во всех обследованных районах, кроме Горьковского и Нижнеомского, но в октябре улетают «жировать» в районы северной лесостепи Омской обл.: в Тюкалинский, Крутинский, Колосовский, Называевский и, возможно, в другие. Далее, уже из этих районов, улетают на юг – на зимовку.

Лебедь малый, тундрный (*Cygnus bewickii* Yarrell, 1830). 6-я категория. В апреле 2016 г. две особи малого лебедя были обнаружены на пролете в Оконешниковском р-не на оз. Травяное.

Огарь (*Tadorna ferruginea* Pallas, 1764). 3-я категория. От двух до 15 голов sporadически наблюдались в 2017–2020 гг. только в Омском и Азовском р-нах.

Пеганка (*Tadorna tadorna* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В Омском, Горьковском и Нижнеомском р-нах не гнездится, встречается на пролетах. Постоянно гнездится в остальных обследованных районах. В степных ландшафтах Черлакского и Оконешниковского районов встречается повсеместно, местами многочисленна.

Нырок белоглазый (*Aythya nyroca* Gueldenstadt, 1770). 3-я категория. Кк РФ 2 категория. Из 97 опрошенных респондентов 95 человек этот вид никогда не видели. В ходе предыдущих полевых мониторинговых работ 2018–2019 гг. ни мы, ни другие охотничьи респонденты его тоже не наблюдали [Сидоров, Одинцев, 2018, 2020]. Есть предложение перевести охраняемый статус нырка белоглазого во вторую категорию.

Савка (*Oxyura leucocephala* Scopoli, 1769). 3-я категория. Кк РФ 1 категория. Из всех опрошенных респондентов только двое наблюдали эту птицу больше 10 лет назад (Калачинский и Черлакский р-ны). В последние 10 лет савку видели ещё два респондента (Омский, Оконешниковский р-ны). Авторы и заместитель министра экологии Омской обл. С.А. Палагута обнаружили несколько савок летом 2021 г. на оз. Лебяжье и Муздыколь в Оконешниковском р-не. Статус этого вида по данным МСОП: EN (угрожаемый, вымирающий). Предлагается перевести савку в первую категорию статуса редкости.

Скопа (*Pandion haliaetus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Кк РФ 1 категория. Из 8 обследованных районов одиночные птицы наблюдались летом 2020 г. только в Омском и Горьковском р-нах.

Осоед обыкновенный (*Pernis apivorus* Linnaeus, 1758). 4-я категория. В 2020, 2021 гг. несколько взрослых и молодых птиц зафиксированы только в Омском р-не.

Лунь степной (*Circus macrourus* Gmelin, 1770). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. Одиночных степных луней наблюдали летом 2020 и 2021 гг. в разных биотопах Оконешниковского, Калачинского и Черлакского р-нов. Помимо авторов, этих птиц в этих районах фиксировали д.б.н. В.В. Якименко и магистрант А.Д. Копченкова.

Канюк-курганник (*Buteo rufinus* Cretzschmar, 1827). 6-я категория. Две одиночные птицы обнаружены на маршрутных учетах летом 2021 г. в Азовском и Омском р-нах.

Орел степной (*Aquila nipalensis* Hodgson, 1833). 3-я категория. Кк РФ 2 категория. Летом 2015 г. птица наблюдалась в степи Оконешниковского р-на у с. Ленинское.

Подорлик большой (*Aquila clanga* Pallas, 1811). 3-я категория. Кк РФ 2 категория. В 2019–2021 гг. молодые и взрослые подорлики и их гнезда обнаружены в ходе учетов и указаны респондентами во всех 8 обследованных районах. Предлагается изменить категорию статуса редкости этого вида на 5.

Орел-могильник (*Aquila heliaca* Savigny, 1809). 4-я категория. Кк РФ 2 категория. В последние годы несколько особей были отмечены и сфотографированы респондентом И.П. Ворониным в сентябре 2020 г. в Омском р-не в окрестностях пос. Большие Поля.

Беркут (*Aquila chrysaetos* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. В 2015 и 2018 гг. двух одиночных беркутов наблюдали в Оконешниковском и Омском р-нах. В Горьковском (2015 г.) и Омском (2019 г.) р-нах найдены больные птицы.

Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Кк РФ 5 категория. Орланы белохвосты были зафиксированы во всех 8 обследованных районах как на маршрутных и точечных учетах, так и по информации респондентов во время весенних и осенних пролетов. Гнездования зафиксированы в 2017–2020 гг. в Калачинском р-не.

Гриф черный, или бурый (*Aegypius monachus* Linnaeus, 1766). 6-я категория. Кк РФ 2 категория. На протяжении последних 10 лет залеты грифа на территорию 8 обследованных районов никем из 97 респондентов не наблюдались, в ходе полевых работ 2020–2021 гг. птица не встречалась.

Кречет сибирский (*Falco rusticolus* Linnaeus, 1758). 6-я категория. Кк РФ 2 категория. Крайне редок, зафиксирован три раза. В феврале 2018 г. летящая птица замечена в г. Омске. В феврале 2020 г. на окраине пос. Новоомский видели молодую птицу, охотившуюся на голубей. Осенью 2020 г. еще одна особь была замечена на окраине р.п. Горьковское.

Балобан (*Falco cherrug* Gray, 1834). 3-я категория. Кк РФ 1 категория. В октябре 2017 г. в Калачинском р-не у оз. Кабанье балобан сбил на лету утку.

Сапсан (*Falco peregrinus* Tunstall, 1771). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. В Омском р-не 14.09.2017 г. в окрестностях виадука на Новосибирскую трассу два молодых сапсана охотились на голубей.

Дербник (*Falco columbarius* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В августе и в сентябре 2019 и 2020 гг. в Омском р-не у д. Падь и у пос. Черемуховское отмечены молодые дербники. В сентябре 2021 г. в Черлакском р-не в ходе точечных учетов на проводах ЛЭП у с. Джартаргуль сфотографирован дербник.

Чеглок (*Falco subbuteo* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В 2018–2021 гг. чеглоки постоянно встречались и гнездились в Омском, Оконешниковском, Кормиловском, Горьковском и Нижнеомском р-нах.

Кобчик (*Falco vespertinus* Linnaeus, 1766). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. Гнездящиеся кобчики обнаружены в Омском, Оконешниковском, Черлакском и Кормиловском р-нах.

Пустельга степная (*Falco naumanni* Fleischer, 1818). 1-я категория. Кк РФ 3 категория. Не наблюдалась.

Журавль белый, стерх (*Grus leucogeranus* Pallas, 1773). 6-я категория. Кк РФ 2 категория. Не наблюдался.

Журавль серый (*Grus grus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В обследованных районах встречается и гнездится повсеместно, не является редким. Охотничьей птицей у населения никогда не считался. Журавля не стреляли даже до его внесения в первое издание Красной Книги Омской обл. [2005]. После обследований других районов Омской обл. можно рассматривать вопрос об изменении охраняемого статуса вида, или об исключении его из Красной книги Омской обл. [2015].

Журавль-красавка (*Anthropoides virgo* Linnaeus, 1758). 5-я категория. Кк РФ 2 категория. В 2018–2021 гг. пары взрослых журавлей с одним или двумя птенцами постоянно наблюдали во всех обследованных районах, кроме Азовского и Горьковского.

Камышница (*Gallinula chloropus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Распространена широко, но неравномерно. В Оконешниковском, Черлакском и Калачинском р-нах респонденты птицу не наблюдали. Но при учетных работах в последнем районе 23 июля 2021 г. в 4,5 км от оз. Большое Митькино, в канаве с

водой была обнаружена камышница. В остальных районах в 2018–2021 гг. птицу отмечали респонденты. В Нижнеомском р-не пара птиц обнаружена нами 20 июля 2021 г. на болоте у с. Новотроицкое.

Дрофа (*Otis tarda* Linnaeus, 1758). 4-я категория. Кк РФ 1 категория. На обследованной территории чрезвычайно редкий вид. В XXI в. очень редко птицы встречались 5–10 лет назад. В 2018–2021 гг. отмечены две пары и одиночная особь в Оконешниковском и Черлакском р-нах на территории Степного заказника. Международный статус дрофы по данным МСОП: VU – угрожаемый, уязвимый вид. Редкие встречи дрофы и отсутствие случаев её размножения на территории Омской обл. на протяжении всего XXI в. дают основание изменить её статус редкости на 1 категорию.

Стрепет (*Tetrax tetrax* Linnaeus, 1758). 5-я категория. Кк РФ 3 категория. Мониторинговые обследования краснокнижных животных, проводимые авторами с 1997 г., свидетельствуют о том, что стрепеты после долгого отсутствия стали впервые появляться в Черлакском р-не в 1999 г. [Нефедов и др., 2005]. На протяжении последних 20 лет стрепет встречается редко, но постоянно только в Черлакском и Оконешниковском р-нах. Авторами вид учтен в Степном заказнике (Черлакский р-н) в июле 2021 г. Одиночная встреча отмечена также в мае 2020 г. в Омском р-не у д. Осиповка.

Дрофа-красотка, джек (*Chlamydotis undulata* Jacquin, 1784). 6-я категория. Кк РФ 1 категория. Инспектор «Степного заказника» С.М. Зизюля летом 2021 г. в Черлакском р-не на остепенённом лугу около оз. Майсор заснял одну птицу на видео.

Авдотка азиатская (*Burhinus oedicnemus* Linnaeus, 1758). 6-я категория. Кк РФ 3 категория. Летом 2014 г. в Омском р-не две особи наблюдалась О.А. Одинцевым у с. Надеждино. Позже ни в одном из районов не обнаружена.

Кречетка (*Chetussia gregaria* Pallas, 1771). 3-я категория. Кк РФ 1 категория. Обнаружено гнездование только в двух из 8 обследованных районов: в Азовском летом 2019 г. у с. Сереброполье и в Нижнеомском – в 2020 г. у д. Ачаирка.

Шилоклювка (*Recurvirostra avosetta* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. Обнаружена в 6 обследованных районах, кроме Горьковского и Нижнеомского, как во время учетов, так и по информации респондентов. В целом, вид редкий, но в местах обнаружения обычный и даже многочисленный.

Ходулочник (*Himantopus himantopus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Обнаружен во всех 8 обследованных районах во время маршрутных и точечных учетов и по свидетельству респондентов. Вид распространён спорадически, но местами обычный и многочисленный.

Кулик-сорока (*Haematopus ostralegus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В 2018–2021 гг. птица найдена в 5 районах, кроме Азовского, Кормиловского и Нижнеомского. Постоянно гнездятся по берегу и островам р. Иртыш и на степных и лесостепных озерах. В Черлакском р-не на оз. Кызымбай гнездятся непрерывно, как минимум, с 2009 г. [Красная книга ..., 2015].

Улит большой (*Tringa nebularia* Gunnerus, 1767). 3-я категория. Не обнаружен.

Дупель лесной (*Gallinago megala* Swinhoe, 1861). 3-я категория. Наблюдения птицы в Омском и Азовском р-нах в 2020 г. нуждаются в уточнении.

Кроншнеп тонкоклювый (*Numenius tenuirostris* Vieillot, 1817), 0-я категория. Кк РФ 1 категория. Не обнаружен.

Кроншнеп большой (*Numenius arguata* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Кк РФ 2 категория. Гнездится во всех 8 обследованных районах. Встречается относительно часто. Охотничьи респонденты постоянно ставят вопрос об его исключении из Красной книги Омской обл. (2015). Однако статус этого вида по данным МСОП оценен как NT – состояние, близкое к уязвимому.

Веретенник большой (*Limosa limosa* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Наблюдался в большинстве районов, кроме Азовского и Кормиловского. В целом по региону – редкий вид, хотя местами обычный и даже многочисленный. В Омском и Калачинском р-нах респонденты просят исключить вид из Красной книги Омской обл. [2015]. Для решения этого вопроса необходимо обследование остальных территорий Омской обл. Кроме того, по данным МСОП статус вида оценен как NT – состояние, близкое к уязвимому.

Веретенник бекасовидный азиатский (*Limnodromus semipalmatus* Blyth, 1848). 1-я категория. Кк РФ 2 категория. Не обнаружен.

Тиркушка степная (*Glareola nordmanni* Fischer-Waldheim, 1842). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. В целом по территории исследований – чрезвычайно редкий вид. Отмечена в Нижнеомском и Черлакском р-нах в июне-июле 2021 г. на маршрутных учетах. На протяжении 2015–2021 гг. постоянно гнездилась в последнем районе около оз. Кызымбай.

Хохотун черноголовый (*Larus ichthyaetus* Pallas, 1773). 3-я категория. Кк РФ 5 категория. В районах исследования чрезвычайно редкий вид, в последние 5–6 лет обнаруживался только в Омском, Оконешниковском и Горьковском р-нах.

Чеграва обыкновенная (*Hydroprogne caspia* Pallas, 1770). 3 категория. Кк РФ 3 категория. Наблюдалась только в Омском р-не 28.07.2020, на озере, в окрестностях д. Падь.

Крачка малая (*Sterna albifrons* Pallas, 1764). 3-категория. Кк РФ 2 категория. Не обнаружена.

Сова белая (*Nyctea scandiaca* Linnaeus, 1758). 7-я категория. Встречается во время сезонных миграций во всех обследованных районах, с конца октября до конца февраля – начала марта.

Филин (*Bubo bubo* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Кк РФ 3 категория. В большинстве изученных юго-восточных и восточных районов Омской обл. филинов никогда не наблюдали. Только в Омском и Кормиловском р-нах в 2018 и в 2021 гг. респонденты трижды отмечали этих птиц.

Сплюшка (*Otus scops* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Не обнаружена.

Сыч домовый (*Athene noctua* Scopoli, 1769). 3-я категория. В Черлакском р-не летом 2020 г. в д. Преображенка на складе зерна обнаружен погибший домовый сыч.

Сыч мохноногий (*Aegolius funereus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Не обнаружен.

Сова ястребиная (*Surnia ulula* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Как обитатель лесной зоны регистрировалась в юго-восточных районах Омской обл. редко, во время кочевков. Сова замечена 02.11.2019 в г. Омске в парке им. 30-летия Победы. Летом 2020 г. дважды отмечена в Омском р-не и один раз – в Горьковском р-не.

Неясыть бородатая (*Strix nebulosa* Forster, 1772). 3-я категория. Зафиксирована в четырех обследованных районах. В Калачинском, Оконешниковском, и Горьковском – редкий вид. В Омском р-не вид обычный.

Сизоворонка европейская, ракша (*Coracias garrulous* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Кк РФ 2 категория. Ни в одном из 8 обследованных районов не обнаружена.

Зимородок обыкновенный (*Alcedo atthis* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Вид редкий, но птица встречалась с 2016 по 2021 гг. по берегам р. Иртыш и Омь в Черлакском, Омском, Калачинском, Кормиловском и Нижнеомском р-нах.

Щурка золотистая (*Merops apiaster* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В последние годы наблюдается расширение ареала этой птицы в северном направлении. Первая гнездовая колония из 30 особей была обнаружена в Черлакском р-не на р. Иртыш в 2014 г. [Красная книга ..., 2015]. В 2018–2019 гг. стайки щурок и гнездовые колонии находили в Черлакском и Омском р-нах. В ходе маршрутных учетов в июле 2021 г. гнездования щурок были обнаружены авторами и коллегами, ведущими ботанический раздел мониторинга Красной книги Омской обл. (Пликина Н.В., Ефремов А.Н., Никонова В.Г.) в 10 местах по берегу Иртыша в Черлакском р-не. В июне 2021 г. было зафиксировано к настоящему времени самое северное поселение из 12 гнездовых нор на берегу Иртыша у пос. Чернолучье Омского р-на [Свириденко, 2021].

Удод обыкновенный (*Upupa epops* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В 2018–2021 г. единичные удода замечены только в двух районах: Оконешниковском и Омском. В других районах респонденты эту птицу никогда не наблюдали. Предлагается изменить категорию редкости птицы с 3 на 2 (вид с неуклонно сокращающейся численностью). В Омской обл. это редкий залетный вид.

Дятел черный, желна (*Dryocopus martius* Linnaeus, 1758). 7-я категория. В Азовский р-н залетает осенью и зимой. В Омском, Калачинском, Горьковском, Нижнеомском р-нах встречается и гнездится повсеместно. В более южных юго-лесостепных и степных ландшафтах Оконешниковского и Черлакского р-нов появляется только в холодное время года и встречается по лесополосам и березовым сколкам. Желна на юго-востоке Омской обл. вид не редкий. Предлагается исключить вид из Красной книги области.

Жаворонок белокрылый (*Melanocorypha leucoptera* Pallas, 1811). 6-я категория. Не обнаружен.

Жаворонок черный (*Melapocorypha yeltoniensis* Forster, 1768). 3-я категория. Регистрировался зимой большими стаями только в степных ландшафтах Черлакского – около оз. Кызымбай (2017) и Оконешниковского р-нов около оз. Чебаклы (2018–2021 гг.).

Жаворонок рогатый (*Eremophila alpestris* Linnaeus, 1758). 6-я категория. Не обнаружен.

Конек полевой (*Anthus campestris* Linnaeus, 1758). 6-я категория. Не обнаружен.

Конек степной сибирский (*Anthus richardi* Vieillot, 1818). 3-я категория. Обнаружен только дважды. На суходольном лугу Оконешниковского р-на у с. Язова летом 2020 г. с численностью 0.3 ос/ км² [Одинцев, Одинцева, 2021] и в Черлакском р-не в июле 2021 г. у оз. Малое.

Конек пятнистый, зеленый (*Anthus hodgsoni* Richmond, 1907). 3-я категория. Не обнаружен.

Сорокопут серый (большой) (*Lanius excubitor* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Четверо респондентов наблюдали и фотографировали эту птицу в 2019–2021 гг. в Омском и Черлакском р-нах. На маршрутных учетах 28 сорокопутов зафиксированы в июле-августе в заболоченных биотопах Нижнеомского, Калачинского и Азовского р-нов. Вид местами обычный и при обследовании других районов возможно исключение его из Красной Книги Омской обл. [2015].

Сорокопут чернолобый (*Lanius minor* Gmelin, 1788). 3-я категория. Не обнаружен.

Сверчок певчий (*Locustella certhiola* Pallas, 1811). 3-я категория. Не обнаружен.

Славка черноголовая (*Sylvia atricapilla* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Не обнаружена.

Королек желтоголовый (*Regulus regulus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Не обнаружен.

Соловей обыкновенный (*Luscinia luscinia* Linnaeus, 1758). 7-я категория. Респонденты указывали на присутствие соловьев во всех районах, кроме Оконешниковского. Маршрутные учеты позволили выявить обитание вида в тех же районах. Соловьи встречаются по всей пойме Иртыша и Оми и в садах

крупных населенных пунктов обследованной территории.

Дрозд пестрый, земляной (*Zoothera dauma* Latham, 1790). 4-я категория. Не обнаружен.

Синица усатая (*Panurus biarmicus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В мае 2021 г. одну особь наблюдали в тростниковых займищах поймы р. Иртыш возле пос. Ачаирский Омского р-на. В июне 2021 г. д.б.н. В.В. Якименко отметил птицу в тростниковых займищах оз. Поршнево (5 ос.) и болота Майсор (1 ос.).

Чечевица длиннохвостая, урагус (*Uragus sibiricus* Pallas, 1773). 3-я категория. Летом 2020 г. респонденты Калачинского и Черлакского р-нов наблюдали по две птицы в школьном саду и на садовом участке. В ходе маршрутных и точечных учетов по одной чечевице обнаружено 8 апреля 2021 г. в парке Победы г. Омска и 7 июля 2021 г. – в пойме р. Омь Кормиловского р-на.

Клест обыкновенный, еловик (*Loxia corvirostra* Linnaeus, 1758). 3-я категория. Птицу при обследовании 8 юго-восточных районов Омской обл. не наблюдали, даже на сезонных кочевках.

Щур (*Pinicola enucleator* Linnaeus, 1758). 6-я категория. В области встречается только во время зимних кочевков. Две птицы замечены зимой 2020 г. в районном центре Горьковского р-на. Респондент Л.И. Анацко наблюдал и фотографировал щура в Омске 21 ноября 2021 г. в парке 30-летия Победы.

Класс Млекопитающие (*Mammalia*)

Ёж ушастый (*Hemiechinus auritus* Gmelin, 1770). 3-я категория. Один ёж обнаружен зоологом Омского Центра гигиены и эпидемиологии И.В. Дериглазовым 16 августа 2017 г. на окраине д. Елизаветинка Черлакского р-на в березово-осиновом колке на берегу р. Иртыш. В этом же районе на надпойменной террасе Иртыша 8 июля 2021 г. группой ботаников (Пликина Н.В., Ефремов А.Н., Никонова В.Г.), ведущих мониторинг Красной книги Омской обл., была встречена самка с тремя детенышами.

Бурозубка крошечная (*Sorex minutissimus* Zimmermann, 1780). 3-я категория. Не обнаружена.

Кутора обыкновенная (*Neomys fodiens* Pennant, 1771). 3-я категория. Не обнаружена.

Кожан двуцветный (*Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758). 3-я категория. В ходе полевых учетов не найден. Респонденты не могли точно дифференцировать разные виды летучих мышей. Поэтому привязка встреч к двуцветному кожану ориентировочна, поскольку из двух видов, обитающих в Омской обл. в южных и центральных районах, может встречаться только этот вид [Красная книга ..., 2005, 2015]. В Азовском р-не летучих мышей не видели никогда; в Калачинском и Горьковском наблюдали их 20–25 лет назад; в Омском в 2011; в Черлакском в 2013 и 2015; в Кормиловском – в 2015, 2018; в Оконешниковском, в с. Чистово – в 2019; в Нижнеомском р-не в с. Нижняя Омска – в 2020 гг.

Сурок степной, байбак (*Marmota bobak* Müller, 1776). 1, (7) -я категории. Вид на обследованных территориях в 2021 г. не обнаружен. С конца 1980-х гг. сурка степного из Оренбургской обл. и Казахстана неоднократно пытались реинтродуцировать на юге Омской обл. Все такие попытки в юго-восточных районах оказались безуспешны [Красная книга ..., 2015]. Респонденты помнят только, что сурков заселяли в 1990–1991 гг. (Калачинский р-н), в 1991 (Черлакский р-н), в 1991–1992 гг. (Оконешниковский р-н). О встречах сурков за последние 30 лет почти никто не сообщал, за исключением респондента А.А. Куприянова (Кормиловский р-н). В мае 2016 г. в 5 км восточнее д. Станкеевка, у дороги от р.п. Кормиловка вдоль кювета с водой бежал сурок–байбак (N 54°56'39" E 74°12'49"). Информация нуждается в уточнении.

Мышовка степная (*Sicista subtilis* Pallas, 1773). 3-я категория. Не обнаружена.

Мышовка лесная (*Sicista betulina* Pallas, 1779). 3 категория. Не обнаружена.

Тушканчик большой (*Allactaga major* Kerr, 1792). 3-я категория. Во время полевых учетов не обнаружен. Респонденты свидетельствовали об очень редких встречах тушканчиков в 2017–2021 гг. на территории семи изучаемых районах. В Омском р-не зверька не замечали ни разу в течение последних 25–30 лет.

Хомячок серый (*Cricetulus migratorius* Pallas, 1773). 1-я категория. Не обнаружен.

Хомячок барабинский (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773). 3-я категория. Одна особь хомячка отловлена И.В. Дериглазовым в давилку при учете численности мелких млекопитающих в Черлакском р-не у с. Елизаветинка 28 сентября 2015 г. (численность 2 особи на 100 ловушко-суток).

Хомячок джунгарский (*Phodopus sungorus* Pallas, 1773). 5-я категория Хомячка джунгарского на всей территории Омской обл. респонденты называют «белой мышью», бегающей зимой по дорогам. Во всех 8 районах респонденты зимой на дорогах наблюдали «белых мышей».

Пеструшка степная (*Lagurus lagurus* Pallas, 1773). 3-я категория Грызун обнаружен только в Оконешниковском р-не. С июля по сентябрь 2021 г. в 0.5 км юго-западнее оз. Чистое в луговой степи в ловчую канавку было поймано 7 особей вида.

Выдра (*Lutra lutra* Linnaeus, 1758). 1-я категория. Инспектор Управления по охране животного мира Калачинского района В.И. Игнатов (стаж охоты 45 лет) осенью 2016 г. в Нижнеомском р-не в 3 км севернее д. Ачаирка на оз. Чигаево наблюдал одну выдру (N 55°55'93" E 74°83'81"). Это самая южная точка обнаружения животного в Омской обл.

На изучаемой территории 8 южных и юго-восточных районов Омской обл. находятся два государственных природных зоологических заказника регионального значения, «Лесостепной заказник» и

«Степной заказник», занимающие 7.7% площади обследованных районов. На этих особо охраняемых природных территориях выявлены серьезные нарушения относительно сохранения краснокнижных животных и мест их обитаний. Распахиваются сенокосы и пастбища, что ведет к сокращению мест обитания «краснокнижных» животных. Устраиваются палы и выжигание растительности, приводящие к физическому уничтожению животных. Активно, на всех стадиях сельскохозяйственных работ, применяются пестициды и ядохимикаты, травмирующие и уничтожающие как животных, занесенных в Красную книгу Омской обл., так и других представителей фауны. Бесконтрольный забор воды из водоемов разного типа приводит к уменьшению мест обитания особо охраняемых животных. Повреждаются аншлаги и стенды заказника, что создает мнение о вседозволенности по отношению к ООПТ «Государственный природный зоологический заказник регионального значения». Есть все основания полагать, что и на не охраняемых территориях, изученных в 2021 г., происходят аналогичные серьезные нарушения в отношении охраны животных, занесенных в Красную книгу Омской области [2015].

Заключение

На территориях Азовского немецкого национального, Горьковского, Калачинского, Кормиловского, Нижнеомского, Оконешниковского, Омского, и Черлакского муниципальных районов велся мониторинг всех 107 видов, зафиксированных в Красной книге Омской области [2015] и оставленных в ней к 2021 г. Было обнаружено 79 видов животных или 74% от обнаруженных в ходе исследований 1997–2014 гг. Расширения ареала тритона обыкновенного и жабы серой в южном направлении не произошло. Выявлена самая южная точка обнаружения гадюки обыкновенной в Калачинском р-не, на границе южной и центральной лесостепи. Гадюки, случайно завозимые в степные и южно-лесостепные районы, в этих ландшафтах не приживаются. Краснозобая казарка и пискулька продолжают подвергаться браконьерской добыче, поскольку летят вместе с охотничьим видом – белолобым гусем. На территориях государственных природных зоологических заказников «Лесостепной» и «Степной» распахиваются сенокосы и пастбища. Устраиваются палы и выжигание растительности. На всех стадиях сельскохозяйственных работ, применяются пестициды и ядохимикаты. Такие нарушения травмируют и уничтожают как животных, занесенных в Красную книгу Омской области [2015], так и других представителей фауны. После обследования всей территории области предлагается исключить из Красной книги Омской обл. [2015]: щиповку сибирскую, подкаменщика сибирского, журавля серого, дятла черного, сорокопуга серого. Перевести охраняемый статус савки и дрофы в первую категорию статуса редкости; выпи малой, нырка белоглазого и удода – во вторую, поганки серошекой, углозуба сибирского и подорлика большого – в пятую категорию статуса редкости.

Список источников

1. Атлас Омской области. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1999. 56 с.
2. Атлас. Топографические карты Омской области, 1:100000. Омск: Омск. картограф. фабрика, 2010. 328 с.
3. Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть. М.: Мысль, 1978. 512 с.
4. Инструкция по комплексному учету птиц на территории СССР. М., 1989. 33 с.
5. Коблик Е.А. и др. Полный определитель птиц европейской части России: в 3 ч. М.: Фитон, 2014. 892 с.
6. Красная книга Омской области. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2005. 460 с.
7. Красная книга Омской области. 2 изд., прераб. и доп. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2015. 636 с.
8. Кузнецов Б.А. Определитель позвоночных животных фауны СССР. М.: Просвещение, 1974. Ч. 1. Круглоротые, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся. 191 с.
9. Кучерук В.В. Количественный учет важнейших видов вредных грызунов и землероек // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. М., 1952. С. 9–45.
10. Лавров Н.П. Учебно-полевая практика по зоологии позвоночных с заданиями на межсессионный период. М.: Просвещение, 1974. 128 с.
11. Ларина Н.И., Голикова В.Л., Лебедева Л.А. Методика полевых исследований: учеб. пособие. Саратов, 1981. 136 с.
12. Методы исследования земноводных и пресмыкающихся / Сост. Н.А. Литвинов, С.В. Ганщук. Пермь, 2003. 48 с.
13. Никольский И.Д., Рубцов А.С. Компакт-диск голосов птиц средней полосы России: приложение к тому «Птицы и звери» сер. «Энциклопедия для детей» М.: Аванта, 2002.
14. Одинцев О.А., Одинцева А.А. Птицы семейства трясогузковые на территории Омска и Омской области: видовое богатство, численность и распределение // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 2. С. 110–118.

15. Павлинов И.Я. и др. Наземные звери России: справочник-определитель. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2002. 298 с.
16. Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск: Наука, 2008. 205 с.
17. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. М., 1990. 33 с.
18. Рябицев В.К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири: справочник-определитель. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2001. 605 с.
19. Рябицев В.К. и др. Голоса птиц. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. Ч. 1. Европейская Россия, Урал и Западная Сибирь. 79 с.
20. Свириденко Б.Ф. Новая гнездовая колония золотистых щурок *Merops apiaster* в Омской области // Евразийское Научное Объединение. 2021. № 8–2 (78). С. 98–102.
21. Сидоров Г.Н., Одинцев О.А. Мониторинг популяций птиц и млекопитающих для третьего издания Красной книги Омской области // Вестник ИрГСХА. 2018. № 88. С. 70–80.
22. Сидоров Г.Н., Одинцев О.А. Результаты мониторинга животных из Красной книги Омской области на территории Ишимской лесостепи в 2019 г. // Вестник ИрГСХА. 2020. № 96. С. 125–137.
23. Списки видов, занесённых в Красный список МСОП. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> Категория: Списки видов, занесённых в Красный список МСОП (дата обращения: 08.01.2022).
24. Юдкин В.А., Ефимова О.В. Зоология позвоночных. Новосибирск, 2008. 104 с.

References

1. Kalinenko N.A., ed. *Atlas Omskoj oblasti* [Atlas of the Omsk region] Moscow, Federal'naja služba geodezii i kartografii Rossii Publ., 1999. 56 p. (In Russ.).
2. *Atlas. Topografičeskie karty Omskoj oblasti, 1:100000*. [Atlas. Topographic maps of the Omsk region, 1: 100000.] Omsk, Omskaja kartografičeskaja fabrika Publ., 2010. 328 p.] (In Russ.).
3. Gvozdetsky N.A., Mikhailov N.I. *Fizičeskaja geografija SSSR. Aziatskaja čast'*. [Physical geography of the USSR. Asian part.] Moscow, Mysl' Publ., 1978. 512 p. (In Russ.).
4. *Instrukcija po kompleksnomu učetu ptic na territorii SSSR* [Instructions for the integrated registration of birds on the territory of the USSR.] Moscow, 1989. 33 p. (In Russ.).
5. Koblik E.A., Redkin Ya.A., Kalyakin M.V. et al. *Polnyj opredelitel' ptic evropejskoj časti Rossii* [Complete key to birds of the European part of Russia. In 3 parts]. Moscow, Fiton Publ., 2014. 892 p. (In Russ.).
6. Sidorov G.N., Rusakov V.N. eds. *Krasnaja kniga Omskoj oblasti* [Red Book of the Omsk Region]. Omsk, OmGPU Publ., 2005. 460 p. (In Russ.).
7. Sidorov G.N., Plikina N.V., eds. *Krasnaja kniga Omskoj oblasti* [Red Data Book of the Omsk Region. 2nd ed., Pre-rework. and add.] Omsk, OmGPU Publ., 2015. 636 p. (In Russ.).
8. Kuznetsov B.A. *Opredelitel' pozvonočnyh životnyh fauny SSSR. Krugloroty, ryby, zemnovodnye, presmykajuščiesja* [Keys to vertebrates of the fauna of the USSR. Round-mouthed, fish, amphibians, reptiles]. Moscow, Prosveščenie Publ., 1974. 191 p. (In Russ.).
9. Kucheruk V.V. [Quantitative accounting of the most important species of harmful rodents and shrews]. *Metody učeta čislennosti i geografičeskogo raspredelenija nazemnyh pozvonočnyh*. Moscow, AN SSSR Publ., 1952, pp. 9-45. (In Russ.).
10. Lavrov N.P. *Učebno-polevaja praktika po zoologii pozvonočnyh s zadanijami na mežsessionnyj period* [Field training in vertebrate zoology with tasks for the intersessional period]. Moscow, Prosveščenie Publ., 1974. 128 p. (In Russ.).
11. Larina N.I., Golikova V.L., Lebedeva L.A. *Metodika polevyh issledovanij* [Methodology of field research: textbook]. Saratov, 1981. 136 p. (In Russ.).
12. Litvinov N.A., Ganschuk S.V., comp.. *Metody issledovaniya zemnovodnyh i presmykajuščichsja* [Research methods of amphibians and reptiles]. Perm, 2003. 48 p. (In Russ.).
13. Nikolsky I.D., Rubtsov A.S. *Kompakt-disk golosov ptic srednej polosy Rossii* [CD-ROM of the voices of birds of central Russia. Appendix to the volume "Birds and Animals" of the series "Encyclopedia for Children"]. Moscow, Avanta Publ., 2002. (In Russ.).
14. Odintsev O.A., Odintseva A.A. [Birds of the wagtail family in the territory of Omsk and the Omsk region: species richness, abundance and distribution]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2021): pp. 110-118. (In Russ.).
15. Pavlinov I.Ya., Krusko S.V., Varshavsky A.A., Borisenko A.V. *Nazemnye zveri Rossii. Spravočnik-opredelitel'* [Land animals of Russia. Reference guide]. Moscow, KMK Publ., 2002. 298 p. (In Russ.).
16. Ravkin Yu.S., Livanov S.G. *Faktornaja zoogeografija: principy, metody i teoretičeskie predstavlenija* [Factorial zoogeography: principles, methods and theoretical concepts]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008. 205 p. (In Russ.).

17. Ravkin E.S., Chelintsev N.G. *Metodičeskie rekomendacii po kompleksnomu maršrutnomu učetu ptic* [Methodical recommendations for integrated route counting of birds]. Moscow, 1990. 33 p. (In Russ.).
18. Ryabitsev V.K. *Pticy Urala, Priural'ja i Zapadnoj Sibiri. Spravočnik-opredelitel'* [Birds of the Urals, Urals and Western Siberia. Reference guide]. Yekaterinburg. Ural University Publ., 2001. 605 p. (In Russ.).
19. Ryabitsev V.K., Veprintsev B.N., Veprintseva O.D. at al. *Golosa ptic. Evropejskaya Rossija, Ural i Zapadnaja Sibir'* [Voices of birds. Part 1. European Russia, the Urals and Western Siberia]. Yekaterinburg: Ural University Publ., 2007. 79 p. (In Russ.).
20. Sviridenko B.F. [New nesting colony of golden bee-eaters *Merops apiaster* in the Omsk region]. *Eurasian Scientific Association*. No 8-2 (78) (2021): pp. 98-102. (In Russ.).
21. Sidorov G.N., Odintsev O.A. [Monitoring of populations of birds and mammals for the third edition of the Red Book of the Omsk region]. *Vestnik IrGSKhA*. No 88 (2018): pp. 70-80. (In Russ.).
22. Sidorov G.N., Odintsev O.A. [The results of monitoring animals from the Red Book of the Omsk region on the territory of the Ishim forest-steppe in 2019]. *Vestnik IrGSKhA*. No 96 (2020): pp. 125-137. (In Russ.).
23. *Spiski vidov, zanesënných v Krasnyj spisok MSOP* [Lists of species included in the IUCN Red List. Category: Lists of species included in the IUCN Red List]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> [date of access 08.01.2022]. (In Russ.).
24. Yudkin V.A., Efimova O.V. *Zoologija pozvonočnyh*. [Zoology of vertebrates]. Novosibirsk, 2008. 104 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 21.01.2022; одобрена после рецензирования 17.02.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 21.01.2022; approved after reviewing 17.02.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

Г. Н. Сидоров – д-р биол. наук, профессор каф. биологии и биол. образования, гл. науч. сотрудник;
 О. А. Одинцев – канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой биологии и биол. образования;
 А. А. Кислый – канд. биол. наук, ст. преподаватель каф. биологии и биол. образования, мл. науч. сотрудник;
 А. А. Одинцева – канд. биол. наук, мл. науч. сотрудник.

Information about the authors

G. N. Sidorov – Doctor of biological sciences, Professor at the department of biology and biological, Chief Researcher;
 O. A. Odintsev – Candidate of biological sciences, associate professor, head of Department of biology and biological education;
 A. A. Kislyi – Candidate of biological sciences, senior lecturer at the department of biology and biological education, researcher assistant;
 A. A. Odintseva – Candidate of biological sciences, junior researcher.

Вклад авторов:

Сидоров Г. Н. – опрос респондентов, написание исходного текста, заключение, окончательное оформление рукописи.
 Одинцев О. А. – опрос респондентов, полевая работа по учету численности позвоночных, работа с текстом.
 Кислый А. А. – полевая работа по учету численности позвоночных, картографическая работа, работа с текстом.
 Одинцева А. А. – полевая работа по учету численности позвоночных.

Contribution of the authors:

Sidorov G. N. - survey of respondents, writing the original text, conclusion, finalization of the manuscript.
 Odintsev O. A. – survey of respondents, field work on accounting for the number of vertebrates, work with text.
 Kislyi A. A. – field work on accounting for the number of vertebrates, cartographic work, work with text.
 Odintseva A. A. – field work on accounting for the number of vertebrates.

ГЕНЕТИКА

Обзорная статья

УДК 579.842.23: 575

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-54-63

Обзор методов генетической дифференциации штаммов возбудителя псевдотуберкулеза

Мисак Геворгович Мелоян^{1✉}, Екатерина Александровна Воскресенская²,
Светлана Александровна Лебедева³, Алексей Леонидович Трухачев⁴

^{1,3,4} Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону, Россия

² Санкт-Петербургский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера, Санкт-Петербург, Россия,
tsenevapasteur@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6380-1153>

^{1✉} meloyan_mg@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7268-9298>

³ illang@mail.ru

⁴ trukhachev_al@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3531-1146>

Аннотация. Псевдотуберкулез – инфекционное заболевание, возбудителем которого является *Yersinia pseudotuberculosis*. Заболевание проявляется в виде спорадических вспышек и наносит существенный урон здоровью населения. Помимо своевременного выявления возбудителя используют различные методы для эффективного определения принадлежности возбудителя к определенному генотипу. В настоящее время для генотипирования штаммов возбудителя псевдотуберкулеза используются различные методы. В обзоре представлены методы генетической дифференциации, наиболее часто используемые в последнее время: MLVA, MLST, IS-RFLP и т.д. Анализ применяемых методов поможет подобрать наиболее эффективный метод для генотипирования возбудителя псевдотуберкулеза, а также выбрать вектор разработки нового подхода.

Ключевые слова: возбудитель псевдотуберкулеза, *Yersinia pseudotuberculosis*, обзор, методы, генотипирование, анализ

Для цитирования: Обзор методов генетической дифференциации штаммов возбудителя псевдотуберкулеза / М. Г. Мелоян, Е. А. Воскресенская, С. А. Лебедева, А. Л. Трухачев // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 54–63. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-54-63>.

GENETICS

Review article

Review of the methods of genetic differentiation of pseudotuberculosis pathogen strains

Misak G. Meloyan^{1✉}, Ekaterina A. Voskresenskaya², Svetlana A. Lebedeva³,
Aleksei L. Trukhachev⁴

^{1,3,4} Rostov-on-Don Plague Control Research Institute, Rostov-on-Don, Russia

² Saint Petersburg Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology. Pasteur, Saint Petersburg, Russia,
tsenevapasteur@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6380-1153>

^{1✉} meloyan_mg@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7268-9298>

³ illang@mail.ru

⁴ trukhachev_al@antiplague.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3531-1146>

Abstract. Pseudotuberculosis is an infectious disease, the causative agent of which is *Yersinia pseudotuberculosis*. The disease appears in the form of sporadic outbreaks and causes significant damage to the health of the population. In addition to timely detection of the pathogen, various methods are used to effectively determine whether the pathogen belongs to a particular strain. Currently, various methods are used for genotyping strains of the causative agent of pseudotuberculosis. The review presents the methods of genetic differentiation most frequently used in recent years: MLVA, MLST, IS-RFLP, etc. The analysis of the applied methods will help to choose the most effective method for genotyping the causative agent of pseudotuberculosis, as well as to choose the vector of development of a new approach.

Keywords: causative agent of pseudotuberculosis, *Yersinia pseudotuberculosis*, review, methods, genotyping, analysis

For citation: Meloyan M. G., Voskresenskaya E. A., Lebedeva S. A., Trukhachev A. L. [Review of the methods of genetic differentiation of pseudotuberculosis pathogen strains]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 54-63. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-54-63>.

Введение

Псевдотуберкулез – инфекционное заболевание, вызываемое возбудителем *Yersinia pseudotuberculosis*, относящееся к группе сапрозоонозов. Заболевание регистрируют во всех странах мира, в самых различных регионах и климатических зонах. Совместно с кишечным иерсиниозом в Европе псевдотуберкулез занимает треть от всех зоонозных кишечных инфекций [EFSA and ECDC, 2016]. На территории РФ в течение многих лет сохраняется выраженная вариабельность интенсивности эпидемического процесса псевдотуберкулеза. В нашей стране наиболее высокие показатели заболеваемости псевдотуберкулезом, превышающие федеральный в пять и более раз, отмечаются, в основном, в субъектах СФО, ДФО, а также в отдельных субъектах СЗФО и УФО.

Диапазон клинических проявлений при псевдотуберкулезе у человека широкий – от диспепсий и абдоминальных болей до системных нарушений организма [Бургасова и др., 2009]. Заболевание протекает остро или хронически. Часто при острой инфекции появляются трудноизлечимые аллергические артриты, сопутствующие уретриты, узловатая эритема, конъюнктивиты и даже миокардиты [Шурыгина и др., 2003]. Могут отмечаться изменения в иммунной системе и печени. Абдоминальные жалобы включают боли, тошноту, рвоту при слабых энтеритных проявлениях. Боли в правой подвздошной области иногда приводят к ошибкам диагноза и неоправданным операциям по поводу аппендицита [Бургасова, 2011]. Существуют наблюдения, которые свидетельствуют, что этиологическим агентом при аппендиците может быть возбудитель псевдотуберкулеза [Шестакова и др., 2012]. Для специфической острой формы, носящей название «дальневосточная скарлатино-подобная лихорадка», характерны интоксикация, высокая температура, катарально-респираторные симптомы и экзантема [Amphlett, 2015].

Резервуар инфекции – её носители, а именно, мышевидные грызуны, домашние и дикие мигрирующие птицы, а также зайцы, свиньи, крупный рогатый скот, лошади, козы и кошки. Источником возбудителя опосредованно являются также контаминированные выделениями больных-носителей, овощи, фрукты, вода, молоко, мясо и другие продукты, инфицированность которых усиливается при длительном хранении в условиях пониженной температуры. Сохраняется патоген также в почве [Каримова, 2017; Ch'ng et al., 2010]. Часто выявляют возбудитель в условиях городов и поселков у серых, черных крыс, домовых и лесных мышей. Среди людей отмечаются спорадические случаи и вспышки заболевания в регионах, в которых выделяют бактерию и из внешней среды. Последняя крупная вспышка зарегистрирована в 2021 г. в г. Красноярске. Было выявлено 114 случаев заболевания псевдотуберкулезом среди школьников из 27 образовательных организаций. Случаи заболеваний регистрировались в период до марта 2021 г. и были связаны с употреблением салатов из сырых овощей в школьных столовых.

Вместе с существенным уроном, наносимым здоровью населения бактериями *Y. pseudotuberculosis*, существуют также трудности выделения культуры от больных. В комплексе эти факторы требуют постоянного контроля над возбудителем, нишами его обитания и перемещением между потенциальными очагами. Кроме того, возбудитель отличается выраженной адаптационной способностью, широким спектром антигенов, плазмидных и хромосомных детерминант вирулентности. Все это в комплексе определяет множественность клинических проявлений. В связи с этим перед лабораторной службой остаются актуальными вопросы эффективной лабораторной диагностики и полноценной молекулярно-генетической характеристики выделяемых штаммов *Y. pseudotuberculosis*. Важным также является оперативное получение сведений о выделенных штаммах и для прогностического анализа, клинического течения заболевания (серотип, генотип, наличие генов вирулентности; фенотипирование), и для проведения качественного эпидемиологического анализа.

Цель работы – сравнительный анализ методов генотипирования, применяемых для дифференциации штаммов возбудителя псевдотуберкулеза.

Обзор методов

Существует несколько методов генетического типирования штаммов возбудителя псевдотуберкулеза, которые применяются чаще всего. В основе одной части методов лежит сравнительный анализ отдельных генов и их вариантов. В других методах исследуется распределение в геноме различных генетических маркеров (единичные нуклеотидные замены – SNP, вариабельные tandemные повторы – VNTR, INDEL-маркеры, гены, кодирующие белки рибосом, сайты эндонуклеаз рестрикции, CRISPR последовательности и др.).

Инструменты генотипирования, существующие в настоящее время, позволяют проводить генетическую дифференциацию штаммов *Y. pseudotuberculosis* различными методами, однако остается необходи-

мость продолжения совершенствования имеющихся и разработки новых способов для генотипирования вновь выделенных и уже хранящихся в коллекциях микроорганизмов. Следует иметь в арсенале исследователей спектр методов внутривидовой генетической дифференциации, отличающихся различной дискриминирующей способностью и эффективностью, использование которых позволит оценить генетическое разнообразие изучаемых штаммов и применить эти данные в эпидемиологическом анализе.

Одним из первых методов типирования, который стал использоваться для возбудителя псевдотуберкулеза, является метод серотипирования. Известно, что липополисахарид (ЛПС) во внешнем монослое наружной мембраны является наиболее значимым диагностическим антигенным детерминантом, а вариативность структуры ЛПС связана со специфическими по составу полисахаридными радикалами, отражающими групповые особенности продуцентов. Антигенная активность каждого специфического образца ЛПС индуцирует синтез специфических для группы антител. Именно это позволило разработать метод серотипирования [Thall, Knapp, 1971] и разделить общую мировую популяцию *Y. pseudotuberculosis* на 15 серовариантов (O:1–O:15) и дополнительно ещё на 6 подвариантов (O:1b и O:1c; O:2b и O:2c; o:4b и O:5b) [Kenyon, Sunneen, Reeves, 2017]. Патогенными для людей считаются сероварианты O:1a, O:1b, O:1c, O:2a, O:2b, O:2c, O:3, O:4a: O:4b; O:5a, O:5b. Наиболее часто в России выявляются штаммы сероваров O:1a, O:1b, O:1c, O:3, O:4a: O:4b. Серотипирование штаммов *Y. pseudotuberculosis*, будучи простым и доступным методом исследования, многие годы использовалось в лабораторной диагностике псевдотуберкулеза. В настоящее время перспективным направлением в типировании возбудителей инфекционных заболеваний является метод определения серотипа с помощью ПЦР. Метод O-генотипирования штаммов возбудителя псевдотуберкулеза основан на анализе структуры генов, отвечающих за синтез каждого из вариантов O-антигена [Bogdanovich et al., 2004]. При использовании данного подхода мишенями являются участки ДНК, которые кодируют ферменты, участвующие в сборке O-полисахаридов. Этот метод способен охарактеризовать штаммы *Yersinia pseudotuberculosis* по всем основным серотипам. С его помощью был проведен анализ 117 штаммов псевдотуберкулезного микроба, относящихся к O:1–O:4 серотипам, выделенных в Сибири и на Дальнем Востоке [Климов, Чеснокова, 2007]. В результате было установлено, что доминирующим серотипом в обоих регионах был O:1b.

Методом, который можно отнести к способам генетической дифференциации, является анализ плазмидного состава штаммов *Y. pseudotuberculosis*. С помощью электрофоретического скрининга плазмид оценивался геномный полиморфизм, что позволяло распределить общую популяцию *Y. pseudotuberculosis* на плазмидовары по числу и размерам плазмид. Основными в этих комплексах являются мажорные плазмиды с М.м. 82 и 45–47 МД, так как их связывают с эпидемической опасностью и патогенностью микроба. Дополняют их криптические плазмиды с массой в диапазоне 2–100 МД [Сомова и др., 2016]. Использование данного метода позволило Шубину при исследовании коллекции 2 500 штаммов *Y. pseudotuberculosis* из РФ выявить 34 плазмидоварианта [Шубин, 1993]. Учет плазмидного состава позволяет определить доминирующие генотипы (плазмидовары) на определенной территории, устанавливать эпидемиологические связи, а также выявлять влияние конкретных плазмид на течение болезни. Однако плазмиды могут утрачиваться бактериями под влиянием факторов внешней среды (в основном при хранении и пересевах). Утрата плазмид приводит к неоднородности и к изменению плазмидного варианта, что влияет на точность и воспроизводимость метода. Вместе с тем наличие плазмид является важным свойством штамма, которое учитывается в различных схемах генотипирования, применяемых в настоящее время.

В последние десятилетия развитие молекулярной биологии способствовало разработке подходов, ориентированных на анализ структуры всего генома и отдельных генов, детерминирующих определенную генетическую информацию.

Использование для анализа детерминант вирулентности позволило Н. Fukushima с соавторами определить генотипы, отличающиеся наличием ряда хромосомных и плазмидных генов, в числе которых кластер генов HPI (high-pathogenicity island – островок высокой патогенности), суперантиген YPM и плазмиды pYV. В своей работе авторы разделили все исследованные штаммы, выделенные из различных регионов, на 6 групп по наличию генов или генетических структур, имеющих отношение к вирулентности. Авторы также попытались связать генотипы с клиническими формами заболевания и его тяжестью. Исследовалось наличие в геноме полного островка патогенности (HPI) и вариантов этого островка (R-HPI). Определялся также тип гена (a, b, c), кодирующего суперантиген YPM [Fukushima et al., 2001].

Активная работа по генотипированию штаммов *Y. pseudotuberculosis* проводилась и отечественными авторами [Кокорина, 2013; Каримова, Климов, Чеснокова, 2016]. Было предложено дополнить алгоритм типирования генами “острова адгезии-патогенности” иерсиний YAPI (*Yersinia Adhesion Pathogenicity Island*) и генами плазмиды pVM82. Анализ различных вариантов локусов HPI, *ypm*, YAPI и pVM82 у разных штаммов *Y. pseudotuberculosis*, выделенных на территории РФ, позволил разделить штаммы на 14 генотипов [Кокорина, 2013]. При этом, самыми распространенными на территории России являются генотипы 3a (*ypmA*⁺), 3b (*ypmA*⁺L-YAPI⁺), 3c (*ypmA*⁺L-YAPI⁺pVM82⁺) – 16,3, 17,6, 60% случаев, соответственно. Другие авторы на основании таких критериев, как наличие HPI, *ypmA* и плазмиды pYV, изучая

штаммы псевдотуберкулеза, выделенные на территории Сибири и Дальнего Востока, разделили их на 4 генетические группы [Каримова, Климов, Чеснокова, 2016]. Оказалось, что более 90% штаммов из Сибири и Дальнего Востока относились к I генетической группе с генотипом HPI-, *ypmA*+, *pYV*+.

Способы молекулярно-генетической внутривидовой дифференциации штаммов *Y. pseudotuberculosis*, базирующиеся на сравнительном анализе распределения в геноме различных генетических маркеров, также широко представлены в литературе. Одним из таких методов, который успешно применяется и в настоящее время, является риботипирование. В качестве мишеней используются высококонсервативные фрагменты генов из оперонов 16S и 23S РНК, которые обнаруживаются в наборе нуклеотидных последовательностей, представляющих паттерны EcoRI и EcoRV рестрикции хромосом. В одной из работ по комбинациям этих паттернов исследователи получили 27 риботипов среди 80 изолятов [Voskresenskaya et al., 2005]. При анализе связи между рибо- и серотипом было выявлено, что в 6 случаях штаммы одного риботипа относились к разным серотипам, или подсеротипам. Было замечено также, что различные риботипы, относящиеся к одному серотипу, на дендрограмме были часто сгруппированы в одной ветви. Также интересные результаты были получены при анализе связи риботипов и географии изоляции. Штаммы из одного континента или страны могли быть сгруппированы в разные кластеры, а из разных континентов могли войти в один кластер и, иногда, риботип. Также не было выявлено четкой корреляции между источником изолята и риботипом. Возможно, что отсутствие однозначной связи между установленным генотипом и географическим местом выделения отражает свойства популяций штаммов возбудителя псевдотуберкулеза, которые характеризуются «неклональным» типом существования. Такая характеристика отличает *Y. pseudotuberculosis* от близкородственного микроорганизма *Yersinia pestis*, который имеет «клональный» тип популяции.

Для более точного и подробного разделения штаммов по генотипам был предложен сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей ряда генов «домашнего хозяйства» возбудителя псевдотуберкулеза. Для реализации этого применяют MLST анализ (Multilocus sequence typing, типирование на основе мультилокусного секвенирования), суть которого заключается в сравнении небольшого числа секвенированных генов [Ch'ng et al., 2010; Duan et al., 2014; Laukkanen-Ninios et al., 2011]. Данный метод был использован R. Duan с соавторами для анализа гомологии патогенных видов рода *Yersinia*. В работе было проанализировано 1 015 штаммов по 7 генам «домашнего хозяйства»: *adh*, *argA*, *aroA*, *glnA*, *thrA*, *tmk*, *trpE*. В результате было выявлено 188 ST (sequence types). Филогенетическое древо позволило исследователям подтвердить предположение о том, что патогенный *Y. pestis* возник от *Y. pseudotuberculosis* [Duan et al., 2014]. В работе R. Laukkanen-Ninios проводилось генотипирование с помощью 7 «housekeeping» генов, как и в работе R. Duan. Однако в данном исследовании использовали 417 штаммов, представляющих четыре популяции комплекса *Y. pseudotuberculosis*: *Y. pseudotuberculosis sensu stricto* (*s.str.*), *Y. pestis*, *Y. similis*, а также недавно выделенная корейская группа. В результате исследователи получили 89 ST и разделили изоляты на три группы. Самой многочисленной являлась группа *Y. pseudotuberculosis s.str.*, вторая включала в себя несколько изолятов *Y. similis*, а третья содержала только штаммы корейской группы. Примечательно, что штаммы *Y. pestis*, образовали один ST и вошли в группу *Y. pseudotuberculosis s.str.* [Laukkanen-Ninios et al., 2011]. В другой работе S.L. Ch'ng с соавторами целевыми последовательностями выступили другие 7 «housekeeping» генов: *mdh*, *gyrB*, *fumC*, *sucA*, *pgi*, *recA*, *aroC*. Мишени должны были отвечать некоторым требованиям: непосредственное участие в метаболизме, равномерное распределение по геному для исключения риска переноса в рамках одного события рекомбинации. В исследовании использовали 79 штаммов *Y. pseudotuberculosis*, которые представляли различные серотипы. В результате было идентифицировано 62 ST (sequence type, секвенс тип). А при построении филогенетического древа методом «ближайшего соседа» было выявлено два кластера. В кластер А вошли штаммы, которые имели различную географию и были выделены от животных и людей, а в кластер В – штаммы, выделенные на Дальнем Востоке. Кроме того, в кластер А вошли штаммы, патогенные для человека, которые имели в своей последовательности плазмиду *pYV*, суперантиген *YPMa* и неполноценный HPI, тогда как в кластер В – непатогенные штаммы, содержащие суперантиген *YPMb* (Population Structure and Evolution of Pathogenicity). Анализируя представленные результаты, можно отметить, что не всегда прослеживается четкая зависимость распределения по генотипам от свойств штаммов при использовании разнообразных способов генетической дифференциации [Ch'ng et al., 2011].

Были отмечены трудности и в интерпретации результатов генотипирования, выполненных и другими методами с достаточно большой дискриминационной способностью. Одним из таких является метод IS-RFLP (полиморфизм длин рестрикционных фрагментов инсерционных последовательностей – insertion sequence restriction fragment length polymorphism). Подход включает в себя разрезание определенной области ДНК, где находятся IS-элементы, а затем разделение фрагментов ДНК электрофорезом на основе агарозного геля и определение количества фрагментов и относительных размеров. Так, исследование с использованием метода, в котором использовался только IS100-элемент в качестве маркера в анализе, было недостаточно информативным, но при применении последовательностей мишеней уже двух элементов – IS285 или/и IS1541, наоборот, типирование было эффективным [Voskresenskaya et al., 2014].

Использование нескольких IS-мишеней значительно повысило дискриминационную способность и позволило разделить 80 штаммов *Y. pseudotuberculosis* на 73 2IS типа. Дендрограмма, построенная на основе полученных результатов, сгруппировала штаммы на 6 кластеров (A1, B1-B5). Причем группы, полученные при построении дендрограммы, согласовывались с географией выделения штаммов и источниками. Полученное древо также позволило проследить путь распространения возбудителя, что может свидетельствовать об эффективности данного метода для эпидемиологического расследования вспышек и спорадических случаев.

Весьма распространенный метод типирования штаммов по генотипам для других возбудителей – MLVA (multi loci variable tandem repeats analysis – мультилокусный анализ переменных тандемных повторов), для возбудителя псевдотуберкулеза использован был не так часто [Le Flèche et al., 2001; Halkilahti, Naukka, Siitonen, 2013; Евсеева и др., 2015; Каримова, 2017]. В данном методе используют переменность, характерную для участков ДНК, содержащих тандемные повторы, что помогает разделять микроорганизмы на генотипы. В пионерской работе Р. Le Flèche использовались всего два штамма *Y. pseudotuberculosis* и подтверждена возможность применения этого метода для межвидовой дифференциации внутри рода [Le Flèche et al., 2001]. Эффективное использование данного подхода продемонстрировано в работе В.В. Евсеевой, где она с соавторами проводила типирование штаммов псевдотуберкулеза по нескольким VNTR-локусам [Евсеева и др., 2015]. Для штаммов *Y. pseudotuberculosis* авторами было решено использовать 25 и 14 локусов. В результате генотипирования 71 изолята исследователи получили 54 генотипа. Достичь этого удалось благодаря использованию 14 локусов. Примечательно, что штаммам отдельных серотипов соответствовали определенные MLVA-типы. Также метод MLVA был использован зарубежными авторами для генотипирования 63 изолятов серотипа O:1 и 44 серотипа O:3. Использование 16 маркеров, расположенных на хромосоме, позволило разделить анализируемые штаммы на 24 MLVA-паттерна, по 12 каждого серотипа. Причем подавляющее большинство полученных генотипов были уникальны и содержали только один изолят [Halkilahti, Naukka, Siitonen, 2013].

Ранее нами успешно был применен метод INDEL-типирования для разделения видов *V. cholerae* и *Y. pestis* на отдельные генетические группы [Водопьянов и др., 2014, 2017]. С помощью INDEL-маркеров нами было проведено генотипирование штаммов *Y. pseudotuberculosis* [Пат. RU2736649C1 ..., 2020]. Регистрация результатов в случае использования 7 пар праймеров для детекции INDEL-маркеров в штаммах *Y. pseudotuberculosis* осуществлялась при проведении ПЦП с разработанным набором реагентов. Сконструированные праймеры ps397, ps866, ps1105, ps1452, ps1509, ps1969, ps1779 дифференцировали штаммы *Y. pseudotuberculosis* по генам, детерминирующим белок системы VI типа секреции и белок, связанный с инвазией в клетки млекопитающих, а также гены «домашнего хозяйства», кодирующие каталитическую трансглюкозилазу и белки, связанные с метаболизмом железа и окислением жирных кислот.

Генетическая дифференциация штаммов *Y. pseudotuberculosis* происходит при получении набора амплификатов для каждого штамма и их сравнительном анализе. В результате ПЦП позволяет выявить индивидуальную генотипическую характеристику на основе семи маркерных INDEL-локусов. Совокупность амплифицированных фрагментов в ПЦП у штаммов, используемых в работе, составляет самостоятельный INDEL-тип. Тестируя 60 различных по своим характеристикам штаммов возбудителя псевдотуберкулеза, нами было выявлено 16 INDEL-типов.

Работы по генотипированию штаммов *Y. pseudotuberculosis* свидетельствуют о том, что в зависимости от критериев, положенных в основу молекулярного типирования штаммов и дискриминирующей способности метода можно выявить различное число генотипов. Определенные закономерности в распределении штаммов по генотипам сохраняются, однако разнообразных генотипов выявляется достаточно большое количество. В большинстве случаев распределение штаммов по генотипам имеет связь с серотипами штаммов и с географией выделения штамма, но есть и исключения. Отмечается и корреляция с тяжестью течения заболевания, особенно в том случае, когда способы генотипирования основаны на скрининге генов вирулентности. Вместе с тем, во время проведения генетической дифференциации выявляются случаи, когда отдельные штаммы или группы штаммов *Y. pseudotuberculosis* не попадают в потенциальную генетическую группу, которая объединяет штаммы по общему серотипу или месту выделения, но при этом они объединяются с изолятами, не имеющими, на первый взгляд, общих характеристик. Также возможно выявление генетической группы, представленной всего лишь единственным штаммом [Bogdanovich et al, 2003]. Некоторые авторы с целью получения более информативных результатов молекулярного типирования применяли несколько методов одновременно [Niskanen et al., 2009; Souza et al., 2013; Savin et al, 2014]. И, по-видимому, такой алгоритм генетической дифференциации наиболее удачный.

Нами проведен анализ 22 генотипов штаммов *Y. pseudotuberculosis*, полученных при использовании трех методов генетической дифференциации. Он показывает, что из 22 штаммов только 7 имеют совпадающие генотипы, выявленные всеми тремя методами. Еще 7 штаммов имели частичное совпадение генотипов, когда из трех методических подходов совпадение генетических групп наблюдалось только в

двух случаях. Следовательно, из 22 штаммов, 14 имели полное либо частичное совпадение набора генотипов. Результаты сравнения представлены в таблице.

Генотипы штаммов различных серовариантов и различного происхождения при использовании трех методов генетической дифференциации

[Strain genotypes of different serovariants and different origins under three methods of genetic differentiation]

№	Штамм <i>Y. pseudotuberculosis</i>	Серо-тип	Страна	Генотип			Совпадение
				Согласно Н. Fukushima	ST*	INDEL-тип	
1.	IP32953	O:1b	Франция, 1990	2	42	II	Полное (1, 20)
2.	Pa3606	O:1b	Япония	3	2	X	Частичное (2, 3)
3.	1231	O:4b	Россия	3	2	I	Частичное (2, 3)
4.	IP32544	O:3	Южная Африка	3	19	IIb	Частичное (4, 22)
5.	IP33038	O:1b	Австралия	2	43	IV	Нет
6.	IP33177	O:1b	Россия	3	26	I	Частичное (3, 6)
7.	MW109-2	O:11	Япония	4	71	VI	Частичное (7, 8)
8.	R819	O:5b	Япония	4	75	VI	Частичное (7, 8)
9.	N912	O:2b	Китай	6	14	I	Полное (9, 11)
10.	2888	O:1a	Италия	2	85	VIII	Нет
11.	IP33054	O:2a	Испания	6	14	I	Полное (9, 11)
12.	OK5586	O:3	Япония	2	62	Xa	Нет
13.	IP32463	O:5a	Швейцария	6	16	VII	Полное (13, 17, 18)
14.	IP32670	O:1b	Великобритания	2	43	IX	Нет
15.	SP93422	O:15	Корея	1	1	I	Нет
16.	IP32938	O:3	Аргентина	5	19	III	Нет
17.	IP32921	O:2b	Франция	6	16	VII	Полное (13, 17, 18)
18.	IP32881	O:2b	Швейцария	6	16	VII	Полное (13, 17, 18)
19.	PT682	O:2b	Япония	3	52	IIIa	Нет
20.	260	O:1a	Канада	2	42	IIa	Полное (1, 20)
21.	IP33250	O:3	Россия	-	32	X	Нет
22.	OK6088	O:10	Япония	3	18	IIb	Частичное (4, 22)

*ST – sequence type, тип последовательности.

Заключение

Таким образом, сравнение результатов генотипирования показывает, что генетическая дифференциация различными методами дает близкие результаты, но не всегда совпадающие между собой. Это свидетельствует о необходимости совершенствования подходов к генотипированию штаммов *Y. pseudotuberculosis* различного происхождения и о необходимости применения для этих целей разнообразных, с различной дискриминирующей способностью методов анализа одновременно.

Список источников

1. Бургасова О.А. Клинико-патогенетические аспекты поражений суставов возбудителями бактериальной природы, совершенствование лабораторной диагностики, подходы к терапии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2011. 41 с.
2. Бургасова О.А. и др. Влияние факторов патогенности *Y. pseudotuberculosis* на развитие поражений опорно-двигательного аппарата в виде реактивных артритов // Инфекционные болезни. 2009. Т. 7, № 4. С. 33–36.
3. Водопянов А.С. и др. Разработка метода дифференцировки *Yersinia pestis* и *Yersinia pseudotuberculosis* на основе INDEL-маркеров // Современные аспекты изучения особо опасных и других инфекционных заболеваний: материалы науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2014. С. 147–150.
4. Водопянов А.С. и др. Indel-типирование штаммов *Vibrio cholerae* // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2017. № 4. С. 195–200.
5. Евсева В.В. и др. Типирование *Yersinia pseudotuberculosis* с помощью мультилокусного анализа переменного числа тандемных повторов // Проблемы особо опасных инфекций. 2015. № 4. С. 55–57.

6. Каримова Т.В. Энтеропатогенные иерсинии: микробиологический мониторинг, молекулярно-биологические особенности, алгоритм лабораторной диагностики: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Иркутск, 2017. 22 с.
7. Каримова Т.В., Климов В.Т., Чеснокова М.В. Молекулярно-биологическая характеристика *Yersinia pseudotuberculosis* и *Yersinia enterocolitica*, выделенных в Сибири и на Дальнем Востоке // Бюллетень ВСНЦ СО РАМ. 2016, Т. 1, № 3 (109). Ч. 1. С. 60–64.
8. Климов В.Т., Чеснокова М.В. Молекулярно-генетический мониторинг на основе ПЦР O-генотипирования // Молекулярная генетика. 2007. № 4. С. 14–17.
9. Кокорина Г.И. Генотипы штаммов *Yersinia pseudotuberculosis* и их клиническое и диагностическое значение: дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2013. 142 с.
10. Пат. RU2736649C1 Российская Федерация, МПК C12N1/00, C12Q1/68. Способ генетической дифференциации штаммов *Yersinia pseudotuberculosis* путем молекулярно-генетического типирования / А.Л. Трухачев, М.Г. Мелоян, А.С. Водопьянов и др.; заявитель и патентообладатель ФКУЗ "Ростовский-на-Дону ордена трудового Красного Знамени научно-исследовательский противочумный институт". № 2019145645; заявл. 30.12.2019; опубл. 19.11.2020.
11. Сомова Л.М. и др. Плазмид-ассоциированная вирулентность *Yersinia pseudotuberculosis* и инфекционный процесс // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2016. № 6. С. 74–85.
12. Шестакова М.Д. и др. Диагностическая и лечебная тактика при абдоминальной форме иерсиниозов у детей // Педиатрия. 2012. № 4. С. 37–42.
13. Шубин Ф.Н. Экологические и молекулярно-биологические аспекты эпидемиологии псевдотуберкулеза: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1993. 40 с.
14. Шурыгина И.А. и др. Псевдотуберкулез. Новосибирск: Наука, 2003. 320 с.
15. Amphlett A. Far East Scarlet-Like Fever: A Review of the Epidemiology, Symptomatology, and Role of Superantigenic Toxin: *Yersinia pseudotuberculosis*-Derived Mitogen A. // Open Forum Infect Dis. 2015. Vol. 3: ofv202.
16. Bogdanovich T. et al. Use of O-antigen gene cluster-specific PCRs for the identification and O-genotyping of *Yersinia pseudotuberculosis* and *Yersinia pestis*. // Journal of Clinical Microbiology. 2003. Vol. 41. P. 5103–5112.
17. Ch'ng S.L. et al. Population structure and evolution of pathogenicity of *Yersinia pseudotuberculosis*. // Applied and Environmental Microbiology. 2011. Vol. 77. P. 768–775.
18. Duan R. et al. Homology analysis of pathogenic *Yersinia* species *Yersinia enterocolitica*, *Yersinia pseudotuberculosis*, and *Yersinia pestis* based on multilocus sequence typing // Journal of Clinical Microbiology. 2014. Vol. 52(1). P. 20–29.
19. EFSA (European Food Safety Authority) and ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), 2016. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2015 // EFSA Journal. 2016. Vol. 14. 231 p.
20. Fukushima H. et al. Geographical heterogeneity between Far Eastern and Western countries in prevalence of the virulence plasmid, the superantigen *Yersinia pseudotuberculosis*-derived mitogen and the high-pathogenicity island among *Yersinia pseudotuberculosis* strains // Journal of Clinical Microbiology. 2001. Vol. 39(10) P. 3541–3547.
21. Halkilahti J., Haukka K., Siitonen A. Genotyping of outbreak-associated and sporadic *Yersinia pseudotuberculosis* strains by novel multilocus variable-number tandem repeat analysis (MLVA) // Journal of Microbiological Methods. 2013. Vol. 95(2). P. 245–250.
22. Kenyon J.J., Cunneen M.M., Reeves P.R. Genetics and evolution of *Yersinia pseudotuberculosis* O-specific polysaccharides: a novel pattern of O-antigen diversity // FEMS microbiology reviews. 2017. Vol. 41(2). P. 200–217.
23. Laukkanen-Ninios R. et al. Population structure of the *Yersinia pseudotuberculosis* complex according to multilocus sequence typing // Environmental Microbiology. 2011. Vol. 13. P. 3114–3127.
24. Le Flèche P. et al. A tandem repeats database for bacterial genomes: application to the genotyping of *Yersinia pestis* and *Bacillus anthracis* // BMC Microbiology. 2001. 1:2.
25. Niskanen T. et al. Characterization of non-pathogenic *Yersinia pseudotuberculosis*-like strains isolated from food and environmental samples // International Journal of Food Microbiology. 2009. Vol. 129. P. 150–156.
26. Savin C. et al. The *Yersinia pseudotuberculosis* complex: characterization and delineation of a new species, *Yersinia wautersii* // International Journal of Food Microbiology. 2014. Vol. 304. P. 452–463.
27. Souza R.A. et al. Molecular typing of *Yersinia pseudotuberculosis* strains isolated from livestock in Brazil // Genetics and Molecular Research. 2013. Vol. 12. P. 4869–4878.
28. Thal E., Knapp W. A revised antigenic scheme of *Yersinia pseudotuberculosis* // Progress in Immunologic Standardization. 1971. Vol. 15. P. 219–222.

29. Voskresenskaya E. et al. Evaluation of ribotyping as a tool for molecular typing of *Yersinia pseudotuberculosis* strains of worldwide origin // *Journal of Clinical Microbiology*. 2005. Vol. 43. P. 6155–6160.
30. Voskresenskaya E. et al. Typing and clustering of *Yersinia pseudotuberculosis* isolates by restriction fragment length polymorphism analysis using insertion sequences. // *Journal of Clinical Microbiology*. 2014. Vol. 52. P. 1978–1989.

References

- Burgasova O.A. *Kliniko-patogenetičeskie aspekty poraženij sustavov vozбудiteljami bakterial'noj prirody, soveršenstvovanie laboratornoj diagnostiki, podchody k terapii*. Avtoref. dis. dok. med. nauk [Clinical and pathogenetic aspects of joint lesions by bacterial pathogens, improving laboratory diagnostics, approaches to therapy/ Abstract. Doc. Diss. Med.]. Moscow, 2011. 41 p. (In Russ.).
- Burgasova OA, Voskresenskaja EA, Tseneva T.Ya. et al. [Influence of pathogenicity factors of *Y. pseudotuberculosis* on the development of lesions of the musculoskeletal system in the form of reactive arthritis]. *Infekcionnye bolezni*. V. 7, No 4 (2009): pp. 33-36. (In Russ.).
- Vodop'janov A.S., Vodop'janov S.O., Truchačev A.L., Olejnikov I.P., Demidova G.V., Mišan'kin, B.N. [Development of a method for differentiation of *Yersinia pestis* and *Yersinia pseudotuberculosis* on based on INDEL markers]. *Sovremennye aspekty izučeniya osobo opasnykh i drugih infekcionnykh zabozevanij* [Modern aspects of the study of especially dangerous and other infectious diseases: materials of scientific and practical conference]. Rostov-on-Don, 2014, pp. 147-150. (In Russ.).
- Vodop'janov A.S., Vodop'janov S.O., Olejnikov I.P., Mišan'kin B.N. [Indel typing of *Vibrio cholerae* strains]. *Epidemiologija i infekcionnye bolezni*. No 4 (2017): pp. 195-200. (In Russ.).
- Evseeva V.V., Platonov M.E., Dentovskaja S.V., Anisimov A.P. [Typing of *Yersinia pseudotuberculosis* by multilocus tandem repeat variable number assay]. *Problemy osobo opasnykh infekcij*. No 4 (2015): pp. 55-57. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2015-4-55-57>. (In Russ.).
- Karimova T.V. *Enteropatogennye iersinii: mikrobiologičeskij monitoring, molekularno-biologičeskie osobennosti, algoritm laboratornoj diagnostiki*. Avtoref. dis. kand. med. nauk. [Enteropathogenic yersinia: microbiological monitoring, molecular biological features, laboratory diagnostic algorithm. Abstract of the thesis. Diss. Cand. Med. Sciences]. Irkutsk, 2017, p. 22. (In Russ.).
- Karimova T.V., Klimov V.T., Česnokova M.V. [Molecular biological characteristics of *Yersinia pseudotuberculosis* and *Yersinia enterocolitica* isolated in Siberia and the Far East]. *Bjulleten' VSNC SO RAM*, V. 1, No 3 (109), Part 1 (2016): pp. 60-64. (In Russ.).
- Klimov V.T., Česnokova M.V. [Molecular genetic monitoring based on PCR O-genotyping]. *Molekuljarnaja genetika*. No 4 (2007): pp. 14-17. (In Russ.).
- Kokorina G.I. *Genotipy štammov Yersinia pseudotuberculosis i ich kliničeskoe i diagnostičeskoe značenie*. Dis. kand. med. nauk [Genotypes of *Yersinia pseudotuberculosis* strains and their clinical and diagnostic significance. Kand. Diss. Med.]. St-Peterburg, 2013. 142 p. (In Russ.).
- Truchačev A.L., Melojan M.G., Vodop'janov A.S., Pisanov R.V., Voskresenskaja E.A., Česnokova M.V., Vodop'janov S.O., Kokokrina G.I., Bogumil'čik E.A. «*Sposob genetičeskoj differenciacii štammov Yersinia pseudotuberculosis putem molekularno-genetičeskogo tipirovanija*» [Method for genetic differentiation of yersinia pseudotuberculosis strains by molecular genetic typing]. Patent RU 2736649C1 Russian Federation, 19.11.2020. (In Russ.).
- Somova L.M., Šubin F.N., Drobot E.I., Plechova N.G., Ljapun I.N. [Plasmid-associated virulence of *Yersinia pseudotuberculosis* and the infectious process]. *Žurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. No 6 (2016): pp. 74-85. (In Russ.).
- Šestakova M.D., Voskresenskaja E.A., Kokorina G.I., Burgasova O.A., Ceneva G.Ja. [Diagnostic and therapeutic tactics for abdominal yersiniosis in children]. *Pediatrica*. No 4 (2012): pp. 37-42. (In Russ.).
- Šubin F.N. *Ėkologičeskie i molekularno-biologičeskie aspekty epidemiologii psevdotuberkuleza*: Avtoref. dis. dok. med. nauk. [Ecological and molecular biological aspects of the epidemiology of pseudotuberculosis: Abstract diss. doc. med.]. Moscow, 1993. 40 p. (In Russ.).
- Šurygina, I.A., Česnokova M.V., Klimov V.T., Malov I.V., Maramovič A.S. *Psevdotuberkulez* [Pseudotuberculosis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003. 320 p. (In Russ.).
- Amphlett A. Far East Scarlet-Like Fever: A Review of the Epidemiology, Symptomatology, and Role of Superantigenic Toxin: *Yersinia pseudotuberculosis*-Derived Mitogen A. *Open Forum Infect Dis*. V. 3:ofv202 (2015).
- Bogdanovich T., Carniel E., Fukushima H., Skurnik M. Use of O-antigen gene cluster-specific PCRs for the identification and O-genotyping of *Yersinia pseudotuberculosis* and *Yersinia pestis*. *Journal of Clinical Microbiology*. V. 41 (2003): pp. 5103-5112.
- Ch'ng S.L., Octavia S., Xia Q., Duong A., Tanaka M.M., Fukushima H., Lan R. Population structure and evolution of pathogenicity of *Yersinia pseudotuberculosis*. *Applied and Environmental Microbiology*. V. 77 (2011): pp. 768-75.

18. Duan R., Liang J., Shi G., Cui Z., Hai R., Wang P., Xiao Y., Li K., Qiu H., Gu W., Du X., Jing H., Wang X. Homology analysis of pathogenic *Yersinia* species *Yersinia enterocolitica*, *Yersinia pseudotuberculosis*, and *Yersinia pestis* based on multilocus sequence typing. *Journal of Clinical Microbiology*. V. 52 (2014): pp. 20-29.
19. EFSA (European Food Safety Authority) and ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), 2016. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2015. *EFSA Journal*. V. 14 (2016): pp. 1-231
20. Fukushima H., Matsuda Y., Seki R. et al. Geographical heterogeneity between Far Eastern and Western countries in prevalence of the virulence plasmid, the superantigen *Yersinia pseudotuberculosis*-derived mitogen and the high-pathogenicity island among *Yersinia pseudotuberculosis* strains. *Journal of Clinical Microbiology*. V. 39 (2005): pp. 3541-3547.
21. Halkilahti J., Haukka K., Siitonen A. Genotyping of outbreak-associated and sporadic *Yersinia pseudotuberculosis* strains by novel multilocus variable-number tandem repeat analysis (MLVA). *Journal of Microbiological Methods*. V. 95(2) (2013): pp. 245-250.
22. Kenyon J. J., Cunneen M.M., Reeves P.R. Genetics and evolution of *Yersinia pseudotuberculosis* O-specific polysaccharides: a novel pattern of O-antigen diversity. *FEMS microbiology reviews*. V. 41(2) (2017): pp. 200-217.
23. Laukkanen-Ninios R., Didelot X., Jolley K.A., Morelli G., Sangal V., Kristo P., Brehony C., Imori P.F., Fukushima H., Siitonen A., Tseneva G., Voskresenskaya E., Falcao J.P., Korkeala H., Maiden M.C., Mazzoni C., Carniel E., Skurnik M., Achtman M. Population structure of the *Yersinia pseudotuberculosis* complex according to multilocus sequence typing. *Environmental Microbiology*. V. 13 (2011): pp. 3114-3127.
24. Le Flèche P., Hauck Y., Onteniente L., Prieur A., Denoeud F., Ramisse V., Sylvestre P., Benson G., Ramisse F., Vergnaud G. A tandem repeats database for bacterial genomes: application to the genotyping of *Yersinia pestis* and *Bacillus anthracis*. *BMC Microbiology*. 1:2 (2001).
25. Niskanen T., Laukkanen R., Murros A., Björkroth J., Skurnik M., Korkeala H., Fredriksson-Ahomaa M. Characterization of non-pathogenic *Yersinia pseudotuberculosis*-like strains isolated from food and environmental samples. *International Journal of Food Microbiology*. V. 129 (2009): pp. 150-156.
26. Savin C., Martin L., Bouchier C., Filali S., Chenau J., Zhou Z., Becher F., Fukushima H., Thomson N.R., Scholz H.C., Carniel E. The *Yersinia pseudotuberculosis* complex: characterization and delineation of a new species, *Yersinia wautersii*. *International Journal of Food Microbiology*. V. 304 (2014): pp. 452-463.
27. Souza R.A., Imori P.F.M., Passaglia J., Pitondo-Silva A. and Falcão J.P. Molecular typing of *Yersinia pseudotuberculosis* strains isolated from livestock in Brazil. *Genetics and Molecular Research*. V. 12 (2013): pp. 4869-4878.
28. Thal E., Knapp W. A revised antigenic scheme of *Yersinia pseudotuberculosis*. *Progress in Immunologic Standardization*. V. 15 (1971): pp. 219-222.
29. Voskresenskaya E., Leclercq A., Tseneva G.Y. Carniel E. Evaluation of ribotyping as a tool for molecular typing of *Yersinia pseudotuberculosis* strains of worldwide origin. *Journal of Clinical Microbiology*. V. 43 (2005): pp. 6155-6160.
30. Voskresenskaya E., Savin C., Leclercq A., Tseneva G., Carniel E. Typing and clustering of *Yersinia pseudotuberculosis* isolates by restriction fragment length polymorphism analysis using insertion sequences. *Journal of Clinical Microbiology*. V. 52 (2014): pp. 1978-1989.

Статья поступила в редакцию 17.12.2021; одобрена после рецензирования 10.02.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 17.12.2021; approved after reviewing 10.02.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

М. Г. Мелоян – младший научный сотрудник лаборатории природно-очаговых и зоонозных инфекций;

Е. А. Воскресенская – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории медицинской бактериологии, руководитель Российского Референс-центра по мониторингу иерсиниозов;

С. А. Лебедева – д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии чумы и других иерсиниозов;

А. Л. Трухачев – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатория молекулярной биологии, природно-очаговых и зоонозных инфекций.

Information about the authors

M. G. Meloyan – junior researcher of the laboratory of natural focal and zoonotic infections;

E. A. Voskresenskaya – candidate of biological sciences, leading researcher of the laboratory of medical bacteriology, head of the Russian reference centre for yersiniosis monitoring;

S. A. Lebedeva –doctor of medical sciences, professor, leading researcher of the laboratory of microbiology of plague and other yersinioses;

A. L. Trukhachev – candidate of medical sciences, leading researcher of the laboratory of molecular biology, natural focal and zoonotic infections.

Вклад авторов:

Мелоян М. Г. – анализ литературы; написание исходного текста; итоговые выводы; сравнительный анализ результатов генотипирования различных исследований.

Воскресенская Е. А. – предоставление полных данных о результатах; итоговые выводы; сравнительный анализ результатов генотипирования различных исследований.

Лебедева С. А. – подбор литературы; доработка текста.

Трухачев А. Л. – научное руководство; концепция исследования; доработка текста.

Contribution of the authors:

Meloyan M. G. – literature analysis; writing of the source text; final conclusions; comparative analysis of the results of genotyping of various studies.

Voskresenskaya E. A. – providing complete data on the results; final conclusions; comparative analysis of the results of genotyping of various studies.

Lebedeva S. A. – selection of literature; revision of the text.

Trukhachev A. L. – scientific guidance; research concept; revision of the text.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 631.4

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-64-71

Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв

Ольга Зиновьевна Еремченко¹✉, Руслан Вячеславович Сапцын²,
Евгения Анатольевна Ложкина³, Елизавета Владимировна Тыршу⁴

^{1,2,3,4} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

¹✉ eremch@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3581-0874>

² ruslansaptsyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3915-0391>

³ lozhkina212@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7333-0121>

⁴ Yelizaveta765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2088-6980>

Аннотация. Проведена оценка эффективности технической рекультивации нефтезагрязненных почв и способности создавать условия для роста и развития культурных растений. Установлена существенная неоднородность свойств и остаточная фитотоксичность рекультивированного слоя дерново-подзолистой почвы. Выявлено, что серая почва после проведения рекультивационных работ характеризуется повышенным уровнем почвенного плодородия и более благоприятными условиями для роста и развития растений, по сравнению с некультивируемой серой почвой.

Ключевые слова: почвы, нефтезагрязнение, рекультивация, агрохимические свойства, фитотоксичность, экологические функции

Для цитирования: Оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв / О. З. Еремченко, Р. В. Сапцын, Е. А. Ложкина, Е. В. Тыршу // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 64–71. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-64-71>.

SOIL SCIENCE

Original article

Assessment of performance of oil-contaminated soil reclamation

Olga Z. Eremchenko¹✉, Ruslan V. Saptsyn², Evgeniya A. Lozhkina³,
Elizaveta V. Tyrshu⁴

^{1,2,3,4} Perm State University, Perm, Russia

¹✉ eremch@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3581-0874>

² ruslansaptsyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3915-0391>

³ lozhkina212@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7333-0121>

⁴ Yelizaveta765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2088-6980>

Abstract. The article is devoted to the performance evaluation assessment of oil-contaminated soil technical remediation and assessment of the ability to create conditions for the growth and development of cultivated plants. A significant heterogeneity of properties and residual phytotoxicity of the reclaimed layer of the soddy-podzolic surface is discovered. The results of investigation showed that gray soil is characterized by an increased level of soil fertility and more favorable conditions for the growth and development of plants, compared with uncultivated gray soil after reclamation.

Keywords: soils, oil pollution, reclamation, agrochemical properties, phytotoxicity, ecological functions

For citation: Eremchenko O. Z., Saptsyn R. V., Lozhkina E. A., Tyrshu E. V. [Assessment of performance of oil-contaminated soil reclamation]. *Bulletin of the Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 64-71. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-64-71>.

Введение

С конца XX в. исследователи связывают качество почвы с ее способностью выполнять экологические функции, в первую очередь, создавать условия для роста и развития живых организмов [Nikitin et al., 2010]. В настоящее время звучат опасения, что антропогенно измененные почвы не смогут выполнять функции воспроизводства и поддержания жизни на Земле [Haygarth, Ritz, 2009; Керженцев, 2010; Кова-

лев, Ковалева, 2020].

В нефтегазовом комплексе России транспортировка нефти и нефтепродуктов от мест добычи и до мест потребления не исключает вероятности аварийных разливов и последующего загрязнения почвенного покрова. Нефтезагрязненные почвы на долгое время выбывают из народно-хозяйственного использования, требуя значительные средства на проведение рекультивации. Современные методы рекультивации направлены не только на устранение нефтезагрязнения, но и на восстановление плодородного слоя почвы¹ [Черняховский и др., 2004]. Формирование благоприятных агрохимических свойств у рекультивированных почв особенно важно на землях сельскохозяйственного назначения, т.к. культурные растения имеют повышенные требования к реакции почвенной среды, содержанию гумуса и питательных веществ.

В южно-таежной подзоне Пермского края, вследствие разгерметизации нефтепровода, произошли разливы нефти и последующее загрязнение дерново-подзолистой на площади около 300 м² (участок № 1) и серой почвы – на площади около 250 м² (участок № 2). Оба загрязненных участка относятся к категории земель «Земли сельскохозяйственного назначения». Сразу после аварии нефть с верхними слоями загрязненной почвы была вывезена для последующей санации. На нарушенных участках был выровнен рельеф путем отсыпки на поверхность незагрязненного почвогрунта, привезенного с территорий складирования отходов животноводства и проведения дорожно-строительных работ. Цель нашей работы – оценка эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв и способности рекультивированного слоя создавать условия для роста и развития культурных растений.

Материалы и методы исследований

Из рекультивированного слоя почв отбирались пробы с глубины 0–20 см равномерно по всей площади участков; каждую отдельную пробу готовили путем смешивания из 3–5 индивидуальных проб. На участке № 1 исследовали три смешанные пробы, а на участке № 2 – пять смешанных проб. На фоновых почвах смешанные пробы отобрали с трех стенок разреза по глубинам 0–20 см.

Содержание остаточной нефти и нефтепродуктов определили по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98, величину pH водной суспензии – по ГОСТ 26483-85, содержание органического углерода – по Тюрину, содержание подвижных фосфатов и подвижного калия по ГОСТ Р 54650–2011.

Экологическое состояние и степень токсичности почвогрунта исследовали методом фитотестирования кресс-салатом *Lepidium sativum* L. на основе авторской методики [Пат. RU2620555C1 ..., 2017]. Ответную реакцию тест-культуры на рекультивированных почвах сравнивали с состоянием растений на фоновых почвах.

Высоту и массу кресс-салата, выращенного на почвенных пробах, измерили в 25–кратной повторности; значимость различий с тест-контролем оценили с помощью критерия Стьюдента с доверительной вероятностью 95% и выше ($P < 0.05$).

Редокс-активность растительных экстрактов из листьев кресс-салата определили методом Петта – Прокашева [Практикум ..., 2016]. Биологическая повторность определения редокс-активности – 4-кратная. Сравнение редокс-активности растений, выращенных на пробах почвогрунта, с редокс-активностью растений на фоновой почве провели на основе однофакторного дисперсионного метода с применением критерия Краскела-Уоллиса; значимыми считали различия между сравниваемыми средними величинами с доверительной вероятностью 95% и выше ($P < 0.05$).

Результаты и их обсуждение

Фоновые почвы исследовали на расположенных рядом облесенных участках, в пределах того же рельефа, где произошло нефтезагрязнение почв. В соответствии с современной классификацией почв России [Классификация ..., 2004], фоновая почва вблизи рекультивированного участка № 1 диагностирована как дерново-подзолистая постагрогенная почва. В профиле почвы постагрогумусовый горизонт имеет мощность около 28 см, под ним залегает субэлювиальный горизонт ВЕL, который постепенно переходит в текстурный горизонт ВТ.

Фоновая почва возле участка № 2 определена как серая почва. В профиле почвы под серогумусовым горизонтом АУ мощностью около 25 см залегает гумусово-элювиальный горизонт АЕL мощностью 13 см; ниже выделен субэлювиальный горизонт ВЕL мощностью около 18 см, который постепенно переходит в текстурный горизонт ВТ [Классификация ..., 2004].

Известно, что нефть оказывает на растения прямое токсическое (или стимулирующее) действие, и опосредованное действие – через изменение физико-химических свойств почвы и трансформацию поч-

¹ ГОСТ Р 57447-2017. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. М.: Стандартинформ, 2019. 25 с.

венного микробного сообщества. В обеих рекультивированных почвах количество остаточной нефти превышало фоновый уровень: в дерново-подзолистой в 1.7–3 раза, а в серой почве, за исключением одной пробы, – в 2.3–4 раза (табл. 1).

Таблица 1

Остаточное содержание нефтепродуктов в рекультивированных почвах (слой 0–20 см), мг/кг
[Residue levels of oil products in reclaimed soils (layer 0–20 cm), mg/kg]

Почва	№ пробы	Нефтепродукты
Дерново-подзолистая		
Рекультивированная	1	86
	2	135
	3	148
Фоновая		менее 50
Серая почва		
Рекультивированная	1	50
	2	177
	3	187
	4	147
	5	110
Фоновая		47

Остаточное количество нефтепродуктов в рекультивированных почвах оценили относительно нормативов допустимого остаточного содержания нефтепродуктов (ДОСНП), принятых в Пермском крае¹. Норматив ДОСНП для типа дерново-подзолистых почв категории «Земли сельскохозяйственного назначения» составляет 2400 мг/кг почвы. Остаточное содержание нефтепродуктов в рекультивированной дерново-подзолистой почве в 16–28 раз ниже ДОСНП (табл. 1). Норматив ДОСНП для типа серых почв категории «Земли сельскохозяйственного назначения» составляет 2400–2600 мг/кг почвы. Остаточное содержание нефтепродуктов в рекультивированной серой почве в 13–63 раза ниже ДОСНП.

Таким образом, на обеих почвах проведение технических работ по устранению нефтезагрязнения способствовало существенному снижению количества остаточной нефти относительно ДОСНП, однако по сравнению с фоновым содержанием, в рекультивированных почвах сохраняется некоторый уровень нефтезагрязнения.

Для оценки агрохимического состояния рекультивированного слоя почв проведено сравнение с гумусовым горизонтом фоновых почв. Реакция почвенной среды ($pH_{(KCl)}$) в рекультивированной дерново-подзолистой почве была менее кислой, чем в фоновой постагрогенной почве (табл. 2). Содержание гумуса было выше во всех трех пробах по сравнению с фоновым уровнем. Количество подвижных фосфатов и калия в пробе № 1 не отличалось от содержания в фоновой почве, но участки, с которых были отобраны смешанные пробы № 2 и № 3, оказались значительно более обеспеченными питательными элементами. В методике Министерства сельского хозяйства РФ предложена формула расчета показателя плодородия кислых почв²:

$$K_{пп} = \left(\frac{\text{гумус ф.}}{\text{гумус опт.}} + \frac{P_2 O_5 \text{ ф.}}{P_2 O_5 \text{ опт.}} + \frac{K_2 O \text{ ф.}}{K_2 O \text{ опт.}} + \frac{pH_{(KCl)} \text{ ф.}}{pH_{(KCl)} \text{ опт.}} \right) : 4 ,$$

где $K_{пп}$ – показатель почвенного плодородия для каждого типа почв; гумус, P_2O_5 , K_2O , pH – агрохимические показатели; ф. – фактические значения агрохимических показателей; опт. – оптимальные значения агрохимических показателей.

Оптимальные уровни содержания подвижных фосфатов и калия в почвах были выбраны по результатам полевых опытов агрохимической службы Центрального района Нечерноземной зоны [Шафран, Прошкин, 2008]. Диапазон колебаний агрохимических свойств дерново-подзолистых и серых почв охватывал практически все возможные вариации, встречающиеся в почвах Центрального района Нечерноземной зоны. За оптимальный уровень содержания питательных веществ исследователи приняли такое содержание фосфора и калия в почве, при котором прекращался рост урожайности культур по мере увеличения обеспеченности этими элементами питания. Оптимальное содержание питательных веществ в дерново-подзолистой суглинистой почве в Центральном районе Нечерноземной зоны составляло для озимой пшеницы: P_2O_5 – 140 мг/кг, K_2O – 160 мг/кг. Оптимальное содержание питательных веществ в

¹ Об утверждении региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края и порядка их применения: Постановление Правительства Пермского края № 813-п от 20 дек. 2018 г. (с изменениями на 23 дек. 2020 г.).

² Методика расчета показателя почвенного плодородия в субъекте Российской Федерации, утвержденная приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 6 июля 2017 г. № 325.

серой почве в Центральном районе Нечерноземной зоны составляло для озимой пшеницы: P_2O_5 – 130 мг/кг, K_2O – 180 мг/кг.

Оптимальные значения рН и количества гумуса для расчета коэффициентов плодородия также были выбраны из базы данных по состоянию почв в Центральном районе Нечерноземной зоны. Согласно этим данным, наиболее благоприятная реакция почвенной среды в серых почвах была равна 6.8 рН, в дерново-подзолистых – 6.9 рН; а наибольшее содержание гумуса в серых почвах составляло 4.6%, а в дерново-подзолистых почвах – 3.6% [Шафран, Прошкин, 2008].

Коэффициент почвенного плодородия ($K_{\text{пн}}$), рассчитанный по основным агрохимическим свойствам для фоновой дерново-подзолистой почвы равен 0.6; для смешанной пробы № 1 он был немного выше (табл. 2). Для почвенных проб № 2 и № 3 $K_{\text{пн}}$ оказался выше в несколько раз по сравнению с фоновым значением. Средний коэффициент почвенного плодородия для рекультивированного слоя дерново-подзолистой почвы ($K_{\text{пн}} = 1.42$) был выше коэффициента плодородия у гумусового горизонта постагрогенной почвы. Одновременно следует отметить характерный для смешанных проб высокий интервал колебаний показателей плодородия рекультивированной почвы.

Таблица 2

Свойства фоновой дерново-подзолистой почвы и рекультивированной почвы, слой 0–20 см
[Properties of the background soddy-podzolic soil and reclaimed soil, layer 0-20 cm]

Почва	№ пробы	рН	Гумус, %	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг	$K_{\text{пн}}$
Рекультивированная дерново-подзолистая почва	1	4.34	5.64	29	59	0.69
	2	5.81	5.83	455	359	1.99
	3	5.00	5.20	361	246	1.57
Фоновая дерново-подзолистая постагрогенная почва		4.04	4.42	30	63	0.60

Примечание. $K_{\text{пн}}$ – коэффициент почвенного плодородия.

Фоновая серая почва имеет кислую реакцию среды, величина рН=4.87 (табл. 3). Все смешанные пробы из рекультивированной серой почвы характеризуются более благоприятной, нейтральной реакцией среды. Содержание гумуса в рекультивированной почве выше, чем в фоновой почве. Во всех пробах из рекультивированной почвы обеспеченность фосфатами и калием выше, чем в фоновой почве. Расчеты $K_{\text{пн}}$ показали, что коэффициент почвенного плодородия у рекультивированной почвы в 1.7–2.2 раза выше, по сравнению с коэффициентом плодородия фоновой серой почвы. Таким образом, после проведения рекультивационных работ на нефтезагрязненной серой почве был восстановлен верхний корнеобитаемый слой с повышенными показателями плодородия.

Таблица 3

Свойства фоновой серой почвы и рекультивированной агрогенной почвы, слой 0–20 см
[Properties of the background gray soil and reclaimed agrogenic soil, layer 0-20 cm]

Почва	№ пробы	рН	Гумус, %	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг	$K_{\text{пн}}$
Рекультивированная серая почва	1	6.99	4.57	37	121	0.74
	2	6.86	4.89	59	76	0.84
	3	7.10	4.11	45	113	0.73
	4	6.71	7.75	48	146	0.96
	5	7.04	5.77	47	121	0.83
Фоновая серая почва		4.87	3.61	14	29	0.44

Примечание. $K_{\text{пн}}$ – коэффициент почвенного плодородия.

В условиях нефтезагрязнения растения являются чувкими индикаторами уровня токсичности почвы [Назаров, Иларионов, 2005; Чугунова и др., 2011]. Кресс-салат используют при анализе почвенных загрязнений, как отдельными поллютантами, так и при их комплексном воздействии [Шунелько, Федорова, 2002; Czerniawska-Kusza et al., 2006; Sujetovienė, Griauslytė, 2008; Lisovitskaya, Terekhova, 2010]. При выращивании кресс-салата на пробах рекультивированной дерново-подзолистой почвы было установлено снижение высоты и массы относительно растений кресс-салата на фоновой почве (рис. 1).

Известно, что неблагоприятные факторы корневой среды вызывают в растениях развитие окислительного стресса [Колупаев, Карпец, 2019]. Ранее в наших экспериментах установлено повышение редокс-активности кресс-салата в ответ на подкисление, засоление, подщелачивание и загрязнение тяжелыми металлами корневой среды [Пат. RU2620555C1 ..., 2017].

По результатам фитотестирования установлено некоторое повышение редокс-активности у кресс-салата, выращенного на пробе № 3 из рекультивированной дерново-подзолистой почвы. Усиление редокс-активности кресс-салата при одновременном снижении высоты и массы свидетельствует о неко-

торой токсичности почвенной пробы; в этой пробе было повышено содержание остаточной нефти (см. табл. 2). Данные о повышенной редокс-активности тест-культуры соответствуют сведениям о накоплении в проростках растений при нефтяном стрессе веществ, характеризующихся восстановительной активностью (антоцианы, рибофлавин, аскорбиновая кислота) [Чупахина, Масленников, 2004]. Таким образом, после проведения технического этапа рекультивационных работ, несмотря на повышенный коэффициент плодородия, почвенные условия для развития растений остаются менее благоприятными, чем у фоновой постагрогенной почвы.

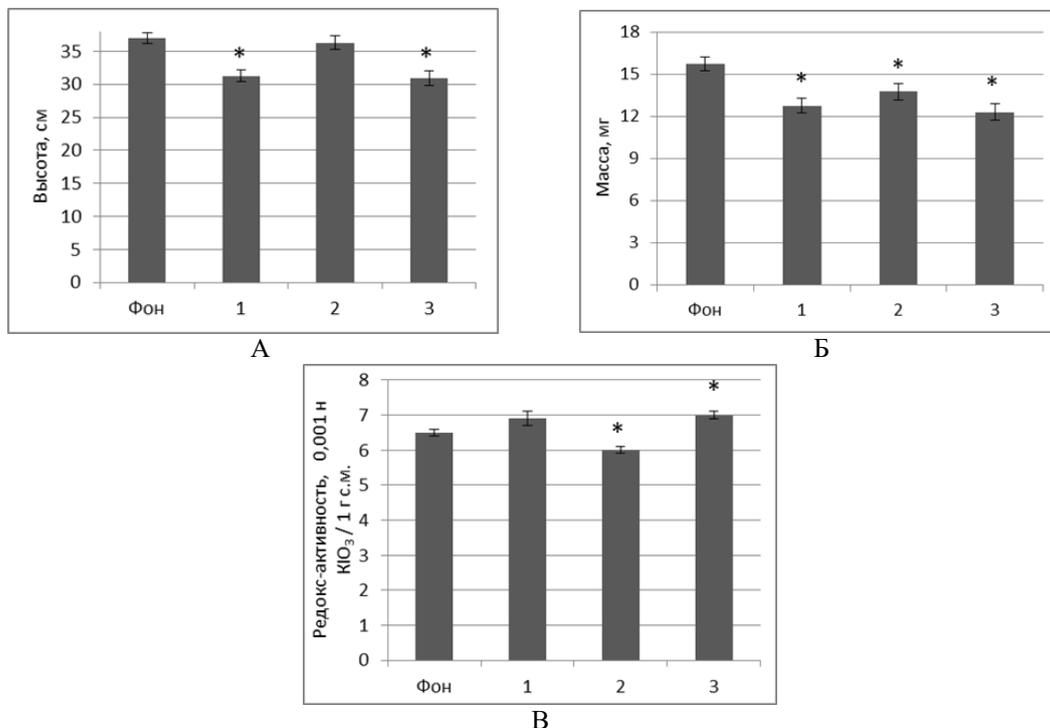


Рис. 1. Высота (А), масса (Б) и редокс-активность (В) кресса-салата на фоновой и рекультивированной дерново-подзолистой почве;

* – значимые различия с фоновыми показателями

[Height, weight and redox activity of watercress on the background and reclaimed soddy-podzolic soil:

* – significant differences with background indicators]

Фитотестирование серой почвы показало, что рекультивированный слой создает лучшие условия для роста и развития кресс-салата; высота и масса растений были выше, чем у растений на фоновой серой почве (рис. 2). Редокс-активность не отличалась от фонового уровня или была немного ниже. По-видимому, остаточное количество нефти в серой почве не оказывает токсического воздействия на тест-культуру.

Для общей оценки эффективности рекультивации нефтезагрязненных почв был использован метод математической оптимизации. Из выборки показателей оптимальных свойств почв ($x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$) выбран экстремум – минимальное (x_{\min}) или максимальное (x_{\max}) значение. Для содержания остаточных нефтепродуктов в качестве лучших были выбраны минимальные значения; а для pH, содержания органического углерода, подвижных фосфатов и калия – максимальные значения. В качестве экстремума для редокс-активности растительных экстрактов был взят минимальный показатель, полученный в опытах на каждом типе почвы. Экстремумом высоты и массы тест-культуры были максимальные показатели растений на каждом типе почвы. Относительно экстремума рассчитали нормированные значения показателей: $x_k = x_{\min} / x_n$, или $x_k = x_n / x_{\max}$. Сложили нормированные значения показателей и получили критерий оптимизации свойств для каждой почвы и почвенной пробы (табл. 4). При данном формализованном подходе был учтен комплекс свойств, тесно связанных с почвенным плодородием (pH, гумус, питательные элементы), а также отражающих способность загрязненных почв создавать условия для роста и развития растений (остаточные нефтепродукты, высота, масса и редокс-активность тест-культуры).

Рекультивация нефтезагрязненной дерново-подзолистой постагрогенной почвы не в полной мере способствовала восстановлению почвенной функции по созданию условий роста и развития растений, т.к. в пределах участка №1 имеются зоны с пониженными критериями оптимизации свойств. У рекультивированной

рованного слоя серой почвы критерии оптимизации свойств были выше, чем у фоновой некультивируемой серой почвы (табл. 4).

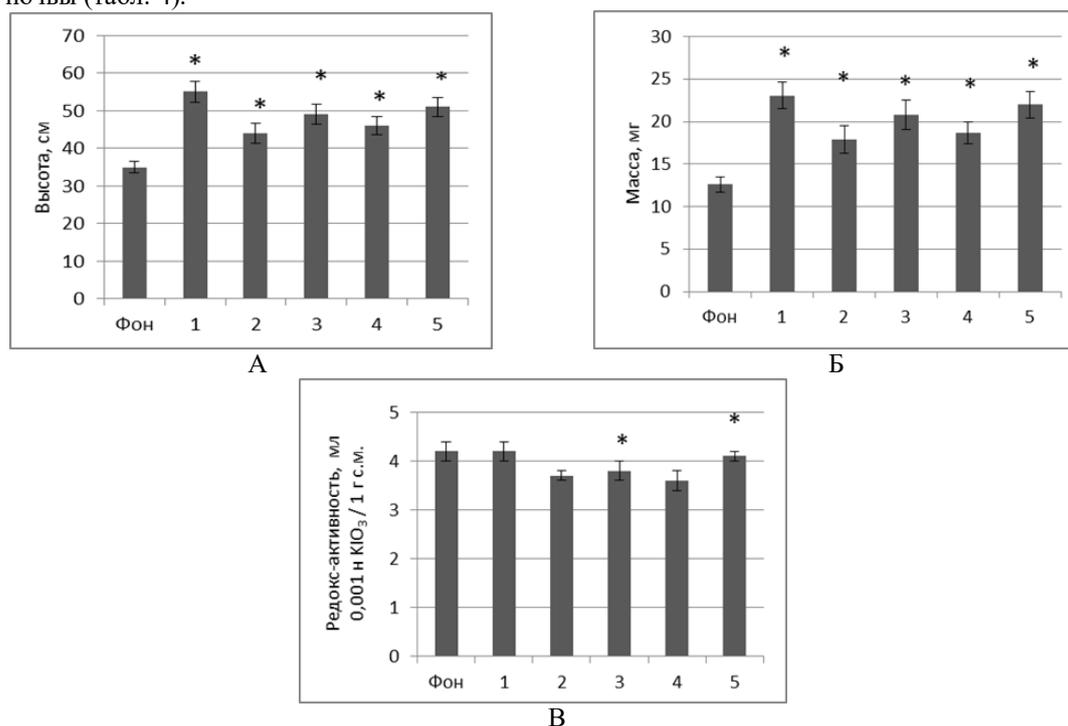


Рис. 2. Высота (А), масса (Б) и редокс-активность (В) кресс-салата на фоновой и рекультивированной серой почве;

* – значимые различия с фоновыми показателями

[Height, weight and redox activity of watercress on background and reclaimed gray soil:

* – significant differences with background indicators]

Таблица 4

Нормированные значения показателей состояния рекультивированных почв, слой 0–20 см
 [Normalized values of indicators of the state of reclaimed soils, layer 0-20 cm]

Почва	№ пробы	pH	Гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	Нефте-продукты	Высота тест-культуры	Масса тест-культуры	Редокс-активность	K _{опт}
Рекультивированная дерново-подзолистая	1	0.7	1.0	0.1	0.2	0.6	0.8	0.8	0.8	5.0
	2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0	0.9	1.0	7.3
	3	0.9	0.9	0.8	0.7	0.3	0.8	0.8	0.9	6.1
Фоновая дерново-подзолистая		0.7	0.8	0.1	0.2	1.0	1.0	1.0	0.9	5.7
Рекультивированная серая	1	1.0	0.6	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	0.9	6.9
	2	1.0	0.6	1.0	0.5	0.2	0.8	0.8	1.0	5.9
	3	1.0	0.5	0.8	0.8	0.2	0.9	0.9	0.9	6.0
	4	0.9	1.0	0.8	1.0	0.3	0.8	0.8	1.0	6.6
	5	1.0	0.7	0.8	0.8	0.4	0.9	0.9	0.9	6.4
Фоновая серая		0.7	0.5	0.2	0.2	0.8	0.6	0.5	0.9	4.4

Примечание. K_{опт} – критерий оптимизации.

Выводы

1. Коэффициенты почвенного плодородия и критерии оптимизации свойств использованы при оценке процесса восстановления экологических функций почв, рекультивированных после нефтезагрязнения.

2. Рекультивированный слой дерново-подзолистой почвы характеризовался существенной неоднородностью агрохимических свойств и остаточной фитотоксичностью; экологическая функция по созданию условий для роста и развития растений восстановлена не в полной мере.

3. Рекультивированный слой серой почвы характеризуется повышенными величинами коэффициента плодородия и критерия оптимизации свойств; отличается более благоприятными условиями для роста и развития растений, по сравнению с неокультуренной серой почвой.

Список источников

1. Керженцев А.С. Механизм функционирования почвы и устойчивость экосистем // Вестник Российской академии наук. 2010. Т. 80, № 8. С. 704–709.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Экологические функции почв и вызовы современности. // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16, № 2. С. 4–16.
4. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Активные формы кислорода, антиоксиданты и устойчивость растений к действию стрессоров. Киев: Логос, 2019. 277 с.
5. Назаров А.В., Иларионов С.А. Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Письма в Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2005. № 1. С. 60–65.
6. Пат. RU2620555C1 Российская Федерация, МПК G01N 33/24. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов / О.З. Еремченко, Н.В. Митракова; заявитель и патентообладатель О.З. Еремченко, Н.В. Митракова. – № 2016113050; заявл. 05.04.2016; опубл. 26.05.2017. Бюл. № 15.
7. Практикум по физиологии растений: учеб. пособие / Сост. М.Ю. Касаткин, В.В. Коробко, С.А. Степанов. Саратов, 2016. С. 45–47.
8. Черняховский Э.Р. и др. Применение различных технологий при ликвидации последствий аварийных разливов нефти, нефтепродуктов и продуктов переработки нефтесодержащих отходов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2004. № 6. С. 27–29.
9. Чугунова М.В. и др. Особенности биodeградации нефти в почвах Северо-Запада России // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 5 (1). С. 110–117.
10. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Адаптация растений к нефтяному стрессу // Экология. 2004. № 5. С. 330–335.
11. Шафран С.А., Прошкин В.А. Влияние агрохимических свойств почв Центрального района на урожайность зерновых культур // Агрохимия. 2008. № 7. С. 5–12.
12. Шунелько Е.В., Федорова А.И. Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестник Самарского государственного университета. Сер. География и экология. 2002. № 1. С. 93–104.
13. Czerniawska-Kusza I. et al. Comparison of the Phytotoxkit microbiotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments // Environmental Toxicology: An International Journal. 2006. Vol. 21, № 4. С. 367–372.
14. Haygarth P.M., Ritz K. The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services // Land use policy. 2009. Vol. 26. P. S187-S197.
15. Lisovitskaya O.V., Terekhova V.A. Phytotesting: basic approaches, problems of the laboratory method and modern solutions // Doklady po ěkologičeskomu počvovedeniju. 2010. № 1. С. 13.
16. Nikitin E.D. et al. Development of the concept of the ecological functions of the soil cover and other geospheres // Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43, № 7. С. 721–727.
17. Sujetovienė G., Griauslytė L. Toxicity Assessment of Roadside Soil Using Wild Oat (*Avenasativa* L.) and Cress (*Lepidium sativum* L.) Morphometric and Biochemical Parameters // Environmental Research, Engineering & Management. 2008. Vol. 46, № 4.

References

1. Kerzhencev A.S. [The mechanism of soil functioning and ecosystem stability]. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. V. 80, No 8 (2010): pp. 704-709. (In Russ.).
2. Shishov L.L., ed. *Klassifikacija i diagnostika počv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Smolensk, Ojkumena Publ., 2004. 342 p (In Russ.).
3. Kovalev I.V., Kovaleva N.O. [Ecological functions of soils and challenges of modernity]. *Ėkologičeskij vestnik Severnogo Kavkaza*. V. 16, No 2 (2020): pp. 4-16 (In Russ.).
4. Kolupaev Yu.E., Karpec Yu.V. *Aktivnye formy kisloroda, antioksidanty i ustojčivost' rastenij k dejstvuju stressorov* [Reactive oxygen species, antioxidants and plant resistance to stressors]. Kiev, Logos Publ., 2019. 277 p (In Russ.).
5. Nazarov A.V., Ilarionov S.A. [Studying the causes of phytotoxicity of oil-contaminated soils]. *Pis'ma v Meždunarodnyj naučnyj žurnal "Al'ternativnaja ěnergetika i ěkologiya"*. No 1 (2005): pp. 60-65. (In Russ.).

6. Eremchenko O.Z., Mitrakova N.V. *Sposob ocenki biologicheskoj aktivnosti i toksichnosti pochv i tekhnogennyh pochvogruntov* [A method for assessing the biological activity and toxicity of soils and technogenic soils]. Patent RU2620555C1 Russian Federation. 26.05.2017. (In Russ.).

7. Kasatkin M.Yu. et al., comp. *Praktikum po fiziologii rastenij* [Workshop on plant physiology. Study guide]. Saratov, 2016, pp. 45-47. (In Russ.).

8. Chernyakhovsky E.R. et al. [The use of various technologies in the elimination of the consequences of emergency oil spills, petroleum products and products of oil-containing waste processing]. *Problemy bezopasnosti i črezvyčajnykh situacij*. No 6 (2004): pp. 27-29. (In Russ.).

9. Chugunova M.V., Mayachkina N.V., Bakina L.G., Kapel'kina L.P. [Features of oil biodegradation in soils of the North-West of Russia]. *Vestnik Nižegorodskogo universiteta im. N.I. Lobačevskogo*. No 5(1) (2011): pp. 110-117. (In Russ.).

10. Chupahina G.N., Maslennikov P.V. [Adaptation of plants to oil stress]. *Ėkologija*. No 5 (2004): pp. 330-335. (In Russ.).

11. Shafran S.A., Proshkin V.A. [The influence of agrochemical properties of soils of the Central district on the yield of grain crops]. *Agrochimija*. No 7 (2008): pp. 5-12. (In Russ.).

12. Shunel'ko E.V., Fedorova A.I. [Ecological assessment of urban soils and identification of the level of toxicity of heavy metals by biotesting]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografija i ėkologija*. No 1 (2002): pp. 93-104. (In Russ.).

13. Czerniawska-Kusza I. et al. Comparison of the Phytotoxkit microbiotest and chemical variables for toxicity evaluation of sediments. *Environmental Toxicology: An International Journal*. V. 21, No 4 (2006): pp. 367-372.

14. Haygarth P.M., Ritz K. The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services. *Land use policy*. V. 26 (2009): pp. S187-S197.

15. Lisovitskaya O.V., Terekhova V.A. Phytotesting: basic approaches, problems of the laboratory method and modern solutions. *Doklady po ėkologičeskomu počvovedeniju*. No 1 (2010): p. 13.

16. Nikitin E.D. et al. Development of the concept of the ecological functions of the soil cover and other geospheres. *Eurasian Soil Science*. V. 43, No 7 (2010): pp. 721-727.

17. Sujetovienė G., Griauslytė L. Toxicity Assessment of Roadside Soil Using Wild Oat (*Avenasativa* L.) and Cress (*Lepidium sativum* L.) Morphometric and Biochemical Parameters. *Environmental Research, Engineering & Management*. V. 46, No 4 (2008).

Статья поступила в редакцию 01.02.2022; одобрена после рецензирования 09.03.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 01.02.2022; approved after reviewing 09.03.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

О. З. Еремченко – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физиологии растений и экологии почв;

Р. В. Сапцын – аспирант кафедры физиологии растений и экологии почв;

Е. А. Ложкина – студент кафедры физиологии растений и экологии почв;

Е. В. Тыршу – студент кафедры физиологии растений и экологии почв.

Information about the authors

O. Z. Eremchenko, Doctor of Biology, PhD, professor, head of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology;

R. V. Sapsyn – postgraduate of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology;

E. A. Lozhkina – student of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology;

E. V. Tyrshu – student of the Department of Plant Physiology and Soil Ecology.

Вклад авторов:

Еремченко О.З. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Сапцын Р. В. – сбор полевого материала, написание исходного текста.

Ложкина Е. А. – получение лабораторного материала, статистическая обработка материала.

Тыршу Е. В. – получение лабораторного материала, оформление таблиц, рисунков.

Contribution of the authors:

Eremchenko O.Z. – scientific guidance; research concept; development of methodology; text revision; final conclusions.

Sapsyn R.V. – collection of field material, writing the original text.

Lozhkina E. A. – obtaining laboratory material, statistical processing of the material.

Tyrshu E.V. – obtaining laboratory material, designing tables, figures.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

МИКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 582.284

doi: 10.17072/1994-9952-2022-1-72-76

Инвентаризация грибов-макромицетов урбанизированных территорий Республики Башкортостан

Мария Владимировна Петрова¹

¹ Башкирский государственный университет, Стерлитамакский филиал, Стерлитамак, Россия, m.v.petrova@strbsu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9661-6472>

Аннотация. Приводятся результаты таксономического анализа микобиоты городов Республики Башкортостан (Стерлитамак, Салават, Ишимбай и Бирск). Выявлено 229 видов грибов-макромицетов, относящихся к двум отделам (*Ascomycota* и *Basidiomycota*), трем классам (*Sordariomycetes*, *Leotiomycetes*, *Pezizomycetes* и *Agaricomycetes*), 15 порядкам, 56 семействам и 93 родам. Состав ведущих семейств селитебной микобиоты в целом характерен для лесной зоны умеренного пояса Голарктического царства. Доминирующим семейством является *Russulaceae*, что говорит о бореальных и неморальных чертах микобиоты. Эколого-трофический анализ показал, что самой многочисленной является группа сапротрофов (135 видов, 58.95% от общего числа). На втором месте – группа симбиотрофов, включающая эктотрофных микоризообразователей (90, 39.3%). Меньше всего выявлено представителей из группы паразитов (4, 1.75%).

Ключевые слова: грибы-макромицеты, селитебная микобиота, Стерлитамак, Салават, Ишимбай, Бирск, Республика Башкортостан

Для цитирования: Петрова М. В. Инвентаризация грибов-макромицетов урбанизированных территорий Республики Башкортостан // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2022. Вып. 1. С. 72–76. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-72-76>.

MYCOLOGY

Original article

Inventory of macromycete fungi in urbanized territories of the Republic of Bashkortostan

Mariya V. Petrova¹

¹ Bashkir State University, Sterlitamak Branch, Sterlitamak, Russia, m.v.petrova@strbsu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9661-6472>

Abstract. The paper presents the results of taxonomic analysis of the mycobiota of the cities of the Republic of Bashkortostan (Sterlitamak, Salavat, Ishimbay and Birsks). As a result of the study, 229 species of macromycete fungi belonging to two departments were identified (*Ascomycota* and *Basidiomycota*), three classes (*Sordariomycetes*, *Leotiomycetes*, *Pezizomycetes* and *Agaricomycetes*), 15 orders, 56 families, and 93 genera. The composition of the leading families of residential mycobiota is generally typical of the temperate zone of the Holarctic Kingdom. The dominant family is *Russulaceae*, which indicates the boreal and immoral features of mycobiota. Ecological and trophic analysis showed that the group of saprotrophs is the most numerous (135 species, 58.95% of the total number). A group of symbiotrophs, including ectotrophic mycorrhizators (90, 39.3%) takes the second place. The smallest group contains representatives from the group of parasites (4, 1.75%).

Keywords: macrofungi, residential mycobiota, Sterlitamak, Salavat, Ishimbay, Birsks, Republic of Bashkortostan

For citation: Petrova M. V. [Inventory of macromycete fungi in urbanized territories of the Republic of Bashkortostan]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 1 (2022): pp. 72-76. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2022-1-72-76>.

Выявление природного разнообразия является неотъемлемой частью познания окружающего мира. И представители царства грибов также являются объектами изучения. Видовое разнообразие грибов и микологических группировок оказывает влияние на урбанизированные экосистемы, выполняя функции деструкторов, микоризообразователей и т.д.

Материал и методы

Микологические исследования городов Республики Башкортостан (РБ) были проведены с 2006 по 2020 гг. [Петрова, Михайлова, 2014; Михайлова, Петрова, 2014]. Территория района исследования представлена городами: Стерлитамак, Бирск, Салават и Ишимбай.

Природные условия исследованных городов примерно одинаковые и обусловлены их расположением в северо-лесостепной подзоне умеренного пояса Предуралья республики. Климат умеренный континентальный. Зима довольно холодная и снежная. Лето тёплое, иногда жаркое. Среднегодовая температура воздуха варьирует от 3.6 до 7.7°C. Относительная влажность воздуха 67.6–72.0. %. Преобладают западные и южные ветра. Координаты месторасположения г. Салават: (общая площадь 106.2 км²) – 53°22'00" с. ш. и 55°56'00" в. д.; г. Стерлитамак: (108.52 км²) – 53°38'00" с. ш. 55°57'00" в. д.; г. Ишимбай: (103.47 км²) – 53°27'00" с. ш. 56°02'00" в. д. и г. Бирска: (77.31 км²) – 55°42'11" с. ш. 55°54'27" в. д. [Башкортостан, 1996]. На территории городов Стерлитамак, Салават и Ишимбай расположены крупные предприятия, которые также влияют на общую экологическую обстановку. По сравнению с ними, промышленность в г. Бирске развита слабее. Положение городов представлено на карте-схеме (рис. 1.), подготовленной с использованием пакета программ Q-gis 2.18 [Свободная ..., 2020].

Исследование и сбор макромицетов проводили маршрутным методом. Были изучены как территории с высокой антропогенной нагрузкой (парки, скверы, аллеи, газоны), так и лесные массивы, а также посадки в промышленных зонах.

Хранение и обработку данных осуществляли с помощью авторской базы данных грибов-макромицетов [Петров, Петрова, 2015]. Для каждого вида была выверена номенклатура по базе данных Index Fungorum [2019].



Рис. 1. Карта-схема района исследования
[A schematic map of the studied area]

Результаты исследования

Всего на территории четырех исследованных городов было выявлено 229 видов грибов-макромицетов, относящихся к двум отделам (*Ascomycota* и *Basidiomycota*), двум подотделам (*Pezizomycotina* и *Agaricomycotina*), трем классам (*Sordariomycetes*, *Leotiomycetes*, *Pezizomycetes* и *Agaricomycetes*), 6 подклассам (*Hypocreomycetidae*, *Leotiomycetidae*, *Pezizomycetidae*, *Agaricomycetidae*, *Auriculariomycetidae*, *Phallomycetidae*), 15 порядкам, 56 семействам и 93 родам. Видовая насыщенность микобиот городов достаточно высокая: в г. Стерлитамаке было обнаружено 145 видов (63.3%), г. Бирске – 106 (46.3%), г. Салавате – 82 (35.8%) и в г. Ишимбае – 56 (24.5%). Важно отметить, что микобиота городов складывается прежде всего под влиянием антропогенного фактора. Кроме того, важными показателями являются видовой состав и частота встречаемости. К группе, так называемых, «синантропных» макромицетов нами были отнесены 10 видов (4.4%): *Agaricus arvensis*, *Agaricus campestris*, *Boletus subtomentosus*, *Coprinus micaceus*, *Fomes fomentarius*, *Ganoderma lipsiense*, *Gomphidius glutinosus*, *Lycoperdon perlatum*, *Paxillus involutus* и *Russula foetens*. Большинство из них действительно часто, обильно и повсеместно участвуют в сложении биоценозов в пределах городской черты.

Для того чтобы дать качественную оценку микобиоте урбанизированных территорий, нами был проведен таксономический анализ. Спектр ведущих семейств и родов района исследования определяли на основании числа видов в таксоне и процентного отношения от общего числа видов. Было выявлено 11 ведущих семейств (*Russulaceae*, *Agaricaceae*, *Tricholomataceae*, *Boletaceae*, *Polyporaceae*, *Strophariaceae*,

Amanitaceae, *Lycoperdaceae*, *Suillaceae*, *Hymenochaetaceae* и *Mycenaceae*), к которым относится 63.8% видов от общего числа (табл. 1). На долю остальных семейств приходится 36.2% всех видов. Среди них 9 двувидовых (7.9%) и 26 одновидовых (11.4%). Состав ведущих семейств селитебной микобиоты РБ в целом характерен для лесной зоны умеренного пояса Голарктического царства [Сержанина, 1977]. Доминирующим семейством является *Russulaceae*, что говорит о бореальных и неморальных чертах микобиоты. Наличие в списке ведущих семейств *Boletaceae*, *Amanitaceae* и *Suillaceae* подчеркивает неморальный характер микобиоты. Число ведущих родов в селитебной микобиоте изученных городов составляет 10 (*Russula*, *Lactarius*, *Boletus*, *Tricholoma*, *Agaricus*, *Amanita*, *Suillus*, *Coprinus*, *Mycena*, *Leccinum*) (табл. 2). Эти роды включают 87 видов (38%). Остальные 75 родов имеют невысокое видовое богатство. Из них 52 – одновидовые (22.7%). Анализ спектра ведущих родов показал бореальный (*Lactarius*, *Mycena*, *Clitocybe*, *Cortinarius*) и неморальный (*Russula*, *Amanita*) характер микофлоры.

Таблица 1

Ведущие семейства в микобиоте урбанизированных территорий
[Leading families in the mycobiota of urbanized territories]

№ ранга	Семейство	Число видов	% от общего числа видов
1	<i>Russulaceae</i>	28	12.2
2	<i>Agaricaceae</i>	22	9.6
3	<i>Tricholomataceae</i>	21	9.2
4	<i>Boletaceae</i>	18	7.9
5	<i>Polyporaceae</i>	15	6.6
6	<i>Strophariaceae</i>	9	3.9
7	<i>Amanitaceae</i>	7	3.1
8	<i>Lycoperdaceae</i>	7	3.1
9	<i>Suillaceae</i>	7	3.1
10	<i>Hymenochaetaceae</i>	6	2.6
11	<i>Mycenaceae</i>	6	2.6

Таблица 2

Ведущие роды в микобиоте урбанизированных территорий
[Leading genera in the mycobiota of urbanized territories]

№ ранга	Род	Число видов	% от общего числа видов
1	<i>Russula</i>	16	7.0
2	<i>Lactarius</i>	12	5.2
3	<i>Boletus</i>	11	4.8
4	<i>Tricholoma</i>	9	3.9
5	<i>Agaricus</i>	7	3.1
6	<i>Amanita</i>	7	3.1
7	<i>Suillus</i>	7	3.1
8	<i>Coprinus</i>	6	2.6
9	<i>Mycena</i>	6	2.6
10	<i>Leccinum</i>	6	2.6

На территории городов с высокой частотой встречаемости нами отмечены представители родов *Russula* (*Russula foetens*, *R. ochroleuca*, *R. vesca*), *Lactarius* (*Lactarius pubescens*, *L. controversus*), *Boletus* (*Boletus pascuus*, *B. rubellus*, *B. subtomentosus*), *Tricholoma* (*Tricholoma albobrunneum*, *T. populinum*, *T. terreum*), *Agaricus* (*Agaricus arvensis*, *A. bisporus*, *A. campestris*), *Marasmius* (*Marasmius oreades*, *M. rotula*), *Pleurotus* (*Pleurotus eryngii*, *P. salignus*), *Polyporus* (*Polyporus squamosus*), *Trametes* (*Trametes hirsuta*, *T. ochracea*, *T. pubescens*, *T. trogii*, *T. versicolor*), *Coprinus* (*Coprinus comatus*, *C. plicatilis*, *C. atramentarius*, *C. disseminatus*, *C. micaceus*), *Fomes* (*Fomes fomentarius*).

Аналогичные данные таксономического анализа были получены при изучении микобиоты таких городов, как Пермь, Тверь, Сургут, Абакан и др. [Переведенцева, Шилкова, 2013; Чупиков, 2014; Макарова и др., 2015; Курочкин, Медведев, 2015].

Для выявленных видов определена приоритетная эколого-трофическая группа (ЭТГ) и проведен анализ (рис. 2). Часть видов являются лабильными в отношении субстрата, и по литературным данным могут относиться к разным ЭТГ. В этом случае, мы ориентировались на собственные данные, полученные при обнаружении и сборе плодовых тел.

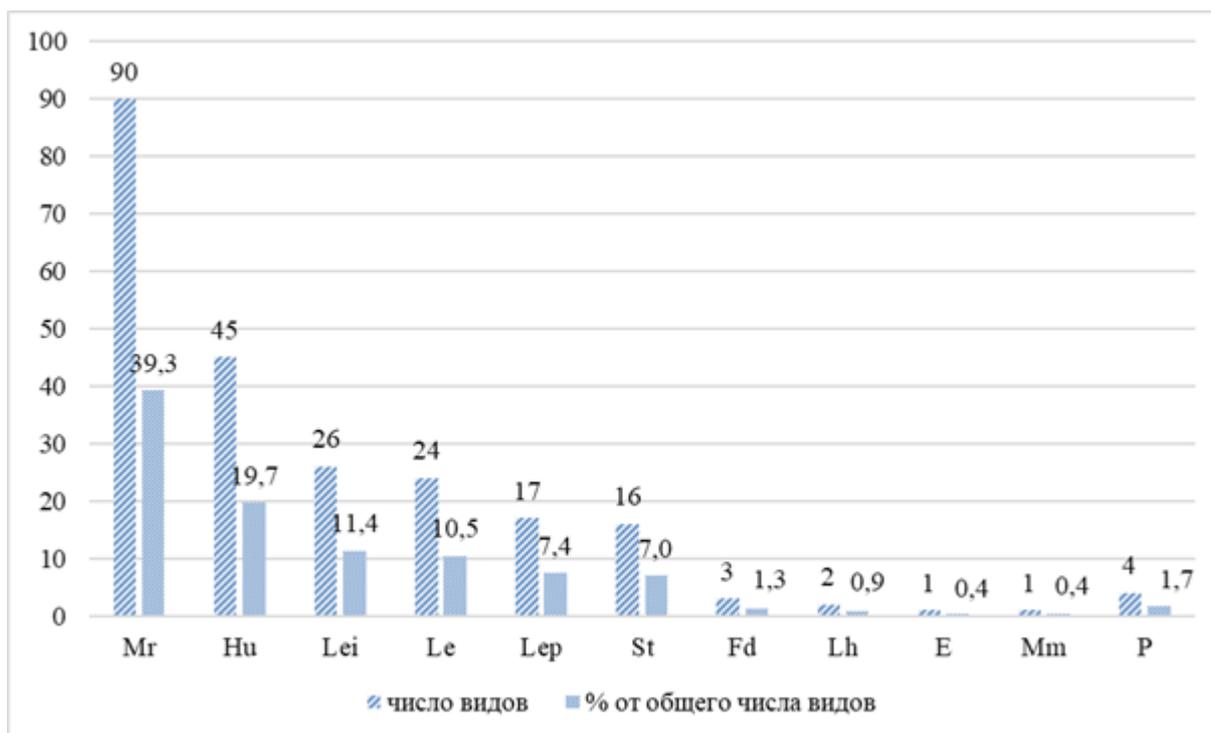


Рис. 2. Эколого-трофические группы урбанизированных территорий РБ (г. Стерлитамак, Салават, Ишимбай, Бирск);

Mr – микоризообразователи, Hu – гумусовые сапротрофы; Lei – сапротрофы на неразрушенной древесине; Le – сапротрофы на древесине; Lep – сапротрофы на разрушенной древесине; St – сапротрофы на подстилке; Fd – сапротрофы на опаде; Lh – сапротрофы на корнях и погребенной в почву древесине; E – сапротрофы на экскрементах; Mm – сапротрофы на плодовых телах макромицетов; P – факультативные паразиты на деревьях и кустарниках

[Ecological and trophic groups of urbanized territories of the Republic of Bashkortostan (Sterlitamak, Salavat, Ishimbay and Birk):

Note: Mr - mycorrhiza formers; Hu - humus saprotrophs; Lei - saprotrophs on undestroyed wood; Le - saprotrophs on wood; Lep - saprotrophs on destroyed wood; St - saprotrophs on soil litter; Fd - saprotrophs on litterfall; Lh - saprotrophs on roots and buried wood; E - saprotrophs on excrement; Mm - saprotrophs on fruiting bodies of macromycetes; P - facultative parasites on trees and shrubs]

Самой многочисленной является группа сапротрофов, использующих для жизнедеятельности различный субстрат (135 видов, 58.95% от общего числа). На втором месте – группа симбиотрофов, включающая эктотрофных микоризообразователей (90, 39.3%). Меньше всего выявлено представителей из группы паразитов (4, 1.75%). В целом, многие виды, выявленные на территории городов, являются экологически пластичными.

Список источников

1. Башкортостан. Краткая энциклопедия. Уфа: Башкирская энциклопедия, 1996. 672 с.
2. Курочкин С.А., Медведев А.Г. Грибы зеленых насаждений города Твери // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2015. № 2. С. 90–103.
3. Макарова Т.А. и др. Шляпочные макромицеты и их фитоценоотическое распределение на территории г. Сургута и его окрестностей // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. С. 586.
4. Михайлова В.А., Петрова М.В. Видовой состав грибов-макромицетов как показатель общего экологического состояния г. Салават и Стерлитамак // Чувашская историческая школа на рубеже XX–XXI веков: теория и практика: сб. науч. ст. Чебоксары, 2014. С. 143.
5. Переведенцева Л.Г., Шилкова Т.А. Микоризные агариикоидные базидиомицеты лесопарка «Черняевский» (г. Пермь) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2013. Вып. 3. С. 31–33.
6. Петров А.Е., Петрова М.В. Перспективы изучения селитибной микобиоты и создание общей базы данных для городов Республики Башкортостан // Современные проблемы и перспективы развития техники и технологии: сб. материалов Междунар. заоч. науч.-практ. конф. Стерлитамак; Актобе, 2015. 268 с.

7. Петрова М.В., Михайлова В.А. Сравнительная характеристика грибов макромицетов городов Стерлитамак и Бирск Республики Башкортостан // Проблемы и достижения современной науки: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2014. Ч. 1. С. 9.
8. Свободная географическая информационная система с открытым кодом URL: <http://www.qgis.org>. (дата обращения: 05.12.2020).
9. Сержанина Г.И. Опыт микоценологического анализа лесных фитоценозов // Доклады АН БССР. 1977. Т. 22, № 5. С. 460–462.
10. Чупиков А.А. Базидиальные макромицеты урбанизированных территорий города Абакана и его окрестностей // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Абакан, 2014. Т. 1. С. 50–51.
11. Index Fungorum. 2019. CABI Database. URL: <http://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 05.12.2020 г.).

References

1. *Baškortostan. Kratkaja ěnciklopedija* [Bashkortostan. A short encyclopedia]. Ufa: Baškirkajaja ěnciklopedija Publ., 1996. 672 p. (In Russ.).
2. Kurochkin S.A., Medvedev A.G. [Mushrooms of green spaces of the city of Tver]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Biologija i ěkologija*. No 2 (2015): pp. 90-103. (In Russ.).
3. Makarova T.A., Makarov P.N., Zvyagina E.A., Bobrikov A.A. [Hat macromycetes and their phytocenotic distribution on the territory of the city of Surgut and its environs]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. No 6 (2015): p. 586. (In Russ.).
4. Mihajlova V.A., Petrova M.V. [The species composition of macromycete fungi as an indicator of the general ecological state of the cities of Salavat and Sterlitamak]. *Ĉuvaškaja istoričeskaja škola na rubeže XX–XXI vekov: teorijha i praktika* [Chuvash historical school at the turn of the XX–XXI centuries: theory and practice: collection of scientific articles]. Cheboksary, 2014, p. 143. (In Russ.).
5. Perevedentseva L.G., Shilkova T.A. [Mycorrhizal Agarics of Chernyaevsky Forest Park (Perm)]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2013): pp. 31-33. (In Russ.).
6. Petrov A.E., Petrova M.V. [Prospects for the study of residential mycobiota and the creation of a common database for the cities of the Republic of Bashkortostan]. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitija tehniki i tehnologii* [Modern problems and prospects of technology and technology development: collection of materials of the International Correspondence Scientific and Practical Conference]. Sterlitamak, Aktobe Publ., 2015, 268 p. (In Russ.).
7. Petrova M.V., Mihajlova V.A. [Comparative characteristics of macromycete fungi of Sterlitamak and Birsk cities of the Republic of Bashkortostan]. *Problemy i dostiženija sovremennoj nauki* [Problems and achievements of modern science: materials of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, 2014, p. 9. (In Russ.).
8. Free geographic information system with open source. Available at: <http://www.qgis.org>. (accessed 05.12.2020)
9. Serzhanina G.I. [Experience of mycocenological analysis of forest phytocenoses]. *Doklady AN BSSR*. V. 22, No 5 (1977): pp. 460-462. (In Russ.).
10. Chupikov A.A. [Basidial macromycetes of urbanized territories of the city of Abakan and its environs]. *Ėkologija Južnoj Sibiri i sopredel'nych territorij* [Ecology of Southern Siberia and adjacent territories]. Abakan, 2014, V. 1, pp. 50-51. (In Russ.).
11. Index Fungorum. 2019. CABI Database. Available at: <http://www.indexfungorum.org> (accessed 05.12.2020).

Статья поступила в редакцию 11.01.2022; одобрена после рецензирования 08.02.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 11.01.2022; approved after reviewing 08.02.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторе

М. В. Петрова – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биологии.

Information about the author

M. V. Petrova - Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer.

ПЕРСОНАЛИИ

Памяти Евгении Ивановны Демьяновой
(16.04.1936-10.05.2020)

Сергей Анатольевич Шумихин¹✉, Наталья Леонидовна Шибанова²

^{1,2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

¹ botgard@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9428-2800>

² shibanova7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9404-6821>

PERSONALITIES

The memory of Evgenia I. Demyanova
(16.04.1936-10.05.2020)

Sergei A. Shumikhin¹✉, Natalya L. Shibanova²

^{1,2} Perm State University, Perm, Russia

¹ botgard@psu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9428-2800>

² shibanova7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9404-6821>

Прошло уже почти два года со дня смерти Евгении Ивановны Демьяновой, доктора биологических наук, профессора кафедры ботаники и генетики растений, заслуженного профессора Пермского государственного национального исследовательского университета. Ботаническая наука потеряла крупнейшего антэколога, учёного, который внёс значительный вклад в развитие научного направления кафедры по изучению особенностей цветения и опыления растений.

Евгения Ивановна Демьянова родилась 16 апреля 1936 г. в г. Осташкове Калининской (ныне Тверской) области. В 1960 г. она окончила биологический факультет Пермского государственного университета. После окончания университета Евгения Ивановна работала на кафедре морфологии и систематики растений в должности ассистента. В 1964 г. она поступила в аспирантуру при этой же кафедре.

В 1970 г. под руководством профессора А.Н. Пономарева Евгения Ивановна защитила кандидатскую диссертацию на тему «Антэкология маревых каменистой и солончаковой пустынь Юго-восточного Казахстана». В 1990 г. она защитила в МГУ докторскую диссертацию на тему «Половой полиморфизм цветковых растений». В 1993 г. ей было присвоено учёное звание профессора.

Вся трудовая деятельность Евгении Ивановны была связана с университетом. Она много лет читала лекции по дисциплине «Низшие растения», спецкурсам «Антэкология», «Ботаническое ресурсоведение», «Растительность страны». При этом учебный курс «Антэкология» был разработан Е.И. Демьяновой и впервые в нашей стране стал читаться в Пермском университете. Она проводила лабораторные и практические занятия, учебную и производственную практики, руководила выполнением выпускных квалификационных работ, магистерских диссертаций, участвовала в реализации программы подготовки ООП магистратуры «Ботаника». Евгения Ивановна отличалась высокой ответственностью и требовательностью по отношению к себе и другим при подготовке и проведении занятий.

Е.И. Демьянова написала оригинальные учебные пособия «Конспект флоры Троицкого лесостепного заповедника», «Антэкология» и «Ботаническое ресурсоведение», являлась одним из авторов фундамен-



тальной сводки «Жизнь растений», состоящей из шести томов, в которой ею совместно с А.Н. Пономаревым был написан раздел «Опыление растений». Евгения Ивановна принимала участие в подготовке и издании цикла работ «Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции» в трёх томах, который был переведён на английский язык и издан в 2010 г. в Нью-Йорке.

Главное направление научных исследований профессора Е.И. Демьяновой – антэкология (биология цветения и экология опыления растений). Её основные работы посвящены изучению полового полиморфизма цветковых растений (морфологические и антэкологические различия цветков разных половых форм у растений одного вида), половой структуры популяций гинодиэцичных, андродиэцичных и двудомных видов растений, обоснованию более глубокой, чем это считалось ранее, половой дифференциации покрытосеменных растений.

Е.И. Демьянова является автором более 120 научных и методических работ. В 1991 г. по результатам научно-исследовательской работы Евгения Ивановна стала лауреатом премии по науке Пермского университета. Являясь ведущим специалистом в области антэкологии, она неоднократно приглашалась с научными докладами на Международные молодёжные школы «Эмбриология, генетика и биотехнология» (г. Санкт-Петербург, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН).

Евгения Ивановна в течение нескольких лет возглавляла Пермское отделение Русского ботанического общества, была научным руководителем Троицкого учебно-опытного хозяйства Пермского университета и секретарем межвузовского сборника «Экология опыления»; активно работала в методической комиссии биологического факультета. С 1995 по 2015 гг. она была членом диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальностям «Ботаника» и «Экология», членом Учёного совета биологического факультета. За многолетнюю работу в Пермском университете и заслуги в учебной, научной и общественной деятельности в 2011 г. ей было присвоено звание «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», а в 2013 г. – звание заслуженного профессора Пермского университета.

С 1993 по 2011 гг. Евгения Ивановна являлась научным руководителем Учебного Ботанического сада им. профессора А.Г. Генкеля Пермского государственного университета, где снискала глубокое уважение и любовь со стороны его сотрудников. При её непосредственном участии в ботаническом саду была разработана концепция экспозиционного комплекса открытого грунта, а также создана коллекция лекарственных и пряно-ароматических растений из семейств губоцветные, гвоздичные, зверобойные и бурачниковые.

Евгения Ивановна Демьянова была одним из лучших лекторов биологического факультета. Глубокое знание предмета, свободное владение терминологией, неизменное чувство такта и доброжелательность при общении с коллегами и студентами, сочетаемые с принципиальностью научных подходов, всегда вызывали у окружающих искреннее уважение.

Евгения Ивановна была внимательной, любящей женой, соратником и преданным другом В.А. Лыкова, а в дальнейшем А.Н. Пономарева, заботливой матерью и требовательной бабушкой для внуков. Её трудолюбие и уважение к людям труда, огромный жизненный опыт стали живым примером для её потомков и учеников.

Профессор Е.И. Демьянова навсегда останется в памяти коллег и всего научного сообщества как одна из основателей и наиболее ярких представителей отечественной школы антэкологии, блестящий учёный, наставник и глубоко порядочный искренний человек.

Список основных публикаций Е. И. Демьяновой

1980. Жизнь растений. М.: Просвещение, 1980. Т. 5, ч. 1. Цветковые растения. 430 с. (соавтор).
1990. Половой полиморфизм цветковых растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1990. 34 с.
1999. Конспект флоры Троицкого лесостепного заповедника. Пермь: Изд-во ПГУ, 1999. 51 с. (соавтор).
2000. Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции. Т. 3. Система репродукции. СПб.: Мир и семья, 2000. 640 с. (соавтор).
2007. Ботаническое ресурсование: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь, 2007. 172 с.
2010. Антэкология: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь, 2010. 116 с.
2011. О постановке антэкологических наблюдений в условиях интродукции // Ботан. журн. Т. 96, № 8. С. 1127–1134.
Спектр половых типов и форм в локальных флорах Урала (Предуралья и Зауралья) // Ботан. журн. Т. 96, № 10. С. 1297–1315.
2012. О половой структуре популяций некоторых двудомных растений // Ботан. журн. Т. 97, № 9. С. 1163–1174.
Антэкология и семенная продуктивность некоторых двудомных растений в лесостепи Зауралья // Ботан. журн. Т. 97, № 12. С. 1533–1550.
2013. Половой полиморфизм некоторых степных растений центрально-черноземного заповедника // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. Вып. 2. С. 11–18.

О половом полиморфизме некоторых андродиэичных растений // Ботан. журн. Т. 98, № 9. С. 1139–1146.

О распространении гинодиэии у цветковых растений // Ботан. журн. Т. 98, № 12. С. 1465–1487 (соавтор).

2014. О системах скрещивания охраняемых цветковых растений Пермского края // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2014. Вып. 3. С. 4–18.

2019. О половом полиморфизме в роде *Nepeta* L. // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. Вып. 1. С. 12–20.

2020. О половом полиморфизме в роде *Prunella* L. // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. Вып. 2. С. 78–86.

Статья поступила в редакцию 02.03.2022; одобрена после рецензирования 09.03.2022; принята к публикации 14.03.2022.

The article was submitted 02.03.2022; approved after reviewing 09.03.2022; accepted for publication 14.03.2022.

Информация об авторах

С.А. Шумихин – канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники и генетики растений, директор Учебного ботанического сада им. проф. А.Г. Генкеля;

Н.Л. Шибанова – канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники и генетики растений.

Information about the authors

S A. Shumikhin – candidate of biological sciences, associate professor of the Department of botany and plant genetics, Director of the prof. A.G. Genkel botanical garden;

N. L. Shibanova – candidate of biological sciences, associate professor of the Department of botany and plant genetics.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ ИХ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ПЕРМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ БИОЛОГИЯ»

Редакционная коллегия научного журнала «Вестник Пермского университета. Серия Биология» просит авторов руководствоваться ГОСТ Р 7.0.7–2021 при подготовке рукописи к печати.

1. Оформление рукописи

1.1. Статья должна быть представлена в электронном виде (на диске или по электронной почте) и обязательно в виде распечатанной на принтере копии формата А4. Электронная версия записывается в формате Microsoft Word (версии **6.0, 7.0, 97, 2003**) или RTF. Размеры верхнего и нижнего полей – 2.6 см, правого и левого – 2.5 см. Расстояние до верхнего и нижнего колонтитулов – 1.25 см. Шрифт Times New Roman. Межстрочный интервал – одинарный. Абзацный отступ – 0.5 см. При оформлении статьи необходимо различать дефис (-) и тире (–). В качестве знака «минус» надо использовать тире, а в качестве разделителя в десятичных дробях – точку (а не запятую). В тексте статьи использовать кавычки «ёлочка». Переносы в словах делать только в тексте статьи, не допускаются переносы в названии статьи, заголовках всех уровней и названиях таблиц. Страницы должны иметь сквозную нумерацию.

1.2. Статьи без списка процитированной литературы не рассматриваются. Список цитированной литературы должен включать, как правило, не менее 10–15 публикаций. Коэффициент самоцитирования не должен превышать 30%.

1.3. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы автором (авторами). При этом материал должен быть структурирован, изложен ясно и последовательно.

1.4. Рукопись статьи должна быть подписана авторами.

1.5. Объём рукописи статьи (включая таблицы, рисунки, подписи к рисункам, библиографический список) не должен быть более 15 с., для информационных публикаций и рецензий – 1–5 с., кратких сообщений – 1–3 с. Суммарный объём таблиц и рисунков не должен превышать 1/3 объёма статьи.

1.6. Общий порядок расположения частей статьи и их оформление (смотри образец):

- Раздел журнала.
- Тип статьи (научная, обзорная, редакционная,

статья, персоналии, рецензия на книгу, рецензия на статью, краткое сообщение)

- УДК (размер шрифта 12, курсив).
- Название статьи (размер шрифта 14 полужирный, как в предложениях).
- Имя, отчество и фамилия автора (авторов) (размер шрифта 12, полужирный).
- Места работы авторов (размер шрифта 10 пт), электронная почта и ORCID (приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет»), адрес электронной почты (обязательно, одного из авторов указывают в качестве автора, ответственного за переписку).
- Аннотация (размер шрифта 10, объём до 250 слов; она должна включать краткую информацию о целях, объекте и методах исследования, краткие результаты и заключение).
- Словосочетание «Ключевые слова» (размер шрифта 10, полужирный курсив), сами ключевые слова (до 15 слов, прямым светлым шрифтом) должны отделяться друг от друга запятой.
- Имя, отчество и фамилии, места работы авторов, название статьи, её аннотация и ключевые слова на английском языке должны полностью соответствовать шрифтам и объёму на русском языке.
- Текст статьи. В статьях экспериментального характера должны быть выделены разделы: **Введение** (можно без заголовка), **Материалы (или Объект) и методы исследований, Результаты и их обсуждение, Выводы (или Заключение)**. Набор текста статьи производится в одну колонку. Основной текст набирается шрифтом Times New Roman Суг, размер – 10 пт. Латинские названия таксонов (до семейства включительно) должны быть набраны *курсивом* (кроме авторов таксонов). Литературные ссылки даются на фамилии авторов и располагаются в хронологическом порядке.
- Заголовки разделов набрать в левый край, размер шрифта 12, полужирн. строчные. Заголовки подразделов, если таковые есть, набираются в левый край (размер шрифта 10, жирн. курсив).
- Благодарности и финансирование (размер шрифта 10).
- Список литературных источников (размер шрифта 10). Литературные источники в списке

приводятся по алфавиту; сначала на кириллице, затем на латинице; нумерация источников сквозная.

- Пристатейный список литературы на латинице (References), помещается сразу за Библиографическим списком, либо вместе с другой англоязычной частью, размещаемой за статьей. Не допускается смешивать русскоязычную и англоязычную часть в одной ссылке, точно также, как сокращать русскоязычный список литературных источников, перенося все англоязычные ссылки в References. Нумерация источников должна соответствовать русскоязычному списку.

- Поступила в редакцию (дата ставится ответственным редактором выпуска, размер шрифта 10).

- Ф.И.О. автора или всех авторов (полностью, без сокращений), учёная степень, учёное звание и должность каждого автора. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов. Этим сведениям предшествуют слова «Вклад авторов:» (“Contribution of the authors:”). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи

Оформление формул, рисунков и таблиц. Формулы набираются в редакторе Microsoft Equation с выравниванием по центру и пробелами сверху и снизу по 6 пт (номер формулы, если формул несколько, выравнивается по правому краю колонки). Размеры и начертание всех элементов формул должны быть одинаковыми с их представлением в тексте (основной размер 10 пт, индексы 7 пт, например, A_i). В тексте статьи и в математических уравнениях коэффициенты и аргументы функций набираются *наклонным* шрифтом, векторы – *наклонным жирным* шрифтом, цифры – обычным прямым шрифтом. Если уравнение не входит в одну строку, то его можно разбить на две или более строк. Химические символы и формулы набираются прямым шрифтом.

Таблицы и рисунки нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица и рисунок должны иметь свой заголовок. Надписи и подписи к таблицам и рисункам приводят на языке текста статьи и повторяют на английском языке. Заголовок таблицы обязателен и набирается полужирным строчным, размер шрифта 10 пт; текст таблицы набирается шрифтом размером 10 или 9 пт. Если в заголовке используются латинские названия таксонов, они набираются *курсивом*. Все столбцы должны иметь заголовки. Цифры в столбцах таблицы должны быть выровнены по точке десятичных дробей или по единице младшего разряда. Таблица может сопровождаться примечаниями. Таблицы в альбомном формате не допускаются.

Рисунки следует делать экономно, если они выполнены из отдельных элементов, то должны быть сгруппированы. Подписи к рисункам обязательны и набираются обычным прямым текстом размером

шрифта 10 пт; обозначения и примечание к рисунку – размер шрифта 9 пт. Названия таксонов в подписях даются только по латыни, *курсивом*. Оригиналы рисунков должны представлять собой файлы форматов gif, jpg либо tif. Авторам следует учесть, что в журнале не предусмотрена цветная печать, поэтому рисунки, как правило, должны быть монохромными. За потерю качества при типографской печати цветных оригиналов редакция ответственности не несёт.

Следует избегать прямого импорта диаграмм в электронный оригинал статьи из редактора MS Excel и ему подобных путём копирования и вставки. Не допускается вставка со связью с оригиналом. Данные диаграммы должны быть доработаны автором в графическом редакторе.

При использовании для создания в тексте статьи схем и диаграмм встроенного графического редактора MS Word по окончании работы над изображением обязательно группируйте все его объекты в формате gif, jpg либо tif. Рамки вокруг изображений, в т. ч. диаграмм и легенд диаграмм, не допускаются. Рекомендуется обращать особое внимание на контрастность рисунков во избежание потерь информации при печати. В случае недостаточной контрастности исходных материалов она может быть повышена в графическом редакторе. Следует избегать большого числа цветов (полутонов) на изображении, а также выбора близких тонов заливки рядом расположенных элементов изображения.

Единственный в статье рисунок (*или* единственная таблица) должен иметь только заголовок и не обозначаться как рис. 1 (*или* табл. 1).

Если таблица не помещается на одну страницу, то на следующей странице - «Продолжение (или Окончание) табл. 1».

Сокращения. Разрешаются лишь общепринятые сокращения - названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т.п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных. Названия учреждений при первом упоминании их в тексте даются полностью и сразу же в скобках приводится общепринятое сокращение; при повторных упоминаниях даётся сокращённое название учреждений. *Пример:* Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), повторно – ПГНИУ, в Гербарии ПГНИУ и т.д.

Благодарности. В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования научных исследований, если таковые имеются.

Оформление списка литературы. Убедительно просим при оформлении статей руководствоваться новыми правилами. Список литературы должен быть

оформлен строго в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Для связи библиографических ссылок с текстом статьи используют идентифицирующие сведения: фамилия автора (авторов) или название публикации, год издания, при необходимости страницу; отсылки в тексте заключают в квадратные скобки [Israeli, Shaffer, Lighthart, 1993, с. 142]. Названия периодических изданий **не сокращаются**. За правильность и полноту предоставления библиографических данных ответственность несёт автор.

Внимание! Единственным критерием для публикации в журнале «Вестник Пермского университета. Серия Биология» является научный уровень работы, выявляемый при её рецензировании. Журнал не взимает плату за публикацию статей с аспирантов и соискателей учёных степеней.

2. Представление и редакционная подготовка рукописи

Рукопись может быть представлена лично, прислана на почтовый адрес редакции или по электронной почте (vestnik_psu_bio@mail.ru). Рукопись регистрируется при получении ответственным секретарем журнала. К рукописи прикладывается **Лицензионный договор**.

Автором(ами) подписывается договор о согласии на использование статьи в открытой печати. Авторы гарантируют, что статья является оригинальным произведением, ранее не публиковалась, и они обладают исключительными авторскими правами на неё. Форма Лицензионного договора

находится на сайте журнала (<http://www.psu.ru/nauchnye-zhurnaly/series-biology>).

Статья аспиранта (без соавторов) должна иметь отзыв научного руководителя.

Вместе со статьей подается ее электронный вариант, названный по фамилии автора(ов), например, Иванов, Петров, Сидоров.doc. Для литературного и технического редактирования представляется печатный вариант статьи со всеми необходимыми элементами, с текстом, размещенным в одну колонку, отпечатанный 12 размером шрифта с межстрочным интервалом 1.5.

Рукопись должна быть тщательно выверена, отредактирована и подписана автором(ами).

После получения редакцией статьи, она направляется на рецензирование. При наличии замечаний к рукописи она отсылается автору (авторам) на доработку.

Рукописи рассматриваются в порядке их поступления в течение 1–6 месяцев в зависимости от сложности ситуации и объема работы.

После редакционной правки рукопись при необходимости возвращается автору для согласования (срок – не более 2 дней). После исправления всех замечаний автор подписывает статью к печати.

Для правильного оформления статьи используйте электронную форму настоящих правил последнего выпуска, выложенного на сайте журнала.

Редакционная коллегия

БОТАНИКА

УДК 581.9

Научная статья

Название статьи

И. И. Иванов¹, П. П. Петров², С. С. Сидоров³

¹✉ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² Московский государственный университет, Москва, Россия

³ Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь, Россия

Аннотация. В аннотации (реферате) отражается основное содержание статьи. Аннотация должна содержать не более 250 слов. Например: определён показатель жизнеспособности лиофилизированных культур *Rhodococcus* ssp. после длительного хранения, достаточный для восстановления клеточной популяции. Консервацию алканотрофных родококков рекомендовано производить в условиях предварительного их культивирования на питательных средах. Ключевых слов или словосочетаний должно быть не более 15; они должны отделяться друг от друга запятой, точка не ставится.

Ключевые слова: оформление, статья, правила

Благодарности: текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

BOTANY

Original article

The title of the article

I. I. Ivanov¹, P. P. Petrov², S. S. Sidorov³

¹✉ Perm State University, Perm, Russia

² Moscow State University, Moscow, Russia

³ Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch RAS, Perm, Russia

Viability level necessary to recover cell populations upon long-term storage was measured. It is recommended to preserve alkanotrophic rhodococci pre-cultivated on nutrient hydrocarbon-containing media. The duration of rhodococci storage could be increased using protectants. The most effective lyoprotectants are shown to be a sucrose-gelatine agar or gelatine agar supplemented with *Rhodococcus*-biosurfactants.

Key words: actinobacteria, *Rhodococcus*, biosurfactants

Acknowledgments: text. Text. Text. Text. Text. Text. Text. Text. Text.

Введение

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст [Автор, Автор, Автор, 2012; Автор, 2014].

Текст. Текст. Текст [Автор, Автор, Автор, 1992; Автор, 2001]. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Материал и методы исследования

Материал

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Методы исследования

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст [Автор, Автор, Автор, 1999; Author, 2012].

Текст. Текст. Текст [Author, Author, 1992; Автор, 2000]. Текст. Текст.

Результаты и их обсуждение

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст (рис. 1). Текст. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст (рис. 2, табл. 1). Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.
 Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст (формула 1)

$$a = \text{th } x + \int_a^b f(x)dx + \text{ch } x - 25 \sum_{i=1}^N k_i A_i . \quad (1)$$

где текст, текст, текст.

Текст. Текст. Текст. Текст (табл. 2). Текст. Текст. Текст. Текст.
 Текст. Текст. Текст. Текст (табл. 2). Текст. Текст. Текст. Текст.
 Текст. Текст. Текст [Author, 2010]. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

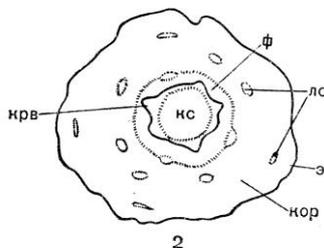


Рис. 1. Название рисунка:

кор – название, крв – название, кс – название, лс – название, ф – название, э – название

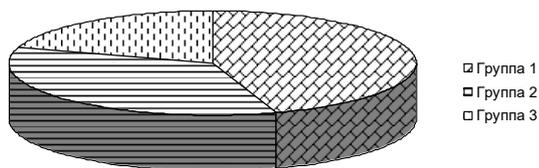


Рис. 2. Название рисунка:

1 – Группа 1 – название, 2 – Группа 2 – название, 3 – Группа 3 – название

Таблица 1

Пример оформления таблицы и заголовка к ней для объекта X

Область оценки	Дисперсия сигнала (D)	v (МГц)	Среднее
А	79	8.91*	5.6
Б	170	13.0	208.0
В	165	12.8	124.05

*Текст примечания.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Выводы (Заключение)

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Список источников

1. Автор И.О. Заголовок // Источник. Год публикации. Том, номер. Страницы.
2. Автор И.О., Автор И.О. Заголовок // Источник. Год публикации. Том, номер. Страницы.
3. Заголовок / Автор И.О. и др. // Источник. Место публикации, год публикации. Страницы.
4. Author N., Author N. Title // Place of publication. Year Published. Volume Number, Issue Number. Page Numbers.
5. Author N. Title // Place of publication, Year Published. Page Numbers.
6. Title // Place of publication, Year Published. Page Numbers.

References

1. Last Name, First Name. Title of Book. Publisher City: Publisher Name, Year Published. Page Numbers.

-
2. Last Name, First Name. [Title] *Journal Name* Volume Number, Issue Number (Year Published): Page Numbers. (In Russ.).
 3. Last Name, First Name. [Title] *Journal Name* Volume Number, Issue Number (Year Published): Page Numbers.
 4. Last Name, First Name. *Title of Book*. Publisher City: Publisher Name, Year Published. Page Numbers. (In Russ.).
- ...

Об авторах

Иванов Иван Иванович, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой Пермский государственный национальный исследовательский университет
ORCID: <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>
ivanovii@mail.ru; (342)2396233

Петров Петр Петрович, кандидат биологических наук, доцент Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
ORCID: <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>
PPetrov@yandex.ru; (095)3764812

Сидоров Семен Семенович, инженер Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН
ORCID: <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>
Sid709@iegm.ru; (342)2876328

Вклад авторов:

Иванов И. И. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Петров П. П. – доработка текста; итоговые выводы.

Сидоров С. С. – статистическая обработка материала.

Contribution of the authors:

Ivanov I. I. – scientific management; research concept; methodology development; writing the draft; final conclusions.

Petrov P.P. – followon revision of the text; final conclusions.

Sidorov S. S. – statistical processing of the material.

Поступила в редакцию 00.00.202_
About the authors

Ivanov Ivan Ivanovich, doctor of biology, professor, head of the Department Perm State University
ORCID: <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>
ivanovii@mail.ru; (342)2396233

Petrov Petr Petrovich, candidate of biology, associate professor Lomonosov Moscow State University
ORCID: <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>
PPetrov@yandex.ru; (095)3764812

Sidorov Semyon Semyonovich, engineer Institute of Ecology and Genetics of Microorganism UB RAS
ORCID: <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>
Sid709@iegm.ru; (342)2876328

Вестник Пермского университета
БИОЛОГИЯ
2022. Выпуск 1

Bulletin of Perm University
BIOLOGY
2022. Issue 1

Научное издание

Редактор *Л. Л. Савенкова*

Корректор *Л. Л. Соболева*

Компьютерная верстка *С. А. Овеснова*

Подписано в печать 14.03.2022. Выход в свет 15.04.2022. Формат 60×84¹/₈.
Усл. печ. л. 10,0. Тираж 500 экз. Заказ № 89/2022.

Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского
университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии издательства «Книжный формат»
614000, г. Пермь, ул. Пушкина, 80

Бесплатно.

Подписка на журнал осуществляется онлайн на сайте «Пресса России. Объединенный каталог»
<https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/e41000/>. Подписной индекс 41000