

ISSN: 2949-4710



РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева

**ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

**Выпуск 1
2023**

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

Выпуск

1

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Основан в 2023 году
4 номера в год

ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР: д.б.н., доцент **И.А. Савинов**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, профессор **В.И. Трухачев**;
доктор наук, PhD, профессор **Р. Валентини** (Италия); д.б.н., доцент **А.М. Абдуллаева**;
д.с.-х.н., профессор **С.Л. Белопухов**; д.с.-х.н., профессор **Г.И. Блохин**;
д.б.н., в.н.с. **И.А. Бондорина**; д.б.н., профессор **И.И. Васенев**; д.б.н., доцент **О.Ю. Васильева**;
д.б.н., доцент **В.Г. Вертипрахов**; д.б.н., доцент **Т.В. Денисова**; д.б.н., профессор **Ф.С. Джалилов**;
к.б.н., **М.Г. Дивашук**; д.с.-х.н., академик РАН, профессор **Н.Н. Дубенок**;
д.б.н., доцент **Е.В. Думачева**; д.б.н., профессор **Е.А. Калашникова**; д.б.н., в.н.с. **П.А. Каменский**;
д.б.н., академик РАН, профессор **Г.И. Карлов**; д.б.н., профессор **А.Н. Квочко**;
к.б.н., доцент **А.А. Кидов**; д.б.н., профессор **А.И. Ким**; д.б.н., доцент **А.В. Козлов**;
д.б.н., в.н.с. **А.А. Кособрюхов**; д.б.н., профессор **Н.М. Костомахин**; д.б.н., профессор **И.Б. Котова**;
д.б.н., доцент **Д.А. Ксенофонтов**; д.б.н., профессор **М.А. Мазиров**; д.б.н., профессор **Л.В. Маловичко**;
к.с.-х.н. **В.В. Малородов**; д.б.н., профессор **А.Г. Маннапов**;
д.б.н., академик МААО и РАЕ, профессор **Р.Т. Маннапова**; д.б.н., профессор **В.Д. Наумов**;
д.б.н., профессор **Н.Н. Новиков**; д.б.н., в.н.с. **К.С. Остренко**; д.б.н., профессор **Л.А. Паничкин**;
к.б.н., **О.Б. Поливанова**; д.б.н., профессор **В.В. Пыльнев**; д.б.н., академик РАН, г.н.с. **В.В. Рожнов**;
д.б.н., профессор **В.С. Рубец**; д.б.н., профессор **А.М. Русанов**; д.б.н., профессор **М.И. Селионова**;
к.б.н., доцент **О.В. Селицкая**; д.б.н., профессор **А.А. Соловьев**; к.б.н., доцент **Е.В. Соломонова**;
д.б.н., профессор **И.Г. Тараканов**; д.с.-х.н., с.н.с. **А.В. Ткачев**; к.б.н., доцент **М.Р. Халилуев**;
к.б.н., доцент **М.Ю. Чередниченко**; д.б.н., в.н.с. **А.В. Щербаков**;
д.с.-х.н., академик РАН, профессор **Ю.А. Юлдашбаев**

Редакция

Научный редактор – **М.А. Польшина**
Редактор – **В.И. Марковская**
Перевод на английский язык – **Н.А. Сергеева**
Компьютерная верстка – **А.С. Лаврова**

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

Issue

1

Founder and publisher:
Federal State Budget Establishment of Higher Education –
Russian Timiryazev State Agrarian University

Founded in 2023
Four issues per year

EDITOR-IN-CHIEF: Assoc. Prof. **Ivan A. Savinov**, DSc (Bio)

EDITORIAL BOARD:

Prof. **Vladimir I. Trukhachev**, DSc (Ag), DSc (Econ), Member of RAS;
Prof. Riccardo Valentini, DSc, PhD (Italy); Assoc. Prof. **Asiyat M. Abdullaeva**, DSc (Bio);
Prof. **Sergei L. Belopukhov**, DSc (Ag); Prof. **Gennadiy I. Blokhin**, DSc (Ag);
LRA **Irina A. Bondorina**, DSc (Bio); Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio);
Assoc. Prof. **Olga Yu. Vasilyeva**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Vladimir G. Vertiprakhov**, DSc (Bio);
Assoc. Prof. **Tatyana V. Denisova**, DSc (Bio); Prof. **Fevzi S. Dzhililov**, DSc (Bio);
Mikhail G. Divashuk, CSc (Bio); Prof. **Nikolay N. Dubenok**, DSc (Ag), Member of RAS;
Assoc. Prof. **Elena V. Dumacheva**, DSc (Bio); Prof. **Elena A. Kalashnikova**, DSc (Bio);
LRA **Piotr A. Kamenski**, DSc (Bio); Prof. **Gennady I. Karlov**, DSc (Bio), Member of RAS;
Prof. **Andrey N. Kvochko**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Artem A. Kidov**, CSc (Bio);
Prof. **Alexander I. Kim**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Andrey V. Kozlov**, DSc (Bio);
LRA **Anatoliy A. Kosobryukhov**, DSc (Bio); Prof. **Nikolay M. Kostomakhin**, DSc (Bio);
Prof. **Irina B. Kotova**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Dmitriy A. Ksenofontov**, DSc (Bio);
Prof. **Mikhail A. Mazirov**, DSc (Bio); Prof. **Lyubov V. Malovichko**, DSc (Bio);
Viktor V. Malorodov, CSc (Ag); Prof. **Alfir G. Mannapov**, DSc (Bio);
Prof. **Ramziya T. Mannapova**, DSc (Bio), Member of IAAO and RANH;
Prof. **Vladimir D. Naumov**, DSc (Bio); Prof. **Nicolai N. Novikov**, DSc (Bio);
LRA **Konstantin S. Ostrenko**, Prof. **Leonid A. Panichkin**, DSc (Bio);
Oksana B. Polivanova, CSc (Bio); Prof. **Vladimir V. Pylnev**, DSc (Bio);
ChRA **Viatcheslav V. Rozhnov**, DSc (Bio), Member of RAS; Prof. **Valentina S. Rubets**, DSc (Bio);
Prof. **Aleksandr M. Rusanov**, DSc (Bio); Prof. **Marina I. Selionova**, DSc (Bio);
Assoc. Prof. **Olga V. Selitskaya**, CSc (Bio); Prof. **Alexander A. Soloviev**, DSc (Bio);
Assoc. Prof. **Ekaterina V. Solomonova**, CSc (Bio); Prof. **Ivan G. Tarakanov**, DSc (Bio);
SRA **Aleksandr V. Tkachev**, DSc (Ag); Assoc. Prof. **Marat R. Khaliluev**, CSc (Bio);
Assoc. Prof. **Mikhail Yu. Cherednichenko**, CSc (Bio); LRA. **Andrey V. Shcherbakov**, DSc (Bio);
Prof. **Yusupzhan A. Yuldashbaev**, DSc (Ag), Member of RAS

Editorial staff

Scientific editor – **Marina A. Polshina**
Editor – **Vera I. Markovskaya**
Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**
Computer design and making-up – **Anneta S. Lavrova**

The journal is also included in Russian Science Citation Index (RSCI)

Редакторская заметка
УДК 070.1:070.19:57
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-5-7



Вступительное слово председателя редакционного совета и главного редактора

Владимир Иванович Трухачев, Иван Алексеевич Савинов

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Иван Алексеевич Савинов, i.savinov@rgau-msha.ru

Аннотация. Авторы статьи анонсируют новый российский научный электронный журнал – «Тимирязевский биологический журнал», хотя и созданный в 2023 г., однако имеющий более чем 150-летнюю историю. Важнейшей миссией журнала, по мнению авторов, является обеспечение высококвалифицированной информационной поддержки актуальных биологических исследований, для чего создана команда высококвалифицированных редакторов и рецензентов, которые являются экспертами в разных отраслях биологических наук. Авторы приглашают ученых, а также их молодых коллег, аспирантов и соискателей ученых степеней кандидата или доктора биологических наук к публикации в «Тимирязевский биологический журнал». Выражают также надежду на то, что в ближайшем будущем журнал станет важной площадкой для ученых-биологов по обмену актуальной научной информацией, который продолжит развивать традиции академической и прикладной науки, сложившиеся в стенах старейшего аграрного вуза России – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Ключевые слова: анонс журнала, новый научный журнал, биологические науки

Благодарности. Авторы выражают благодарность ученым, принявшим приглашение войти в состав редакционной коллегии журнала; рецензентам статей, которые вносят важный вклад в повышение качества научных материалов; авторам первого номера журнала, поддержавшим его выпуск и предоставившим материалы для публикации.

Для цитирования: Трухачев В.И., Савинов И.А. Вступительное слово председателя редакционного совета и главного редактора // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 5–7. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-5-7>

© Трухачев В.И., Савинов И.А.

Editorial note
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-5-7

Opening Remarks by the Chairman of the Editorial Board and Editor-In-Chief

Vladimir I. Trukhachev, Ivan A. Savinov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Ivan A. Savinov, i.savinov@rgau-msha.ru

Abstract. The authors of the article announce a new Russian scientific electronic journal “Timiryazev Biological Journal” founded in 2023, but having more than 150-year history. The most important mission of the journal, according to the authors, is to provide highly qualified information support to topical biological research, for which a solid team of editors and reviewers, who are experts in different branches of biological sciences, is created. The authors invite scientists as well as their young colleagues, post-graduates and PhD students to publish in the journal “Timiryazev Biological Journal”, and express the hope that in the near future the journal will become an important platform for biologists to exchange relevant scientific information, and continue to develop the traditions of academic and applied science, established in the walls of the oldest agrarian university In Russia Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

Keywords: journal announcement, new scientific journal, biological sciences

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the scientists who accepted the invitation to join the Editorial Board of the Journal; the reviewers of the articles, who make an important contribution to improving the quality of scientific materials; the authors of the first issue of the journal, who supported its publication and sent their articles for publication.

For citation: Trukhachev V.I., Savinov I.A. Opening Remarks by the Chairman of the Editorial Board and Editor-In-Chief // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:5–7. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-5-7>

Уважаемые коллеги, дорогие читатели!

Перед Вами первый номер нового сетевого российского научного журнала – «Тимирязевский биологический журнал», который учрежден Российским государственным аграрным университетом – МСХА имени К.А. Тимирязева с 2023 года. Однако история журнала уходит далеко за рамки года основания.

Ранее рубрики журнала являлись неотъемлемой частью другого научного журнала: «Известия Тимирязевский сельскохозяйственной академии», первого аграрного научного издания России, созданного на базе старейшего и ведущего сельскохозяйственного вуза страны – Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. На протяжении более чем 150-летнего существования Тимирязевки (год основания Тимирязевки – 1865) менялось название и вуза, и журнала. С 1878 по 1920 годы это были «Известия Петровской земледельческой и лесной академии» и «Известия Петровской сельскохозяйственной академии», а позже и по настоящее время – «Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии» («Известия ТСХА»).

До 2023 года журнал «Известия ТСХА» публиковал научные работы по четырем отраслям наук: сельскохозяйственным, техническим, экономическим и биологическим. Однако согласно требованиям Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации, введенным в 2014 года (приказ Минобрнауки России № 793 от 25 июля 2014 г.), научное периодическое издание может входить в перечень ВАК по одной или нескольким (до трех) отраслям наук. В связи с этим руководством университета было принято решение о создании нового научного журнала по биологическим наукам. Изначально журнал получил название «Известия Тимирязевский сельскохозяйственной академии. Биологические науки». Но голосованием редакционной коллегии, журналу решено дать более уникальное название «Тимирязевский биологический журнал». Уникальное название позволит новому журналу стать более узнаваемым, облегчит цитирования, а также журнал сможет эффективнее продвигаться в наукометрических базах.

Тимирязевский биологический журнал создан в форме сетевого издания. Сетевая форма наделяет журнал рядом преимуществ: во-первых, это больший объем каждой статьи по сравнению с традиционной печатной формой журнала (объем статьи ограничен только рамками разумного подхода к необходимому количеству материала для освещения исследования); во-вторых, неограниченный объем цветных иллюстраций и мультимедийных форм, приводимых в статьях; в-третьих, выпуски журнала могут формироваться постепенно, статьи выкладываются на сайт журнала по мере поступления и прохождения рецензирования; в-четвертых, срок публикации является более коротким, так как редакционный цикл сокращается за счет отсутствия этапа подготовки к типографским работам, печати, формирования тиража на бумажном носителе и рассылки экземпляров авторам. Немаловажным отличием от традиционной печатной формы научного журнала выступает доступ к статьям из любой точки мира, а также неограниченные возможности для распространения информации: статью, опубликованную в сетевом журнале открытого доступа, можно в считанные секунды отправить коллегам, выгрузить на сайт организации, разместить в социальных сетях и т.д.

Формат доступа к публикациям нашего журнала – Open access. Периодичность журнала – 4 выпуска в год, не менее 8 публикаций в каждом выпуске.

По нашему мнению, целевой аудиторией Тимирязевского биологического журнала являются научные и научно-педагогические работники, докторанты и аспиранты Российской академии наук, высших учебных заведений и организаций Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и специалисты организаций реального сектора экономики. Особое внимание уделяется публикациям молодых ученых, их поддержка является одним из наших приоритетов.

Важнейшей миссией Тимирязевского биологического журнала мы считаем обеспечение высококвалифицированной информационной поддержки актуальных биологических исследований. Для этого нами собрана команда высококвалифицированных редакторов и рецензентов. В состав редколлегии нашего журнала приглашены ведущие ученые, доктора биологических и сельскохозяйственных наук, академики РАН из РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, а также из МГУ имени М.В. Ломоносова, университета Тушия (Италия), Ставропольского государственного аграрного университета, Российского биотехнологического университета, Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной биотехнологии, Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, Пущинского научного центра биологических исследований РАН, Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Оренбургского государственного университета, Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН, Центрального сибирского ботанического сада СО РАН и др.

Тимирязевский биологический журнал принимает к публикации оригинальные научные статьи с результатами исследований и прикладными разработками, а также научные обзоры и краткие сообщения по отраслям биологических наук, соответствующие шифрам новой номенклатуры научных специальностей ВАК РФ: молекулярная биология (1.5.3), биохимия (1.5.4), физиология человека и животных (1.5.5), биотехнология (1.5.6), генетика (1.5.7), ботаника (1.5.9), микробиология (1.5.11), зоология (1.5.12), экология (1.5.15), почвоведение (1.5.19), биологические ресурсы (1.5.20), физиология и биохимия растений (1.5.21), а также землеустройство, кадастр и мониторинг земель (1.6.15).

Рубрикация Тимирязевского биологического журнала отражает не просто современные области науки о жизни – биологии, но и генеральные направления ее нынешнего развития, связанные с прорывными и передовыми технологиями, разработками новых подходов в биотехнологии, генетике, молекулярной биологии и биохимии, ботанике и зоологии, почвоведении, физиологии растений, животных и человека, микробиологии и смежных областях.

Насущной проблемой остаются поиск и охрана редких и исчезающих видов фауны и флоры, изучение и сохранение биоразнообразия в общем, ведение федеральной и региональных Красных книг, и здесь на помощь биологам приходят современные возможности, подходы компьютерного моделирования. Проблема изучения и сохранения генетических ресурсов планеты – еще один общебиологический вопрос, включающий в себя опыт создания и ведения банков семян, тканей, криобанков и пр. и исторически связанный в первую очередь с именем Николая Ивановича Вавилова – выпускника РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Эволюционная генетика человека – еще одно направление, получившая мировое признание буквально в прошлом году. Оно стало возможным за счет усовершенствования методов молекулярной диагностики и ПЦР-анализа.

Биология является фундаментальной базой для многих отраслей сельского хозяйства и аграрной науки в целом – таких, как ветеринария, общее земледелие, растениеводство, животноводство, агрохимия, плодоводство и овощеводство, садоводство, лесоводство, рыбоводство, селекция и др. Мониторинг ГМО-продукции – пример прикладного аспекта биологии, сохраняющего свою актуальность сегодня. В решении вопросов роста народонаселения и проблемы пищевых ресурсов одно из первых мест также принадлежит биологии.

Биокоммуникация – еще один пример передового направления современной биологии, которое изучается на всех уровнях организации живого в понимании русского ученого Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского: молекулярно-генетического, онтогенетического, популяционно-видового и биогеоценотического (биосферного), что характерно и для других разделов этой многогранной науки. В текущих условиях глобальных проблем остро стоит необходимость в изучении и развитии экологии, мониторинга земель и рационального земле- и природопользования, познании биологических ресурсов планеты.

Подытоживая современные тенденции развития биологии и человечества в целом, следует подчеркнуть, сколь много появилось в нашей жизни терминов, включающих в себя лингвистические компоненты «эко-» и «био-» и однозначно свидетельствующих о своего рода «знаке качества». Очевидно, что за этим будущее.

В настоящее время Тимирязевский биологический журнал индексируется Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Однако, мы нацелены в перспективе на индексацию в международных базах научного цитирования, а также в ближайшем будущем планируем войти в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, рекомендованных ВАК.

Приглашаем уже зрелых, состоявшихся ученых, а также их молодых коллег, аспирантов и соискателей ученых степеней кандидата или доктора биологических наук направлять свои рукописи в наш журнал. Надеемся, что Тимирязевский биологический журнал станет любимой площадкой для ученых-биологов при обмене актуальной научной информацией и продолжит развивать славные традиции академической и прикладной науки, сложившиеся в стенах РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

С уважением,
председатель редакционного совета журнала, академик
Владимир Иванович Трухачев;
главный редактор журнала, профессор
Иван Алексеевич Савинов

Сведения об авторах

Владимир Иванович Трухачев, председатель редакционного совета журнала, ректор РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, академик Российской академии наук, д-р с.-х. наук, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры кормления животных; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; rector@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4650-1893>.

Иван Алексеевич Савинов, главный редактор журнала, профессор кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, д-р биол. наук, доцент; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; i.savinov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8673-0052>.

About the authors

Vladimir I. Trukhachev, Chairman of the Editorial Board, Rector of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, RAS Academician (Full Member), DSc (Ag), DSc (Ec), Professor, Professor of the Department of Animal Feeding (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation); E-mail: rector@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4650-1893>.

Ivan A. Savinov, Editor-In-Chief, DSc (Bio), Associate Professor, Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation); E-mail: i.savinov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8673-0052>.

БОТАНИКА, БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Научная статья
 УДК 581.91:574.4(470-25)
 doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-8-14



Адвентивный компонент флоры Лесной опытной дачи Тимирязевской академии

Александр Вячеславович Лебедев, Владимир Викторович Гостев

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лебедев Александр Вячеславович, alebedev@rgau-msha.ru

Аннотация. В настоящее время большое внимание уделяется изучению адвентивного компонента флоры городских лесов, появление которого обусловлено антропогенным воздействием. Цель работы – оценить вклад адвентивных видов в многообразие флоры Лесной опытной дачи Тимирязевской академии. Выполнялось выделение адвентивных видов из актуального флористического списка Лесной опытной дачи. Установлено, что 99 видов сосудистых растений, относящихся к 66 родам и 34 семействам, являются адвентивными. Наибольшее количество адвентивных видов относится к отделу Magnoliophyta (91 вид). Среди семейств адвентивной фракции наиболее многоразнообразными являются Rosaceae (22 вида) и Aceraceae (10 видов). Доминирующее положение занимает род Acer, включающий в себя 10 адвентивных видов. Проведенный анализ флорогенетической структуры позволил установить, что большинство представителей адвентивной флоры выступают представителями североамериканской, европейской и европейско-западноазиатской флорогенетических групп. Это связано с проведением в Лесной опытной даче экспериментов по интродукции. Анализ распределения видов адвентивной флоры Лесной опытной дачи по жизненным формам указал на преобладание деревьев (38%) и кустарников (34%) над травянистыми растениями (28%). Установлено, что доля адвентивных видов во флоре составляет 28,1%. Это позволяет считать ее естественной и слабонарушенной, указывая на устойчивость растительных сообществ к агрессивной городской среде, несмотря на высокий уровень рекреационной нагрузки и загрязнения от автомобильного транспорта. Биогеоценозы Лесной опытной дачи продолжают сохранять признаки естественного объекта, которые соответствуют природным условиям Московского региона.

Ключевые слова: Москва, городские леса, Лесная опытная дача РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, биологическое разнообразие, флора городских лесов, сосудистые растения, адвентивные виды в городах

Для цитирования: Лебедев А.В., Гостев В.В. Адвентивные компоненты флоры Лесной опытной дачи Тимирязевской академии // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 8–14. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-8-14>

© Лебедев А.В., Гостев В.В.

BOTANY, BIOLOGICAL RESOURCES

Original article
 doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-8-14

Adventive Component of the Flora of the Forest Experimental Station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Aleksandr V. Lebedev, Vladimir V. Gostev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Aleksandr V. Lebedev, alebedev@rgau-msha.ru

Abstract. At present, much attention is paid to the study of the adventive component of the flora of urban forests, the appearance of which is due to anthropogenic impact. The aim of the work is to evaluate the contribution of alien species to the diversity of the flora of the Forest Experimental Station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Adventive species from the current floristic list of the Forest Experimental Station were identified. It was established that 99 vascular plant species belonging to 66 genera and 34 families are adventive. The largest number of these species belong to Magnoliophyta (91 species). Among the families of the adventive fraction, Rosaceae (22 species) and Aceraceae (10 species) are the most multispecies. The dominant position is occupied by the genus Acer, which includes 10 adventive species. The analysis of the florogenetic structure revealed that most of the representatives of the adventive flora are representatives of the North American, European and European-West Asian florogenetic groups. This is associated with the introduction experiments in the Forest Experimental Station. An analysis of the distribution of species of adventive flora of the Forest Experimental Station by life forms indicated the predominance of trees (38%) and shrubs (34%) over

herbaceous plants (28%). It was established that the proportion of adventive species in the flora is 28.1%, which allows it to be considered natural and slightly disturbed and indicates the resistance of plant communities to an aggressive urban environment despite the high level of recreational load and pollution from road transport. The biogeocoenoses of the Forest Experimental Station continue to retain signs of a natural object that correspond to the natural conditions of the Moscow region.

Key words: Moscow, urban forests, Experimental Forest Station, biological diversity, flora, vascular plants, adventive species

For citation: Lebedev A.V., Gostev V.V. Adventive Components of the Flora of the Forest Experimental Station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:8–14. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-8-14>

Введение

Человек интенсивно воздействует на живой напочвенный покров в пределах городов, формируя урбанизированную среду, что приводит к изменению видового состава растений. С повсеместным увеличением антропогенной нагрузки приобретает актуальность изучение изменения флористического состава в городах, в том числе в результате внедрения адвентивных видов [8, 9]. В зеленых зонах и городских лесах появляется все больше адвентивных видов растений, занимающих местообитания аборигенных видов и оказывающих существенное воздействие на биологическое разнообразие данной местности. Тем самым происходит расширение состава местной флоры [1]. Адвентивные виды реализуют адаптационные жизненные стратегии, что позволяет им конкурировать с аборигенными видами и расселяться во вторичных ареалах [10]. По наличию и особенностям адвентивных видов растений, а также по их соотношению с аборигенными видами возможно получение характеристики экологической ситуации растительных сообществ городских насаждений, определение степени деградации лесной среды [8]. Целью работы являлась оценка вклада адвентивных видов в многообразие флоры Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Методика исследований

Лесная опытная дача Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева расположена в Северном административной округе Москвы (рис. 1). Ее площадь составляет 248,7 га, в том числе лесопокрытая – 233,4 га (93,8%). Первое лесоустройство Лесной опытной дачи проведено в 1863 г А.Р. Варгасом де Бедемаром, после чего началось проведение лесохозяйственных мероприятий с закладкой лесоводственных опытов. В настоящее время в лесном фонде преобладающими являются насаждения сосны, лиственницы, березы и дуба, большая часть из которых относится к спелым и перестойным [3]. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами, различающимися по степени проявления дернового, подзолистого и глеевого процессов [7].

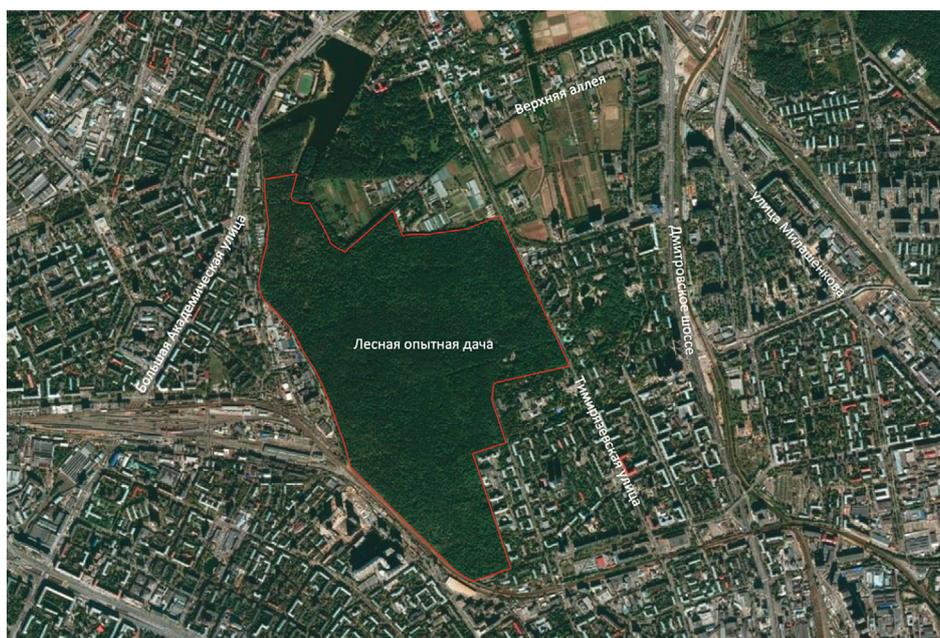


Рис. 1. Расположение Лесной опытной дачи

Материалы для формирования актуального флористического списка Лесной опытной дачи получены во время инвентаризаций постоянных пробных площадей за период с 2000 по 2022 гг., а также маршрутных обследований территории в 2019–2022 гг. Кроме того, использована выгрузка по сосудистым растениям из Глобальной информационной системы о биоразнообразии (GBIF) с 2000 г. [14], основу которой составили наблюдения, полученные с платформы iNaturalist [15]. Классификация растений принята по А. Энгеру в редакции «Флоры СССР». Названия видов выверены по С.К. Черепанову [11]. Подразделение видов сосудистых растений на аборигенные и адвентивные проводилось с учетом аннотированного списка, приведенного в монографии «Адвентивная флора Москвы и Московской области» [6].

Результаты и их обсуждение

Актуальный флористический список сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии насчитывает 352 вида, которые относятся к 202 родам и 68 семействам, входящим в 5 классов (*Equisetopsida*, *Polypodiopsida*, *Pinopsida*, *Liliopsida*, *Magnoliopsida*) и 4 отдела (*Equisetophyta*, *Polypodiophyta*, *Pinophyta*, *Magnoliophyta*). К наиболее представленному относится отдел *Magnoliophyta* (329 вида, или 94%). По данным литературы [12], флора Москвы включает в себя 1647 видов сосудистых растений, которые относятся к 640 родам и 136 семействам.

Таким образом, Лесная опытная дача является важным объектом сохранения и поддержания биологического разнообразия на покрытых лесом территориях города, а количество видов сосудистых растений составляет примерно 1/5 часть флоры Москвы.

Фракция адвентивных сосудистых растений во флоре Лесной опытной дачи насчитывает 99 видов, относящихся к 66 родам и 34 семействам. Таким образом, адвентивная флора составляет 28,1% от общего количества выявленных видов. Среднее количество видов в семействе составляет 2,9; среднее число родов в семействе – 1,9; среднее число видов в роде – 1,5. Распределение адвентивных видов по основным таксономическим группам представлено в таблице 1.

Наибольшее количество адвентивных видов относятся к отделу *Magnoliophyta* и классу *Magnoliopsida* (90% видов). Единственным представителем класса *Liliopsida* выступает вид *Hosta undulata* (Otto et A. Dietr.) L.H. Bailey, относящийся к семейству *Hostaceae*.

Соотношение числа видов семейств, особенно ведущих, относится к одной из важных характеристик флоры [5]. Среди семейств адвентивной фракции наиболее многовидовыми являются *Rosaceae* (22 вида), *Aceraceae* (10 видов), *Asteraceae* (7 видов), *Pinaceae* (7 видов). Значительно участие таких семейств, как *Apiaceae* (4 вида), *Berberidaceae* (3 вида), *Caprifoliaceae* (3 вида), *Grossulariaceae* (3 вида), *Juglandaceae* (3 вида), *Oleaceae* (3 вида) (табл. 2). Лидирующая роль таких семейств, как *Rosaceae*, *Aceraceae*, *Pinaceae*, *Berberidaceae*, *Oleaceae*, связана с проведением в Лесной опытной даче экспериментов по интродукции древесно-кустарниковых растений [4, 13], с посадками жителями близрасположенных районов и уходом из культуры.

Ведущие роды адвентивной флоры Лесной опытной дачи представлены в таблице 3. Доминирующее положение занимает род *Acer*, включающий в себя 10 видов (10,1%): *Acer barbinerve* Maxim., *A. campestre* L., *A. negundo* L., *A. pennsylvanicum* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. pseudosieboldianum* (Paxton) Kom., *A. saccharum* L., *A. sieboldianum* Miq., *A. tataricum* L., *A. tegmentosum* Maxim. На 2 и 3 местах находятся роды *Crataegus* и *Malus*, которые включают в себя по 4 вида (4,0%). К первому из них относятся такие виды, как *Crataegus flabellata* (Bosc ex Spach) C. Koch, *C. monogyna* Jacq., *C. sanguinea* Pall., *C. submollis* Sarg., ко второму – *Malus x astracantha* hort. ex Dum. – Cours., *M. domestica* Borkh., *M. prunifolia* (Willd.) Borkh., *M. x robusta* (Carr.) Rehder. Три вида (3,0%) насчитывает род *Symphotrichum* (*Symphotrichum novi-belgii* (L.) G.L. Nesom, *S. x salignum* (Willd.) G.L. Nesom, *S. x versicolor* (Willd.) G.L. Nesom). Остальные роды, представленные в таблице 3, включают в себя по 2 вида (2,0%).

Таблица 1

Отделы адвентивной флоры Лесной опытной дачи

Отдел, класс	Число видов		Число родов		Число семейств	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Pinophyta	8	8,1	6	9,1	2	5,9
Magnoliophyta	91	91,9	60	90,9	32	94,1
В том числе: кл. <i>Liliopsida</i>	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	2,9
кл. <i>Magnoliopsida</i>	90	90,9	59	89,4	31	91,2
Всего	99	100	66	100	34	100

Таблица 2

Ведущие семейства адвентивной флоры Лесной опытной дачи

Семейство	Ранг	Количество родов	% от всех родов	Количество видов	% от всех видов
Rosaceae	1	13	19,7	22	22,2
Aceraceae	2	1	1,5	10	10,1
Asteraceae	3–4	5	7,6	7	7,1
Pinaceae	3–4	5	7,6	7	7,1
Apiaceae	5	4	6,1	4	4,0
Berberidaceae	6–10	2	3,0	3	3,0
Caprifoliaceae	6–10	2	3,0	3	3,0
Grossulariaceae	6–10	2	3,0	3	3,0
Juglandaceae	6–10	2	3,0	3	3,0
Oleaceae	6–10	2	3,0	3	3,0

Таблица 3

Наиболее крупные по числу видов роды адвентивной флоры Лесной опытной дачи

Род	Число видов	% от всех видов
Acer	10	10,1
Crataegus	4	4,0
Malus	4	4,0
Symphotrichum	3	3,0
Amelanchier	2	2,0
Cerasus	2	2,0
Cornus	2	2,0
Euonymus	2	2,0
Impatiens	2	2,0
Juglans	2	2,0
Larix	2	2,0
Lonicera	2	2,0
Mahonia	2	2,0
Pinus	2	2,0
Prunus	2	2,0
Ribes	2	2,0
Symphytum	2	2,0
Syringia	2	2,0
Tilia	2	2,0
Ulmus	2	2,0

Для Лесной опытной дачи можно выделить следующие пути внедрения адвентивных видов сосудистых растений в аборигенную флору: 1) опыты по интродукции древесно-кустарниковых растений; 2) создание посадок декоративных растений жителями близрасположенных районов города; 3) случайно занесенные виды.

К первой группе относятся, например, такие виды, как *Pinus cembra* L., *P. strobus* L., *Pseudotsuga douglasii* (Lindl.) Carr., *Larix decidua* Mill., *Juglans mandshurica* Maxim., *Acer tegmentosum* Maxim., *Tsuga canadensis* Carr., *Aesculus hippocastanum* L., *Abies balsamea* (L.) Mill., *Fraxinus excelsior* L. и др. Группа декоративных видов включает в себя *Lunaria rediviva* L., *Hesperis matronalis* L., *Xanthoxalis fontana* (Bunge) Holub, *Symphytum caucasicum* M. Bieb., *Symphoricarpos albus* (L.) Blake, *Symphyotrichum novi-belgii* (L.) G.L. Nesom, *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Hosta undulata* (Otto et A. Dietr.) L.H. Bailey и др. К случайно занесенным можно отнести *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Fragaria x ananassa* (Weston) Duch. ex Rozier, *Cerasus vulgaris* Mill., *Prunus domestica* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronq. и др.

Анализ данных о флорогенетической структуре флоры адвентивных видов Лесной опытной дачи (табл. 4) позволяет судить о том, что большинство видов (23,2%) имеет североамериканское происхождение. К этому элементу флоры относятся *Quercus rubra* L., *Mahonia aquilifolium* Nutt., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim., *Acer negundo* L. и др.

Существенный вклад в формирование адвентивной флоры внесли представители европейской (16,2%) и европейско-западноазиатской (15,2%) флорогенетических групп. К первой группе относятся *Larix decidua* Mill., *Aquilegia vulgaris* L., *Ribes rubrum* L., *Tilia platyphyllos* Scop и др. Вторая группа включает в себя *Hesperis matronalis* L., *Crataegus sanguinea* Pall., *Euonymus verrucosa* Scop., *Fraxinus excelsior* L. и др. В культигенную флорогенетическую группу, составляющую 11,1% адвентивных видов Лесной дачи, входят *Tilia x europaea* L., *Symphyotrichum x salignum* (Willd.) G.L. Nesom, *Reynoutria x bohemica* Chrték et Chrtková и др. В целом можно отметить крайне незначительную долю растений из сибирской (2%), южноамериканской (2%) и западноевропейской групп (1%).

Анализ распределения адвентивных видов Лесной опытной дачи по жизненным формам (рис. 2) указал на преобладание деревьев (38%) и кустарников (34%) над травянистыми растениями (28%). Деревья представлены такими видами, как *Larix sibirica* Ledeb., *Thuja occidentalis* L., *Juglans mandshurica* Maxim., *Ulmus glabra* Huds. и др. Представителями адвентивной флоры среди кустарников выступают *Berberis vulgaris* L., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim., *Cerasus vulgaris* Mill., *Caragana arborescens* Lam. и др. К жизненной форме трав относятся виды: *Impatiens glandulifera* Royle, *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Symphytum caucasicum* M. Bieb., *Conyza canadensis* (L.) Cronq. и др.

Таблица 4

Флорогенетическая структура адвентивной флоры Лесной опытной дачи

Флорогенетическая группа	Число видов	% от всех видов
Азиатская	7	7,1
Восточноазиатская	10	10,1
Восточноевропейская	6	6,1
Европейская	16	16,2
Европейско-западноазиатская	15	15,2
Западноевропейская	1	1,0
Кавказская	3	3,0
Культигенная	11	11,1
Североамериканская	23	23,2
Сибирская	2	2,0
Средиземноморская	3	3,0
Южноамериканская	2	2,0
Итого	99	100,0

Таким образом, выполненный таксономический анализ современной адвентивной флоры Лесной опытной дачи показывает, что по соотношению между аборигенными и адвентивными видами биогеоценозы можно рассматривать как устойчивые к сложившемуся уровню антропогенной нагрузки. Это согласуется с результатами исследований, проведенных ранее Ю.В. Демидовым [2]. Доля адвентивных видов во флоре составляет 28,1%, что позволяет считать ее естественной и слабонарушенной. Поэтому несмотря на высокий уровень рекреации, загрязнений от автомобильного транспорта, растительные сообщества Лесной опытной дачи продолжают сохранять признаки естественного объекта, которые соответствуют природным условиям Московского региона.

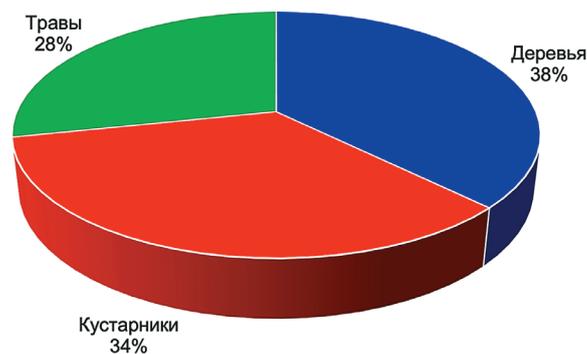


Рис. 2. Распределение видов адвентивной флоры Лесной опытной дачи по жизненным формам

Выводы

Таким образом, к адвентивному компоненту флоры Лесной опытной дачи Тимирязевской академии относятся 99 видов, что составляет 28,1% от общего числа сосудистых растений. Наиболее часто в качестве адвентивных видов встречаются представители североамериканской, европейской и европейско-западноазиатской флорогенетических групп, что связано с проведением в Лесной опытной даче экспериментов по интродукции древесно-кустарниковых растений и другими видами антропогенного воздействия. Преобладание аборигенных видов над адвентивными компонентами флоры позволяет судить об устойчивости растительных сообществ к агрессивной городской среде.

Список источников

1. Аистова Е.В. Конспект адвентивной флоры Амурской области // Turczaninowia. – 2009. – Т. 12, № 1–2. – С. 17–40.
2. Демидов Ю.В. Травяной напочвенный покров Лесной опытной дачи // Известия ТСХА. – 2006. – № 3. – С. 120–128.
3. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Динамика лесного фонда лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева за 150 лет // Известия ТСХА. – 2018. – № 4. – С. 5–19. doi: 10.26897/0021-342X-2018-4-5-19.
4. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – М.: Наука, 2020. – 382 с.
5. Лебедев А.В., Крилицын И.Г., Гостев В.В. Таксономическая структура флоры сосудистых растений заповедника «Кологривский лес» // Природообустройство. – 2022. – № 3. – С. 115–121. doi: 10.26897/1997-6011-2022-3-115-121.
6. Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербаков А.В. Адвентивная флора Москвы и Московской области. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 532 с.
7. Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Оценка гумусового состояния дерново-подзолистых почв Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. – 2019. – № 4. – С. 5–18. doi: 10.34677/0021-342-2019-4-5-18.
8. Раков Н.С. Адвентивная флора Ульяновской области и ее анализ // Репродуктивная биология, география и экология растений и сообществ Среднего Поволжья: Материалы Всероссийской научной конференции (Ульяновск, 27–29 ноября 2012 г.) / Под ред. С.Н. Опариной. – Ульяновск: УлГПУ им. И.Н. Ульянова, 2012. – С. 140–147.

References

1. Aistova E.V. Konspekt adventivnoy flory Amurskoy oblasti [Check-list of adventive flora of Amur region]. Turczaninowia. 2009; 12 (1–2): 17–40. (In Rus.).
2. Demidov Yu.V. Travyanoy napochvennyy pokrov Lesnoy opytnoy dachi [Grassy ground cover of the Forest Experimental Station]. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2006; 3: 120–128. (In Rus.).
3. Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. Dinamika lesnogo fonda lesnoy opytnoy dachi RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva za 150 let [Forest area dynamics of the Forest Experimental Station of RSAU-MTAA over 150 years]. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2018; 4: 5–19. doi: 10.26897/0021-342X-2018-4-5-19 (In Rus.).
4. Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. Rezul'taty eksperimental'nykh rabot za 150 let v Lesnoy opytnoy dache Timiryazevskoy sel'skokhozyajstvennoy akademii [The results of experimental work over 150 years at the Forest Experimental Station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy]. Moscow: Nauka, 2020: 328. (In Rus.).
5. Lebedev A.V., Krilitsyn I.G., Gostev V.V. Taksonomicheskaya struktura flory sosudistykh rasteniy zapovednika "Kologrivskiy les" [Taxonomic structure of the flora of vascular plants of the reserve "Kologrivsky forest"]. Prirodoobustroystvo. 2022; 3: 115–121. doi 10.26897/1997-6011-2022-3-115-121 (In Rus.).
6. Mayorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti [Adventive flora of Moscow and the Moscow region]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012. 412+120 (color). (In Rus.).
7. Naumov V.D., Povetkina N.D., Lebedev A.V., Gemonov A.V. Otsenka gumusovogo sostoyaniya dernovo-podzolistykh pochv Lesnoy opytnoy dachi RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva [Evaluating the humus status of sod-podzolic soils of the Forest Experimental Station of RSAU-MTAA]. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2019; 4: 5–18. doi: 10.34677/0021-342-2019-4-5-18 (In Rus.).
8. Rakov N.S. Adventivnaya flora Ul'yanskoyskoy oblasti i ee analiz [Adventive flora of the Ulyanovsk region and its analysis]. Reprodukivnaya biologiya, geografiya i ekologiya rasteniy i soobshchestv Srednego Povolzh'ya: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (Ul'yanskovsk, 27–29 noyabrya 2012 g.) / pod red. S.N. Oparinoy. Ulyanovsk: UIGPU im. I.N. Ul'yanova. 2012: 140–147. (In Rus.).

9. Третьякова А.С., Куликов П.В. Адвентивный компонент флоры Свердловской области: биоэкологические особенности // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2014. – № 1. – С. 57–67.

10. Фролов Д.А. Современное эколого-биологическое состояние адвентивной флоры бассейна реки Свияги // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8, № 2(27). – С. 71–75. doi: 10.24411/2309-4370-2019-12113.

11. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) // Санкт-Петербург: Мир и семья-95, 1995. – 990 с.

12. Швецов А.Н. Дикорастущая флора города Москвы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2008. – 23 с.

13. Эйтинген Г.Р. Лесная опытная дача 1865–1945. – М.: Государственное лесотехническое издательство, 1946. – 176 с.

14. GBIF.org (06 December 2022) GBIF Occurrence Download. doi: 10.15468/dl.nje3ma.

15. Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. et al. Flora of Russia on iNaturalist: a dataset // Biodiversity Data Journal. – 2020. – Vol. 8. – e59249. doi: 10.3897/BDJ.8.e59249.

9. Tret'yakova A.S., Kulikov P.V. Adventivnyy komponent flory Sverdlovskoy oblasti: bioekologicheskie osobennosti [Adventive component of the flora of the Sverdlovsk region: bioecological features]. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle. 2014; 1: 57–67. (In Rus.).

10. Frolov D.A. Sovremennoe ekologo-biologicheskoe sostoyanie adventivnoy flory basseyna reki Sviyagi [The current ecological and biological state of the adventive flora of the Sviyaga River basin]. Samarskiy nauchnyy vestnik. 2019; 8 (2(27)): 71–75. doi: 10.24411/2309-4370-2019-12113 (In Rus.).

11. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)]. Saint-Petersburg, 1995: 990. (In Rus.).

12. Shvetsov A.N. Dikorastushchaya flora goroda Moskvy [Wild flora of the city of Moscow]. Moscow, 2008: 23. (In Rus.).

13. Eytingen G.R. Lesnaya opytnaya dacha 1865–1945 [Forest Experimental Station 1865–1945]. Moscow: Gosudarstvennoe lesotekhnicheskoe izdatel'stvo, 1946: 176. (In Rus.).

14. GBIF.org (06 December 2022) GBIF Occurrence Download. doi: 10.15468/dl.nje3ma.

15. Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. et al. Flora of Russia on iNaturalist: a dataset. Biodiversity Data Journal. 2020; 8: e59249. doi: 10.3897/BDJ.8.e59249.

Сведения об авторах

Александр Вячеславович Лебедев, канд. с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; alebedev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>.

Владимир Викторович Гостев, ассистент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; vgostev@internet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6843-3422>.

About the authors

Aleksandr V. Lebedev, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Agricultural Meliorations, Forestry and Land Organization, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: alebedev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>.

Vladimir V. Gostev, Assistant of the Department of Agricultural Meliorations, Forestry and Land Organization, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: vgostev@internet.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6843-3422>.

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 582.26/.27
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-15-22



**Создание фотобиореактора для эффективного роста хлореллы
и изучение влияния спектрального состава света на ее биомассу**

*Юлия Александровна Дудина, Елена Анатольевна Калашникова,
Рима Нориковна Киракосян*

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Александровна Дудина; mabetta@mail.ru, dudina.biotech@gmail.com

Аннотация. Хлорелла – зеленая эукариотическая микроводоросль (*Chlorella vulgaris*). Микроскопическая клетка сферическая, диаметром 2–10 мкм. Данная микроводоросль – одна из наиболее важных и перспективных для производства биомассы. Хлореллу культивируют в прудах или биореакторах с заданными параметрами, создающими благоприятные условия для роста ее биомассы. Каждый набор условий создает предпосылки для изменения темпа роста и выхода отдельных продуктов. Объектом исследования служили два штамма хлореллы: 1 – с тонкой клеточной стенкой (*Chlorella vulgaris* ВКПМ А1-24); 2 – с толстой клеточной стенкой (*Chlorella vulgaris* Beijer). Культуру хлореллы культивировали на модифицированной питательной среде Тамия при температуре 24°C и круглосуточном освещении. Хлореллу выращивали в течение 5 сут. в колбах 1000 мл в светонепроницаемых грубобксах, в которых были установлены разные режимы освещения. Контрольный вариант выращивали в световой комнате с освещением белыми люминесцентными лампами с интенсивностью 150 мкмоль/м²с, также культуру выращивали в темноте. Проведенные лабораторные эксперименты, направленные на изучение влияния спектрального состава света на рост двух штаммов культуры хлореллы, позволили выявить некоторые закономерности: 1) наибольший прирост биомассы наблюдается при использовании освещения белыми люминесцентными лампами (Т = 2700К); 2) в случае использования ДК > К или ДК = К наблюдали ингибирующее их действие на рост изучаемых штаммов хлореллы. Кроме того, при определении оптической плотности культур были получены схожие результаты, которые свидетельствуют об одинаковом восприятии изучаемых штаммов хлореллы на действие различного спектрального состава света. Анализируя спектр поглощения, следует отметить, что он имеет непрерывный характер. Экспериментально установлено, что первый максимум расположен в красной области (от 660 до 690 нм), второй – в синей области (430 до 450 нм). Минимальное поглощение наблюдается в зеленой области света (500 до 610 нм).

Ключевые слова: хлорелла, биологически активные соединения, биотехнологические аспекты культивирования микроводорослей

Для цитирования: Дудина Ю.А., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н. Создание фотобиореактора для эффективного роста хлореллы и изучение влияния спектрального состава света на ее биомассу // Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Биологические науки. 2023. № 1. С. 15–22. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-15-22>

© Дудина Ю.А., Калашникова Е.А., Киракосян. Р.Н.

GENETICS, BIOTECHNOLOGY

Original article
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-15-22

**Creation of a Photobioreactor for the Effective Growth of *Chlorella*
and Study of the Effect of the Spectral Composition of Light on Its Biomass**

Yulia A. Dudina, Elena A. Kalashnikova, Rima N. Kirakosyan

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Yulia A. Dudina, mabetta@mail.ru, dudina.biotech@gmail.com

Abstract. *Chlorella* is a green eukaryotic microalga (*Chlorella vulgaris*). The microscopic cell is spherical, 2–10 μm in diameter. This microalga is one of the most important and promising for biomass production. *Chlorella* is cultivated in ponds or bioreactors with specified parameters that create favorable conditions for the growth of *chlorella* biomass. Each set of conditions creates the opportunities for changing the growth rate and output of individual products. Two strains of *chlorella* were the object of the study: 1 – *chlorella* with a thin cell wall (*Chlorella vulgaris* VKPM A1-24); 2 – *chlorella* with a thick cell wall (*Chlorella vulgaris* Beijer). The culture of *chlorella* was cultivated on modified Tamiya nutrient medium,

at 24°C and 24-hour illumination. It was cultivated for 5 days in 1000 ml flasks, in opaque grow boxes with different lighting regimes. The control variant was grown in a light room with white fluorescent lamps with an intensity of 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, and the culture was also grown in the dark. Laboratory experiments studying the effect of spectral composition of light on growth of two strains of chlorella culture allowed identifying some regularities: 1 – the largest increase in biomass is observed when using white fluorescent lamps ($T = 2700\text{K}$); 2 – in the case of using $\text{FR}>\text{R}$ or $\text{FR}=\text{R}$, their inhibitory effect on the growth of the studied strains of chlorella was observed. In addition, similar results were obtained when determining the optical density of the cultures, suggesting that the chlorella strains studied are similarly responsive to the action of different spectral compositions of light. Analyzing the absorption spectrum, it should be noted that it has a continuous character. It has been experimentally established that the first maximum is located in the red region (660 to 690 nm) and the second in the blue region (430 to 450 nm). The minimum absorption is observed in the green light region (500 to 610 nm).

Keywords: chlorella, biologically active compounds, biotechnological aspects of microalgae cultivation

For citation: Dudina Yu.A., Kalashnikova E.A., Kirakosyan R.N. Creation of a Photobioreactor for the Effective Growth of Chlorella and Study of the Effect of the Spectral Composition of Light on Its Biomass // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:15–22. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-15-22>

Введение

Хлорелла – зеленая эукариотическая микроводоросль (*Chlorella vulgaris*). Микроскопическая клетка сферическая, диаметром 2–10 мкм. Данная микроводоросль – одна из наиболее важных и перспективных для производства биомассы [4].

Хлорелла содержит пул биологически активных веществ: около 50% белка (включающего в себя незаменимые аминокислоты); комплекс незаменимых ненасыщенных жирных кислот (включая Омега-3); витамины (А, В1, В2, В3, В5, В6, Е), макро- и микроэлементы. Это создает предпосылки для ее коммерческого производства в целях использования в медицине, косметологии и ветеринарии. Кроме того, комплекс веществ, входящий в состав хлореллы, – в частности, антиоксиданты, провитамины, витамины и другие вещества, являются необходимым компонентом роста хлореллы (chlorella growth factor).

Пищевое производство активно использует хлореллу в виде суспензий, порошков и таблеток как в качестве добавок, так и в виде самостоятельных продуктов.

Учеными установлено, что хлорелла оказывает антиоксидантное, противовоспалительное, противомикробное и даже ранозаживляющее действие благодаря наличию данного пула биологически активных соединений [1].

Существуют исследования, касающиеся радиозащитных свойств микроводорослей при радиоактивном облучении модельных организмов. Показано, что включение в рационы кормления крыс водоросли хлореллы способствует повышению биохимических показателей сыворотки крови радиоактивно облученных животных [7].

В сельском хозяйстве хлореллу используют в технологиях кормления сельскохозяйственных животных. Даже при коммерчески приемлемом объеме добавок на основе хлореллы для кормления птицы, свиней и других видов сельскохозяйственных животных биомасса хлореллы может эффективно работать как кормовая добавка или замена дорогостоящих составных частей кормов. Важной предпосылкой для широкомасштабного использования биомассы водорослей в качестве кормовой добавки является продолжающееся удешевление технологических процессов.

В сфере экобиотехнологий хлорелла применяют для биоремедиации окружающей среды (водоемов).

Для производства биотоплива из хлореллы необходимо добиться определенного состава, так как содержание и качественный состав липидов являются важнейшими параметрами качества при создании данного вида топлива. В исследовании Mallick et al. (2012) ученые добились повышения липидного пула на 9% (до 55% сухой массы) [3].

Закрытые системы жизнеобеспечения, предназначенные для поддержания жизнедеятельности космонавтов, в том числе при полетах на дальние расстояния, разработаны на основе биореакторов, производящих микроводоросли, которые фильтруют отходы, затем используемые повторно. Эксперименты по созданию таких систем не раз проводились отечественными и зарубежными учеными с разной степенью успеха.

Культивирование хлореллы обычно происходит в специальных установках, биореакторах или искусственных водоемах. Каждый набор условий создает предпосылки для изменения темпа роста и выхода отдельных продуктов (например, липидов, как было указано выше).

Существуют данные о влиянии разных спектров в течение дня на рост культуры хлореллы [2, 8]. Например, активность роста хлореллы коррелировала с использованием разного спектрального состава света в определенные промежутки дня: синий спектр показывал наилучшее влияние утром, белый – днем, красный – вечером (рис. 1). Хлорелла, как было установлено, обладает фазами роста, и в определенное время суток ей необходимо определенное излучение. Использование этих данных может сократить затраты при промышленном производстве микроводорослей и повысить эффективность использования электроэнергии.

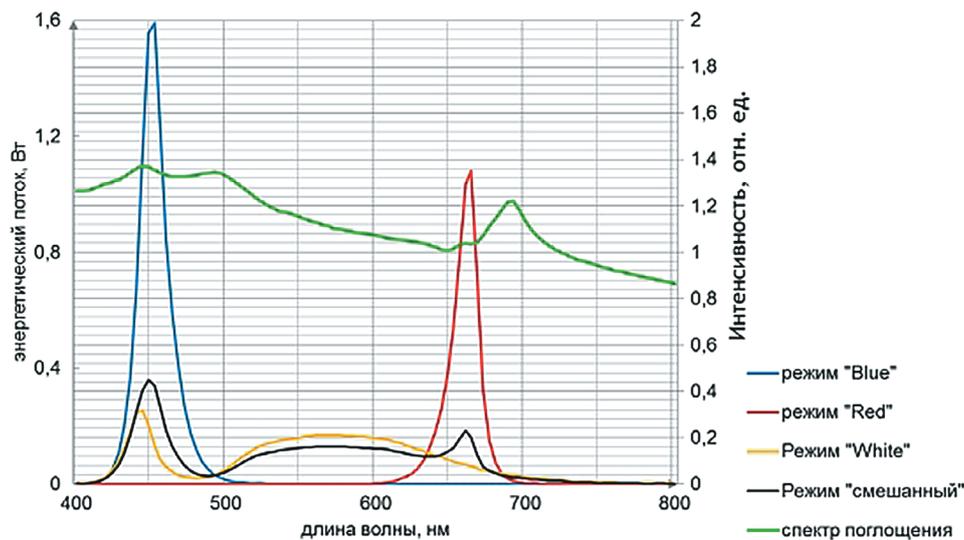


Рис. 1. Спектры облучения и поглощения хлореллы [8]

Таким образом, анализ современных научных данных литературы позволил нам заключить, что улучшение качества такой широко известной микроводоросли, как хлорелла, и наработка ее биомассы, включая исследования по контролю выхода отдельных компонентов, являются важными задачами биотехнологии. Хлорелла находит широкое применение в различных областях и сферах экономической деятельности человека: от сельского хозяйства до экологии и производства биотоплива. Поэтому необходимо постоянно совершенствовать технологии выращивания культуры хлореллы в закрытых системах и устанавливать оптимальные режимы ее выращивания.

Цель исследований: изучение влияния спектрального состава света на рост биомассы хлореллы и создание фотобиореактора для эффективного роста культуры.

Методика исследований

Объектом исследования служили два штамма хлореллы: 1 – с тонкой клеточной стенкой (*Chlorella vulgaris* ВКПМ А1-24); 2 – с толстой клеточной стенкой (*Chlorella Vulgaris* Beijer), предоставленные соответственно ООО «Альготек» и кафедрой гидробиологии МГУ им. М.В. Ломоносова [6].

Прототипы фотобиореактора для эффективного культивирования микроводоросли хлореллы были разработаны в рамках проекта «435nm» совместно с инженерами сообщества «Твой сектор космоса». Для формулировки и отработки гипотез были сконструированы экспериментальные стенды, а также прототипы самого фотобиореактора. За время исследований создано 4 прототипа фотобиореактора, которые были обозначены как 200, 401, 402 и 402.3.

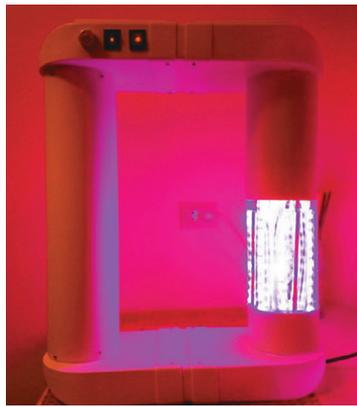
В каждом биореакторе были следующие блоки: корпус; рама; система циркуляции среды; система подачи среды; система регулирования кислотности среды; система измерения оптической плотности среды; система обеспечения температурного режима среды; система подачи газа; система управления газовым составом на входе; система измерения газового состава на выходе; система очистки полости фотобиореактора; система освещения; система управления; блок питания.

Фотобиореакторы по вариантам отличались по материалам, из которых был изготовлен корпус: оргстекло; фторопласт; алюминиевые сплавы; нержавеющая сталь (рис. 2).

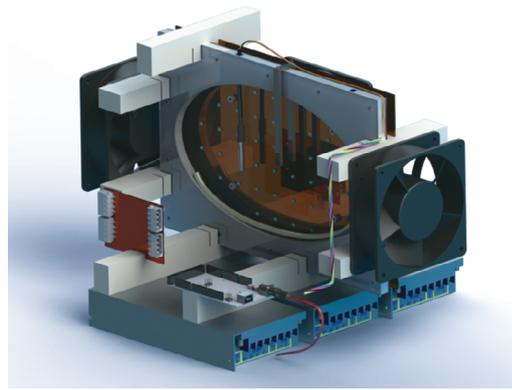
Культуру хлореллы культивировали на модифицированной питательной среде Тамия при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$ и круглосуточном освещении. Динамику роста хлореллы определяли с помощью датчиков оптической плотности, встроенных в фотобиореакторы.

Помимо создания прототипов фотобиореактора, изучено влияние различных источников света на биометрические показатели хлореллы в разных условиях выращивания. Хлореллу выращивали в колбах 1000 мл в светонепроницаемых грубококсах: Urban Grower $60 \times 60 \times 200$ см (Gorshkoff, Россия), в которых были установлены разные режимы освещения – соотношение красного (К) и дальнего красного света (ДК). Варианты освещения: 1 – $K/ДК = 1$, $PPFD = 142 (\pm 10)$ мкмоль/м²с ($K = ДК$); 2 – $K/ДК = 2$, $PPFD = 142 (\pm 10)$ мкмоль/м²с ($K > ДК$); 3 – $K/ДК = 1/2$, $PPFD = 142 (\pm 10)$ мкмоль/м²с ($ДК > K$). Контрольный вариант выращивали в световой комнате с освещением белыми люминесцентными лампами (марка «OSRAM AG», производство Германия) с интенсивностью 150 мкмоль/м²с, также выращивали культуру в темноте. Во всех вариантах культуру выращивали в течение 5 сут.

Оптическую плотность культуры хлореллы определяли в динамике на 1, 3 и 5 сутки на спектрофотометре Cary-50, Varian, США [9].



фотобиореактор «200»



фотобиореактор «401»



фотобиореактор «402»



фотобиореактор «403»

Рис. 2. Варианты фотобиореакторов

Для характеристики роста хлореллы в разных условиях освещения применяли два показателя: индекс роста (I) и удельную скорость роста (μ), которые рассчитывали по формулам:

$$I = \frac{X_{\max} - X_0}{X_0}, \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1}, \quad (2)$$

где X_{\max} и X_0 – максимальное и начальное значения оптической плотности, ед.; X_2 и X_1 – значение оптической плотности (мм) в момент времени t_2 и t_1 , сут., соответственно.

Исследования проводили в 3 биологических и 5 аналитических повторностях. Средние значения всех данных были рассчитаны с использованием Microsoft Excel 2013 (корпорация Microsoft, США). Дисперсионный анализ (ANOVA) проводился с использованием Statistica версии 10.0, а средние значения сравнивались с использованием критерия наименьшей значимой разницы Фишера (LSD) при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На основе проведенных исследований было установлено, что исследуемые фотобиореакторы не имеют окончательного технического решения для непрерывного выращивания культуры хлореллы. Все исследуемые фотобиореакторы имели недостатки: 1 – затрудненный доступ к подсистемам, приводящий к полному демонтажу системы и отключением-расстыковкой разъемов-шлангов; 2 – наличие застойных зон по причине неправильного расположения трубок подвода воздуха и системы циркуляции; 3 – светодиоды зарастали хлореллой, так как находились внутри фитобиореактора, что приводило к снижению их эффективности. Выявленные недостатки оказали отрицательное влияние на рост хлореллы. Как правило, уже на первые сутки с начала культивирования культура выпадала в осадок и прекращала свой рост. Анализ выявленных недостатков позволил нам сконструировать новый фотобиореактор «402.1», в условиях которого наблюдали активный рост хлореллы при длительном культивировании (рис. 3).

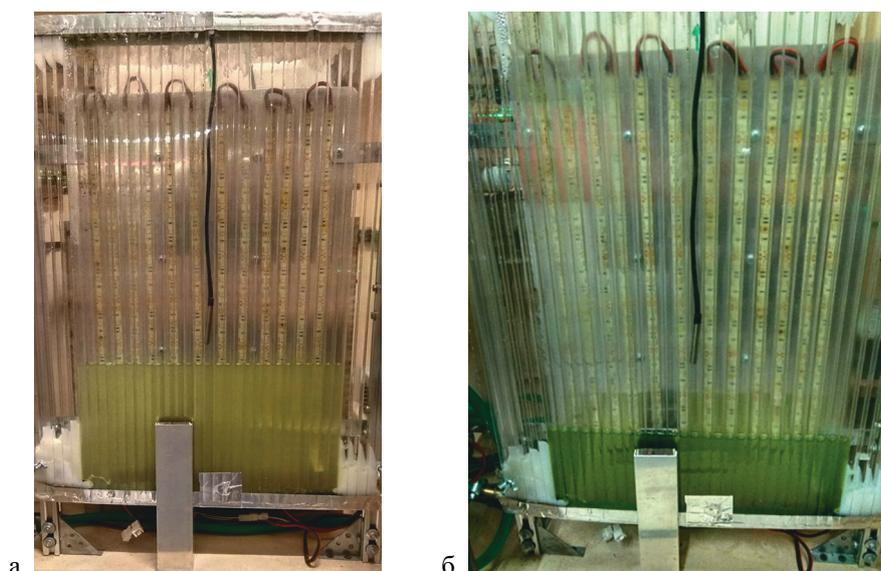


Рис. 3. Внешний вид фитобиореактора «402.1» с культурой хлореллы:
а – начало культивирования; б – конец культивирования

Проведенные лабораторные эксперименты, направленные на изучение влияния спектрального состава света на рост двух штаммов культуры хлореллы, позволили выявить некоторые закономерности: 1 – наибольший прирост биомассы наблюдается при использовании освещения белыми люминесцентными лампами ($T = 2700\text{K}$); 2 – в случае использования $\text{ДК} > \text{К}$ или $\text{ДК} = \text{К}$ наблюдали ингибирующее их действие на рост изучаемых штаммов хлореллы. Кроме того, при определении оптической плотности культур были получены схожие результаты, которые свидетельствуют об одинаковом восприятии изучаемых штаммов хлореллы на действие различного спектрального состава света.

Экспериментально установлено, что при культивировании хлореллы с толстой стенкой (*Chlorella vulgaris* Beijer) наибольший прирост наблюдался при ее выращивании в условиях освещения белыми люминесцентными лампами, наименьший – при использовании $\text{К} = \text{ДК}$ или $\text{ДК} > \text{К}$ (табл. 1).

На рисунке 4 представлена динамика роста хлореллы с толстой стенкой в зависимости от оптической плотности и длительности культивирования.

Анализируя спектр поглощения, следует отметить, что он имеет непрерывный характер. Однако при разной длине волны наблюдается появление двух пиков, в которых наблюдается максимальное поглощение квантов света. Экспериментально установлено, что первый максимум расположен в красной области (от 660 до 690 нм), второй – в синей области (430 до 450 нм). Минимальное поглощение наблюдается в зеленой области света (500 до 610 нм).

Полученные данные согласуются с результатами других авторов, свидетельствующих о том, что именно в этих областях света эффективность фотосинтеза является наибольшей (рис. 5).

Таблица 1

Результаты измерений оптической плотности, индекса роста (I) и удельной скорости роста (μ) суспензии хлореллы с толстой клеточной стенкой при использовании различных источников света

Тип освещения	При длине волны 440 нм					При длине волны 690 нм				
	D_0	D	$D-D_0$	I	μ	D_0	D	$D-D_0$	I	μ
СД, $T = 2700\text{K}$ контроль	0,515	2,811	2,296	4,45	0,42	0,458	2,492	2,029	4,43	0,42
$\text{К} = \text{ДК}$	0,527	1,634	1,107	2,10	0,28	0,472	1,510	1,039	2,20	0,29
$\text{К} > \text{ДК}$	0,523	1,898	1,375	2,62	0,32	0,464	1,666	1,202	2,59	0,32
$\text{ДК} > \text{К}$	0,530	1,654	1,124	2,12	0,28	0,474	1,467	0,994	2,10	0,28
темнота	0,526	0,463	-0,063	-0,12	-0,03	0,472	0,413	-0,059	-0,13	-0,03

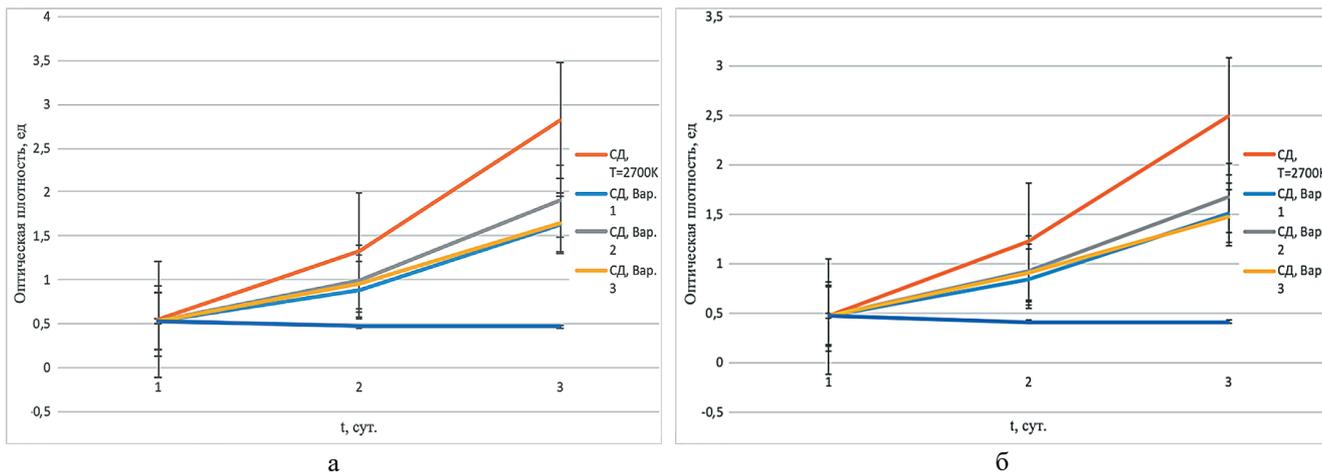


Рис. 4. Зависимость оптической плотности суспензии *Chlorella Vulgaris* Beijer от длительности культивирования: а – при $\lambda = 440$ нм; б – при 690 нм



Рис. 5. Зависимость оптической плотности культивируемой при освещении СД, Т = 2700К суспензии *Chlorella vulgaris* Beijer на 5-е сутки в диапазоне длин волн от 400 до 800 нм

Исследования, проведенные со штаммом хлореллы с тонкой стенкой (*Chlorella vulgaris* ВКПМ А1-24), показали схожие результаты со штаммом хлореллы с толстой стенкой. Наибольший прирост наблюдался при освещении белыми люминесцентными лампами, а минимальный – при использовании ДК > К (табл. 2).

На рисунке 6 представлена динамика роста тонкостенной хлореллы в зависимости от оптической плотности и длительности культивирования.

Спектр поглощения тонкостенной хлореллы аналогичен описанному выше и имеет два максимума: первый расположен в синей области (от 445 до 500 нм), второй – в красной области (от 670 до 690 нм) (рис. 7).

Таблица 2

Результаты измерений оптической плотности, индекса роста (I) и удельной скорости роста (μ) суспензии хлореллы с тонкой клеточной стенкой при использовании различных источников света

Тип освещения	При длине волны 440 нм					При длине волны 690 нм				
	D ₀	D	D-D ₀	I	μ	D ₀	D	D-D ₀	I	μ
СД, Т = 2700К контроль	0,317	1,742	1,425	4,50	0,43	0,269	1,605	1,336	4,97	0,45
К = ДК	0,384	0,895	0,511	1,33	0,21	0,333	0,881	0,549	1,65	0,24
К > ДК	0,442	1,195	0,753	1,70	0,25	0,391	1,068	0,678	1,73	0,25
ДК > К	0,377	0,725	0,349	0,93	0,16	0,323	0,709	0,387	1,20	0,20
темнота	0,368	0,596	0,229	0,62	0,12	0,334	0,492	0,158	0,47	0,10

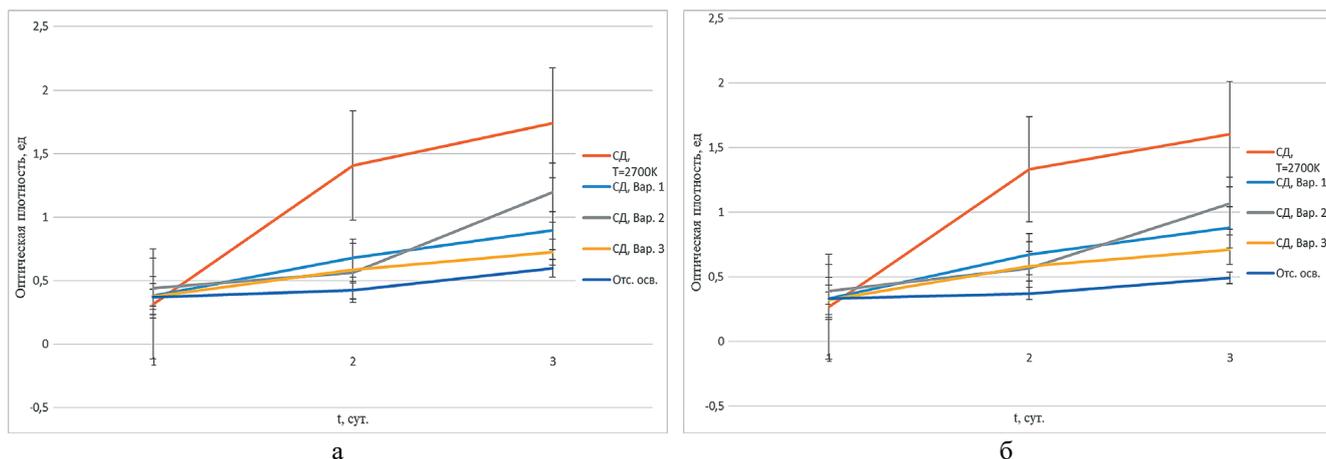


Рис. 6. Зависимость оптической плотности суспензии *Chlorella Vulgaris* ВКПМ А1-24 от длительности культивирования: а – при $\lambda = 440$ нм; б – при 690 нм

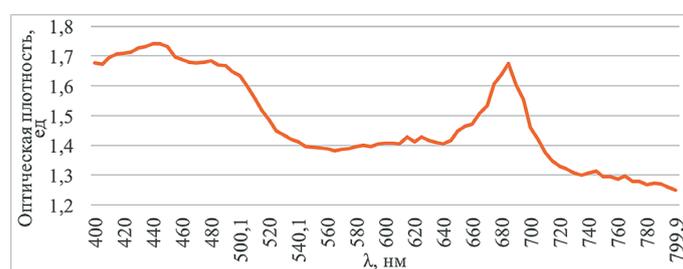


Рис. 7. Зависимость оптической плотности культивируемой при освещении СД, Т = 2700К суспензии *Chlorella vulgaris* ВКПМ А1-24 на 5-е сутки в диапазоне длин волн от 400 до 800 нм

Выводы

Хлорелла является актуальным объектом изучения в связи с ее широким использованием в различных областях народного хозяйства – таких, как сельское хозяйство, экология, производство биотоплива и другие, а также в связи с перспективами ее использования в космических биотехнологиях.

Созданные нами фотобиореакторы для роста хлореллы имели недостатки – такие, как затрудненный доступ к подсистемам, наличие застойных зон ввиду неправильного расположения трубок подвода воздуха и системы циркуляции, а также неправильное расположение светодиодов, которые зарастали хлореллой. Анализ этих недостатков позволил нам сконструировать новый фотобиореактор «402.1», в условиях которого наблюдался активный рост хлореллы при длительном культивировании.

Результаты измерений оптической плотности штамма хлореллы с толстой и тонкой клеточной стенкой позволили отметить, что наибольший прирост биомассы микроводоросли хлореллы наблюдается при применении белого люминесцентного освещения, а минимальный – при использовании К = ДК или ДК > К. Это противоречит большинству изученных источников, доказывающих положительное влияние красного спектра (в том числе дальнего красного) на рост биомассы хлореллы. В то же время наши данные подтверждают результаты, полученные другими авторами и свидетельствующие о том, что белый свет является оптимальным освещением для увеличения биомассы клеток.

Список источников

1. Andrade C.J., De Andrade L.M. An overview on the application of genus *Chlorella* in biotechnological processes // *Symbiosis*. – 2017. doi: 10.15226/2475–4714/2/1/00117.
2. Bialon J. Growth rates and photon efficiency of *Chlorella vulgaris* in relation to photon absorption rates under different LED-types / J. Bialon, T. Rath // *Algal Research*. – 2018. – V. 31. – Pp. 204–215. doi: 10.1016/j.algal.2018.02.007.
3. Mallick N., Mandal S., Singh A.K. et al. Green microalga *Chlorella vulgaris* as a potential feedstock for biodiesel // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*.

References

1. Andrade C.J., Andrade L.M. An overview on the application of genus *Chlorella* in biotechnological processes. *Symbiosis*. 2017. doi: 10.15226/2475–4714/2/1/00117.
2. Bialon J., Rath T. Growth rates and photon efficiency of *Chlorella vulgaris* in relation to photon absorption rates under different LED-types. *Algal Research*. 2018; 31: 204–215. doi: 10.1016/j.algal.2018.02.007.
3. Mallick N., Mandal S., Singh A.K. et al. Green microalga *Chlorella vulgaris* as a potential feedstock for biodiesel. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2012; 87: 137–145. doi: 10.1002/jctb.2694.

and Biotechnology. – 2012. – V. 87. – Pp. 137–145. doi: 10.1002/jctb.2694.

4. Yamamoto M., Kurihara I., Kawano S. Late type of daughter cell wall synthesis in one of the Chlorellaceae, *Parachlorella kessleri* (Chlorophyta, Trebouxiophyceae) // *Planta*. – 2005. – V. 221 (6) – Pp. 766–775. doi: 10.1007/s00425-005-1486-8.

5. Дудина Ю.А., Калашникова Е.А. Хлорелла как объект биотехнологии: способы культивирования и применение в сельском хозяйстве // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2019. – С. 222–225.

6. Лукьянов В.А. Микроводоросль *Chlorella vulgaris* Beijer – высокопродуктивный штамм для сельского хозяйства // Концепт: Научно-методический электронный журнал. – 2015. – Т. 13. – С. 1576–1580.

7. Петряков В.В. Ветеринарная оценка основных биохимических показателей сыворотки крови крыс под воздействием радиации при включении в рацион водоросли хлореллы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2017. – С. 144–145.

8. Трофимчук О.А. Влияние динамического и статического спектров излучения на прирост микроводоросли хлореллы // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017): Сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – С. 159–160.

9. Кочубей В.И. Определение концентрации веществ при помощи спектрофотометрии: Руководство к лабораторной работе. – Саратов, 2008. – 14 с.

4. Yamamoto M., Kurihara I., Kawano S. Late type of daughter cell wall synthesis in one of the *Chlorellaceae*, *Parachlorella kessleri* (Chlorophyta, Trebouxiophyceae). *Planta*. 2005; 221(6): 766–775. doi: 10.1007/s00425-005-1486-8.

5. Dudina Yu.A., Kalashnikova E.A. *Chlorella* как объект биотехнологии: способы культивирования и применение в сельском хозяйстве [Chlorella as a biotechnology object: cultivation methods and agricultural applications]. *Sb. statey po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Vklad molodykh uchenykh v innovatsionnoe razvitie APK Rossii”*. Penza. 2019: 222–225. (In Rus.).

6. Luk'yanov V.A., Stifeev A.I., Gorbunova S.Yu. *Mikrovodorosl' Shlorella vulgaris* Beijer – vysokoproduktivniy shtamm dlya sel'skogo khozyaystva [The microalgae *Chlorella vulgaris* Beijer as a highly productive strain for agriculture]. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal “Konsept”*. 2015; 13: 1576–1580. (In Rus.).

7. Petryakov V.V. Veterinarnaya otsenka osnovnykh biokhimi-cheskikh pokazateley syvorotki krovi krysa pod vozdeystviem radiatsii pri vkluchenii v ratsionny vodorosli khlorelly [Veterinary evaluation of basic biochemical indices of rat serum under the influence of radiation inclusion of chlorella algae in diets]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. Orenburg. 2017: 144–145. (In Rus.).

8. Trofimchuk O.A. Vliyanie dinamicheskogo i staticheskogo spektrov izlucheniya na prirost mikrovodorosli khlorelly [Effect of dynamic and static radiation spectra on the growth of the microalga *Chlorella*]. *Vysokie tekhnologii v sovremennoy nauke i tekhnike (VTSNT-2017)*, sb. nauchnykh trudov VI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. Tomsk: Izd-vo TPU. 2017: 159–160. (In Rus.).

9. Kochubey V.I. *Opreделение kontsentratsii veshchestv pri pomoshchi spektrofotometrii: ruk. k lab. rabote* [Determining the concentration of substances by spectrophotometry: handbook for laboratory work]. Saratov, 2008: 14. (In Rus.).

Сведения об авторах

Юлия Александровна Дудина, аспирант, кафедра биотехнологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: mabetta@mail.ru, dudina.biotech@gmail.com; тел.: +7(906)076-58-27; <https://orcid.org/0009-0009-1478-0523>.

Елена Анатольевна Калашникова, профессор, д-р биол. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: ekalashnikova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2655-1789>.

Рима Нориковна Киракосян, доцент, канд. биол. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: r.kirakosyan@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5244-4311>.

About the authors

Yulia A. Dudina, post-graduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: mabetta@mail.ru, dudina.biotech@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-1478-0523>.

Elena A. Kalashnikova, DSc (Bio), Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); <https://orcid.org/0000-0002-2655-1789>.

Rima N. Kirakosyan, CSc (Bio), Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); <https://orcid.org/0000-0002-5244-4311>.

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Научная статья
УДК 636.52/.58:636.083.1
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-23-28



Влияние неравномерности микроклимата в птичниках на респираторную систему сельскохозяйственной птицы

Виктор Викторович Малородов, Надежда Геннадьевна Черепанова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктор Викторович Малородов, malorodov@rgau-msha.ru

Аннотация. Дыхательная система птиц максимально приспособлена к высокой эффективности воздухообмена, необходимого для поддержания повышенного уровня обменных процессов. Слизь дыхательных путей играет важную роль в мукоцилиарном клиренсе. При нормальном состоянии дыхательной системы, без аллергических и воспалительных реакций увеличение количества слизи и структур, которые ее производят, может интерпретироваться как положительный факт, но слишком большое количество слизи может быть ответом на раздражение слизистой и способствует обструкции дыхательных путей. В результате двух исследований, повторяющих друг друга, подтверждена зависимость состояния стенки трахеи у бройлеров кросса Ross-308 от циркуляции воздуха в производственных помещениях. Обеспечение циркуляции воздушных потоков в залах выращивания птицы положительно влияет на гистологическую и гистохимическую структуру трахеи. В первом опыте об этом достоверно свидетельствует увеличение толщины эпителиального слоя в 1,3 раза (на 23,3%) и высоты ресничек в 3,1 раза (на 67,5%). Во втором опыте это подтверждается увеличением высоты эпителия на 40% и высоты слоя ресничек на 70%. Кроме того, гистологическая картина слизистой соответствует норме, отсутствуют нарушения целостности эпителия, реснички ровные, без деформаций и заломов. С обеспечением циркуляции воздушных потоков в закрытых помещениях в первом опыте толщина слизистой оболочки трахеи уменьшается в 2,6 раза (на 61,9%), а толщина собственной пластинки – в 2,9 раза (на 65,4%). Во втором опыте такая закономерность в собственной пластинке не обнаружена, но деструктивные изменения слизистой оболочки трахеи, увеличение количества гликопротеидов и протеогликанов в опытных группах подтверждают влияние фактора вентиляции.

Ключевые слова: респираторная система, вентиляция, микроклимат, птичник, бройлер, трахея, слизистая оболочка, слизь дыхательных путей, деструктивные изменения слизистой оболочки трахеи

Для цитирования: Малородов В.В., Черепанова Н.Г. Влияние неравномерности микроклимата в птичниках на респираторную систему сельскохозяйственной птицы // Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Биологические науки. 2023. № 1. С. 23–28. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-23-28>

© Малородов В.В., Черепанова Н.Г.

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-23-28

Effect of Uneven Microclimates in Poultry Yards on the Respiratory System of Poultry

Victor V. Malorodov, Nadezhda G. Cherepanova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Viktor V. Malorodov, malorodov@rgau-msha.ru

Abstract. The respiratory system of birds is maximally adapted to the high efficiency of air exchange necessary to maintain an increased level of metabolic processes. The mucus of the respiratory tract plays an important role in mucociliary clearance, in the normal state of the respiratory system, without allergic and inflammatory reactions, an increase in the amount of mucus and the structures that produce it can be interpreted as a positive fact, but too much mucus can be a response to mucosal irritation and contributes to airway obstruction. As a result of two studies repeating each other, the dependence of the state of the tracheal wall in Ross-308 cross broilers on air circulation in industrial premises was confirmed. Ensuring the circulation of air flows in poultry rearing halls has a positive effect on the histological and histochemical structure of the trachea. In the first experiment, this is reliably evidenced by an increase in the thickness of the epithelial layer by 1.3 times (by 23.3%) and the height of the cilia by 3.1 times (by 67.5%). In the second experiment, this is confirmed by an increase in the height of the epithelium by 40% and the height of the cilia layer by 70%. In addition, the histological picture of the mucosa corresponds to the norm, there are no violations of the integrity of the epithelium, the cilia are smooth, without

deformations and creases. With the provision of air circulation in closed rooms in the first experiment, the thickness of the tracheal mucosa decreases by 2.6 times (by 61.9%), and its own plate by 2.9 times (by 65.4%). In the second experiment, no such pattern was found in the own plate, but destructive changes in the tracheal mucosa, an increase in the number of glycoproteins and proteoglycans in the experimental groups confirm the influence of the ventilation factor.

Keywords: respiratory system; ventilation; microclimate; poultry; broiler; trachea; mucous membrane; airway mucus; destructive changes of tracheal mucosa

For citation: Malorodov V.V., Cherepanova N.G. Effect of Uneven Microclimates in Poultry Yards on the Respiratory System of Poultry // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:23–28. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-23-28>

Введение

В настоящее время ведутся исследования в области изучения морфогистологического строения и функционирования респираторной системы птиц [1, 2]. Дыхательная система птиц максимально приспособлена к высокому воздухообмену, необходимому для поддержания повышенного уровня обменных процессов. Она достаточно сложно устроена морфологически и имеет свои особенности [3].

Основные компоненты слизи, покрывающей эпителий дыхательных путей, продуцируются как бокаловидными клетками в пласте эпителия, так и в значительном количестве в экзоэпителиальных железах подслизистой [4]. У человека состав слизи достаточно хорошо изучен. Верхний слой представляет собой гель, а нижний (перифилиарный) слой – это жидкость. Гель на 90–95% состоит из воды, в которой присутствуют сывороточные белки, липиды и иммуноглобулины, около 3–5% приходится на муцины [5]. Муцины слизи являются высокомолекулярными сульфатированными гликопротеинами, которые на 70–80% состоят из углеводов, содержат 20% белков и 1–2% сульфатов, связанных с олигосахарами [6]. Поскольку слизь дыхательных путей играет важную роль в мукоцилиарном клиренсе, при нормальном состоянии дыхательной системы, без аллергических и воспалительных реакций увеличение количества слизи и структур, которые ее производят, может интерпретироваться как положительный факт [15]. Но слишком большое количество слизи может быть ответом на раздражение слизистой и способствует обструкции дыхательных путей [7].

Некоторые авторы отмечают значительное влияние температуры и влажности на скорость мукоцилиарного транспорта. Отмечается, что при 5°C реснички в трахее цыплят практически неподвижны, а при увеличении температуры скорость переноса частиц повышалась в два раза на каждые 10°C. При температуре от 20 до 45°C биение ресничек выходит на плато и остается в одинаковом состоянии.

Henning A. в своей работе отмечает, что снижение температуры ниже 20°C и повышение выше 45°C приводило к достоверному снижению скорости переноса частиц в трахее эмбрионов цыплят в эксперименте *in vitro*. Эти же исследования показывают, что изменение влажности с 99 до 60% не влияет на мукоцилиарный клиренс, но снижение этого показателя ниже 20% оказывает негативное влияние на его функционирование [8].

В ряду других абиотических факторов, влияющих на состояние дыхательных путей, следует отметить кормление [16]. Недостаток в рационе птиц витамина А приводит к уменьшению количества бокаловидных клеток, что уменьшает количество муцина на поверхности эпителия и подавляет иммунитет путем снижения концентрации иммуноглобулинов IgA [9]. Избыток витамина А также ингибирует синтез и секрецию слизи в трахее у кур [10].

Влияние загрязняющих веществ как химической, так и физической природы, на неспецифический механизм защиты слизистых оболочек дыхательных путей остается до настоящего времени не до конца изученным. В то же время есть данные, свидетельствующие о том, что такие внешние факторы могут оказывать непосредственное разрушающее влияние на реснитчатый эпителий и нарушать активность мукоцилиарного клиренса [11].

Известно, что внутренние органы птиц в ответ на изменения параметров микроклимата [12, 17, 18] или кормления [16] отвечают изменениями, которые можно проследить в тканях дыхательных путей, используя гистологические и гистохимические методы исследования.

С учетом того, что параметры воздуха производственных помещений оказывают влияние на формирование и функционирование дыхательной системы сельскохозяйственной птицы и, следовательно, на показатели здоровья и продуктивные качества, актуальным является исследование влияния микроклимата с разной циркуляцией воздуха на трахеальную стенку птицы, выращиваемых в закрытых помещениях.

В представленной работе по результатам двух серий опытов впервые доказано, что дополнительная циркуляция воздуха в закрытых помещениях улучшает у цыплят-бройлеров состояние трахеальной стенки за счет увеличения толщины эпителиального слоя, высоты ресничек, количества гликопротеидов и протеогликанов в клетках эпителия.

Цель исследований – определение и подтверждение двумя повторными экспериментами гистологической и гистохимической структуры трахеальной стенки у бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) кросса Ross-308, содержащихся в вентилируемых помещениях и при отсутствии циркуляции воздуха.

Методика исследований

Исследования выполнены в период 2021–2022 гг. на птицефабрике ООО «Челны-Бройлер» (Р. Татарстан). Бройлеров выращивали в 5 группах, отличающихся циркуляцией воздуха в помещении (в группах 1 и 5 установлены циркуляционные вентиляторы, в группах 2, 3 и 4 они отсутствовали). В качестве показателей микроклимата изучали интенсивность воздухообмена. В промышленных птичниках (в каждой группе) одновременно выращивали 20 тыс. бройлеров с плотностью посадки 19,5 гол/м² производственной площади. Для гистологического исследования производился забор участков трахеи размером 1 см в средней части органа.

Образцы были получены от 35 бройлеров со средней живой массой 2500 г для каждой группы, отобранных методом пар-аналогов (7 цыплят от каждой группы). Для фиксации объектов использовался 10%-ный формалин. Образцы органов затем промывали водой, заливали в парафин, используя стандартные методики. Далее на ротационном микротоме KD-202A фирмы JINHUA KEDEE (производство КНР) изготавливались срезы тканей толщиной 5 мкм. Для морфометрических измерений и описания структуры органа срезы окрашивали гематоксилин-эозином согласно стандартным методикам. Микроскопию препаратов осуществляли с помощью светового микроскопа МИКМЕД-6 фирмы ООО «ЛОМО-МА» (Россия) с увеличением (15 × 8, 15 × 20 и 15 × 40).

При морфометрии стенки трахеи в 1 опыте измерялись следующие структуры: высота эпителия и ресничек; толщина собственной пластинки с подслизистой основой; толщина всей слизистой и подслизистой оболочек. В опыте 2 проводилось измерение высоты эпителия и ресничек, толщины собственной пластинки и толщины всей слизистой оболочек. При морфометрии структур учитывали рекомендации [13, 14], измерения проводили с помощью окуляр-микрометра. Далее относительные значения переводили в абсолютные с помощью объект-микрометра. Всего было сделано 105 измерений трахеи от группы. Проводились визуальная оценка и описание структур стенки трахеи. Фотографирование препаратов осуществлялось с помощью цифровой камеры MC-8.3C ООО «ЛОМО-МА» (Россия).

При проведении эксперимента соблюдали требования рекомендаций «Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching, 3d edition» (Federation of Animal Science Societies, 2010). Были приняты все меры, чтобы свести к минимуму страдания птиц и уменьшить число особей, подвергнутых эвтаназии.

Статистическую обработку проводили методом вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента в пакете Microsoft Excel 2010. Рассчитывали средние значения (M) и стандартные ошибки средних (±SEM). Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,01$ для биологических значений.

Результаты и их обсуждение

Морфометрия стенки трахеи цыплят в первом опыте, представленная в таблице 1, показала, что из всех групп у птицы в I опытной группе толщина слизистой оболочки и подслизистой основы была минимальной ($147,2 \pm 3,3$ мкм), а в группе III – максимальной ($404,7 \pm 9,4$ мкм). Достоверная разность обусловлена различиями в толщине собственной пластинки слизистой и в подслизистой оболочке. Они составляли соответственно $129,1 \pm 3,1$ мкм в I группе и $395,7 \pm 9,4$ мкм в III группе ($p \leq 0,01$). Толщина эпителиального слоя трахеи была достоверно выше в I и V опытных группах в среднем на 14% в сравнении с II, III и IV контрольными группами ($p \leq 0,01$). Высота ресничек в I и V группах была максимальной ($4,3 \pm 0,1$ мкм), но достоверные различия наблюдались только в V группе. Минимальной высота ресничек была в III и IV группах – соответственно $1,8 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ мкм.

В опыте 2 измерение толщины подслизистой оболочки не проводилось и не учитывалось ввиду того, что ее показатели слабо изменялись между группами в обоих экспериментах. Это позволяет пренебречь измерениями подслизистой оболочки в наших исследованиях.

Результаты морфометрии стенки трахеи в опыте II показывают, что максимальная высота эпителия наблюдалась в I группе – $21,3 \pm 5,8$ мкм, а высота ресничек – в V группе: $4,6 \pm 1,3$ мкм соответственно. Минимальная высота эпителия была в III группе – $15,2 \pm 5,0$ мкм, а высота слоя ресничек была минимальной в IV группе – $1,7 \pm 1,2$ соответственно. Максимальная толщина собственной пластинки слизистой оболочки характерна для группы IV, составив $59,0 \pm 40,7$ мкм. Минимальная толщина собственной пластинки слизистой и всей стенки наблюдалась в группе III ($29,6 \pm 18,3$ мкм и $47,6 \pm 16,9$ соответственно).

Исследование гистологической картины стенки трахеи двух экспериментов подтверждает, что трахея имеет типичное строение и состоит из слизистой, подслизистой фиброзно-хрящевой оболочек и адвентиции (рис. 1, 2). Эпителий, выстилающий слизистую, – многорядный мерцательный, среди клеток преобладают реснитчатые. В пласте эпителия встречаются бокаловидные клетки в соотношении с реснитчатыми примерно 1–10. Около базальной мембраны залегают невысокие камбиальные клетки. Мышечная пластинка в слизистой практически не выражена, поэтому граница собственной пластинки слизистой и подслизистой оболочек определяется только по структуре соединительной ткани. В собственной пластинке преобладает клеточный компонент, много клеток лейкоцитарного ряда, а в подслизистой оболочке скопления клеток встречаются редко, в соединительной ткани преобладает межклеточное вещество с волокнистым компонентом, встречаются

крупные сосуды. В собственной пластинке располагались простые трахеальные слизистые железы. Также нами обнаружены простые эндоепителиальные железы, которые положительно окрашиваются альциановым синим и ШИК-реакцией, что подтверждает данные *J.W. Bacha* и других исследователей [20]. Фиброзно-хрящевая оболочка представлена замкнутыми кольцами гиалинового хряща. На препарате просматриваются по два хрящевых кольца, как бы вставленных друг в друга. Это определяется морфологией данных колец, которые частично заходят друг за друга. Адвентиция представлена рыхлой соединительной тканью.

Недостаток воздухообмена может приводить к повышению загазованности и температуры. Как отмечает *Y. Zhou*, повышение концентрации аммиака приводит к воспалительной реакции в трахее бройлеров [19]. *A. Henning* отмечает, что повышение температуры вдыхаемого воздуха выше 40°C негативно сказывается на скорости мукоцилиарного транспорта. Гистохимические исследования подтверждают эти патологические изменения. В опыте 1 в III контрольной группе, в отличие от I и V опытных, наблюдались более активная ШИК-реакция и окраска альциановым синим пласта эпителия. В соединительной ткани III значительно больше выявлялось гликопротеинов, чем в опытных группах. В группах II и IV морфометрические, гистологические и гистохимические изменения были аналогичными изменениям в III группе, что еще раз подтверждает негативное влияние недостаточной вентиляции на дыхательную систему птицы. Гистохимическая картина в эксперименте 2 аналогична и подтверждает первый эксперимент. В III и IV контрольных группах наблюдались увеличение количества трахеальных желез и более сильное окрашивание альциановым синим, выявлялось больше ШИК – положительных полисахаридов в собственной пластинке, чем в контрольных группах. Увеличение количества слизи за счет увеличения количества желез может быть компенсаторным ответом на раздражение слизистой оболочки [7].

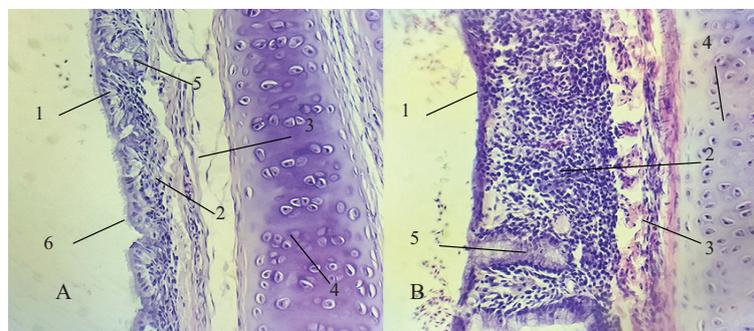


Рис. 1. Эксперимент 1. Гистологическое строение стенки трахеи у бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) кросса Ross-308 в V группе, содержащейся в вентилируемом помещении (А), и в III группе, содержащейся в помещении без циркуляции воздуха (В):

1 – эпителий; 2 – собственная пластинка слизистой оболочки; 3 – подслизистая оболочка; 4 – хрящ; 5 – трахеальные железы; 6 – реснички (окраска гематоксилин-эозином; увеличение 15 × 20)

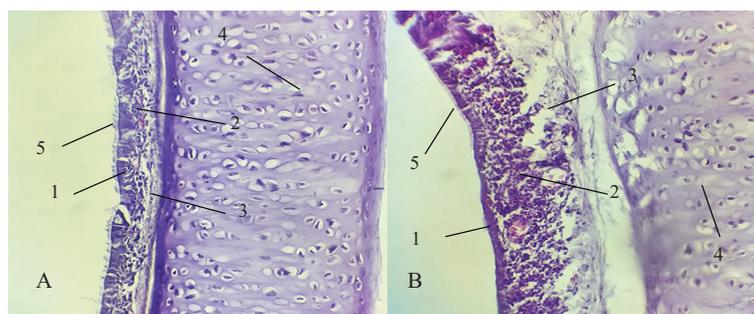


Рис. 2. Эксперимент 2. Гистологическое строение стенки трахеи у бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) кросса Ross-308 в V группе, содержащейся в вентилируемом помещении (А), и в III группе, содержащейся в помещении без циркуляции воздуха (В):

1 – эпителий; 2 – собственная пластинка слизистой оболочки; 3 – подслизистая оболочка; 4 – хрящ; 5 – трахеальные железы; 6 – реснички (окраска гематоксилин-эозином; увеличение 15 × 20)

Выводы

В результате двух исследований, повторяющих друг друга, мы подтвердили зависимость состояния стенки трахеи у бройлеров кросса Ross 308 от циркуляции воздуха в производственных помещениях. Обеспечение циркуляции воздушных потоков в залах выращивания птицы положительно влияет на гистологическую и гистохимическую структуру трахеи. В первом опыте об этом достоверно свидетельствует увеличение толщины эпителиального слоя в 1,3 раза (на 23,3%) и высоты ресничек в 3,1 раза (на 67,5%). Во втором опыте это подтверждается увеличением высоты эпителия на 40% и высоты слоя ресничек на 70%.

Кроме того, гистологическая картина слизистой соответствует норме, отсутствуют нарушения целостности эпителия, реснички ровные, без деформаций и заломов. С обеспечением циркуляции воздушных потоков в закрытых помещениях в первом опыте толщина слизистой оболочки трахеи уменьшается в 2,6 раза (на 61,9%), а толщина собственной пластинки – в 2,9 раза (на 65,4%). Во втором опыте такая закономерность в собственной пластинке не обнаружена, но деструктивные изменения слизистой оболочки трахеи, увеличение количества гликопротеидов и протеогликанов в опытных группах подтверждают влияние фактора вентиляции.

Недостаточность вентиляции увеличивает аэрозольную нагрузку на респираторную систему. Это выражается в уменьшении высоты эпителия, нарушении целостности ресничек, что приводит к метаплазии эпителия и нарушению мукоцилиарного транспорта. Деструктивные изменения в эпителии приводят к уменьшению количества бокаловидных клеток и компенсаторному увеличению количества трахеальных желез и выделяемой слизи, что подтверждается гистохимическими исследованиями.

Список источников

1. *Carvalho O., Gonçalves C.* Comparative physiology of the respiratory system in the animal kingdom // *The Open Biology Journal*. – 2011. – V. 4. – Pp. 35–46. doi: 10.2174/1874196701104010035.
2. *Maina J.* Pivotal debates and controversies on the structure and function of the avian respiratory system: setting the record straight // *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* – 2017. – № 92 (3). – Pp. 1475–1504. doi: 0.1111/brv.12292.
3. *Duncker H.R.* Structure of the avian lung // *Respir Physiol.* – 1972. – № 14. – Pp. 4–63. doi: 10.1016/0034-5687(72)90016-3.
4. *Kim K.C., McCracken K., Lee B.C., Shin C.Y. et al.* Airway goblet cell mucin: its structure and regulation of secretion // *Eur Respir J.* – 1997. – № 10. – Pp. 2644–2649.
5. *Verdugo P.* Goblet cells secretion and mucogenesis // *Ann. Rev. Physiol.* – 1990. – V. 52. – Pp. 157–176. doi: 10.1146/annurev.ph.52.030190.001105.
6. *Fuloria M., Rubin B.* Evaluating the efficacy of mucoactive aerosol therapy // *Resp. Care.* – 2000. – V. 45 (7). – Pp. 868–873.
7. *Rose M., Nickola T.J., Voynow J.* Airway mucus obstruction: mucin glycoproteins, MUC gene regulation and goblet cell hyperplasia // *Am J Respir Cell Mol Biol.* – 2001. – № 25. – Pp. 533–537.
8. *Boek W.M., Romeijn S.G., Graamans K., Verhoef J., Merkus F., Huizing E.* Validation of animal experiments on ciliary function in vitro. I. The influence of substances used clinically // *Acta Oto-Laryngol.* – 1999. – № 119(1). – Pp. 93–97. doi: 10.1080/00016489950182016.
9. *Fan X., Liu S., Liu G., Zhao J., Jiao H., Wang X., Song Z., Lin H.* Vitamin A Deficiency Impairs Mucin Expression and Suppresses the Mucosal Immune Function of the Respiratory Tract in Chicks // *PLoS One.* – 2015. – V. 10 (9). doi: 10.1371/journal.pone.0139131.
10. *Aydelotte M.* The effects of vitamin A and citral on epithelial differentiation in vitro. 1. The chick tracheal epithelium // *J Embryol Exp Morphol.* – 1963. – № 11. – Pp. 279–291.
11. *Kallapura G., Morgan M.J., Pumford N.R., Bielke L.R., Wolfenden A.D., Faulkner O.B. et al.* Evaluation of the respiratory route as a viable portal of entry for Salmonella in poultry via intratracheal challenge of Salmonella Enteritidis and Salmonella Typhimurium // *Poult Sci.* – 2014. – № 93. – Pp. 340–346. doi: 10.3382/ps.2013-03602.

References

1. *Carvalho O., Gonçalves C.* Comparative physiology of the respiratory system in the animal kingdom. *The Open Biology Journal*. 2011; 4: 35–46. doi: 10.2174/1874196701104010035.
2. *Maina J.* Pivotal debates and controversies on the structure and function of the avian respiratory system: setting the record straight. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 2017; 92(3): 1475–1504. doi: 0.1111/brv.12292.
3. *Duncker H.* – *R.* Structure of the avian lung. *Respir Physiol*. 1972; 14: 4–63. doi: 10.1016/0034-5687(72)90016-3.
4. *Kim K.C., McCracken K., Lee B.C., Shin C.Y. et al.* Airway goblet cell mucin: its structure and regulation of secretion. *Eur. Respir. J.* 1997; 10: 2644–2649.
5. *Verdugo P.* Goblet cells secretion and mucogenesis. *Ann. Rev. Physiol*. 1990; 52: 157–176. doi: 10.1146/annurev.ph.52.030190.001105.
6. *Fuloria M., Rubin B.* Evaluating the efficacy of mucoactive aerosol therapy. *Resp. Care*. 2000; 45(7): 868–873.
7. *Rose M.C., Nickola T.J., Voynow J.* Airway mucus obstruction: mucin glycoproteins, MUC gene regulation and goblet cell hyperplasia. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2001; 25: 533–537.
8. *Boek W.M., Romeijn S.G., Graamans K., Verhoef J., Merkus F., Huizing E.* Validation of animal experiments on ciliary function in vitro. I. The influence of substances used clinically. *Acta Oto-Laryngol*. 1999; 119(1): 93–97. doi: 10.1080/00016489950182016.
9. *Fan X., Liu S., Liu G., Zhao J., Jiao H., Wang X., Song Z., Lin H.* Vitamin A Deficiency Impairs Mucin Expression and Suppresses the Mucosal Immune Function of the Respiratory Tract in Chicks. *PLoS One*. 2015; 10(9). doi: 10.1371/journal.pone.0139131.
10. *Aydelotte M.* The effects of vitamin A and citral on epithelial differentiation in vitro. 1. The chick tracheal epithelium. *J Embryol Exp Morphol*. 1963; 11: 279–291.
11. *Kallapura G., Morgan M.J., Pumford N.R., Bielke L.R., Wolfenden A.D., Faulkner O.B. et al.* Evaluation of the respiratory route as a viable portal of entry for Salmonella in poultry via intratracheal challenge of Salmonella Enteritidis and Salmonella Typhimurium. *Poult Sci*. 2014; 93: 340–346. doi: 10.3382/ps.2013-03602.

12. *Minkov V.* Выращивание бройлеров: типовые проблемы и их решение // *Zhivotnovodstvo Rossii.* – 2018. – № 3. – Рр. 50–52.

13. Микроскопическая техника. Учебно-методич. Пособие / Сост. Саркисова Д.С., Перова Ю.П. – Москва. – 1996. – 544 с.

14. *Maina J., Abdalla M.F., King A.S.* Light microscopic morphometry of the lung of 19 avian species // *Acta Anat (Basel).* – 1982. – № 112 (3). – Рр. 264–270. doi: 10.1159/000145519. PMID: 7102251.

15. *Prosekova E.A., Panov V.P., Semak A.E.* Development of goblet intestinal cells of broilers in case of introducing *Bacillus subtilis* spores into the diet // *International Journal of Ecosystems and Ecology Science.* – 2022. – V. 12. – № 3. – Рр. 333–338. doi:10.31407/ijeecs12.341.

16. *Seryakova A., Prosekova E., Panov V. et al.* The Effects of Feed Additive Containing Ellagitannins of Sweet Chestnut on the Intestinal Morphology in Broilers // *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems.* – 2022. – Рр. 956–963. doi:10.1007/978-3-030-91405-9_108.

17. *Фисинин В.И., Салеева И.П., Османян А.К. и др.* Гистоструктура трахеальной стенки у цыплят-бройлеров в зависимости от условий циркуляции воздуха в закрытых помещениях // *Сельскохозяйственная биология.* – 2021. – Т. 56, № 4. – С. 782–794. doi: 10.15389/agrobiology.2021.4.782rus.

18. *Османян А.К., Малородов В.В., Черепанова Н.Г., Салеева И.П.* Состояние реснитчатого эпителия трахеи бройлеров как индикатор воздухообмена в птичниках // *Птицеводство.* – 2020. – № 12. – С. 42–46. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-12-42-46.

19. *Zhou Y., Liu Q.X., Li X.M., Ma D.D., Xing S., Feng J.H., Zhang M.H.* Effects of ammonia exposure on growth performance and cytokines in the serum, trachea, and ileum of broilers // *Poult Sci.* – 2020. – V. 99 (5). – Рр. 2485–2493. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.063.

20. *Waad S.* Comparative histological study of trachea in guinea fowl and coot bird // *Basrah Journal of Veterinary research.* – 2015. – V. 14 (2). – Рр. 122–128.

12. *Minkov V.* Vyrashchivanie broylerov: tipovye problemy i ikh reshenie [Breeding broilers: typical problems and solutions]. *Zhivotnovodstvo Rossii.* 2018; S3: 50–52 (In Rus.).

13. *Sarkisova D.S., Perova Yu.P.* Mikroskopicheskaya tekhnika. Uchebno-metodich. Posobie [Microscopic technique. Study guide]. Moscow, 1996: 544. (In Rus.).

14. *Maina J.N., Abdalla M.F., King A.S.* Light microscopic morphometry of the lung of 19 avian species. *Acta Anat (Basel).* 1982; 112(3): 264–270. doi: 10.1159/000145519. PMID: 7102251.

15. *Prosekova E.A., Panov V.P., Semak A.E.* Development of goblet intestinal cells of broilers in case of introducing *Bacillus subtilis* spores into the diet. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science.* 2022; 12 (3): 333–338. doi: 10.31407/ijeecs12.341.

16. *Seryakova A., Prosekova E., Panov V. et al.* The Effects of Feed Additive Containing Ellagitannins of Sweet Chestnut on the Intestinal Morphology in Broilers. *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems.* 2022: 956–963. doi:10.1007/978-3-030-91405-9_108.

17. *Fisinin V.I., Saleeva I.P., Osmanyanyan A.K. et al.* Gistostruktura trakheal'noy stenki u tsyplyat-broylerov v zavisimosti ot usloviy tsirkulyatsii vozduha v zakrytykh pomeshcheniyakh [Histostucture of the tracheal wall in broiler chickens as a function of indoor air circulation conditions]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya.* 2021; 56 (4): 782–794. doi: 10.15389/agrobiology.2021.4.782rus (In Rus.).

18. *Osmanyanyan A.K., Malorodov V.V., Cherepanova N.G., Saleeva I.P.* Sostoyanie resnitchatogo epiteliya trakhei broylerov kak indikator vozdukhoobmena v ptichnikakh [State of the ciliated epithelium of the broiler trachea as an indicator of air exchange in poultry houses]. *Ptitsevodstvo.* 2020; 12: 42–46. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-12-42-46 (In Rus.).

19. *Zhou Y., Liu Q.X., Li X.M., Ma D.D., Xing S., Feng J.H., Zhang M.H.* Effects of ammonia exposure on growth performance and cytokines in the serum, trachea, and ileum of broilers. *Poult Sci.* 2020; 99(5): 2485–2493. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.063.

20. *Waad S.* Comparative histological study of trachea in guinea fowl and coot bird. *Basrah Journal of Veterinary research.* 2015; 14(2): 122–128.

Сведения об авторах

Виктор Викторович Малородов, доцент кафедр частной зоотехнии, канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; malorodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9033-7552>.

Надежда Геннадьевна Черепанова, старший преподаватель кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; ncherepanova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>.

About the authors

Viktor V. Malorodov, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Special Animal Husbandry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: malorodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9033-7552>.

Nadezhda G. Cherepanova, senior lecturer of the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: ncherepanova@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>.



Влияние температуры на личиночное развитие зеленой жабы (*Bufotes viridis*, *Amphibia*, *Anura*, *Bufo*) в зоокультуре

Артем Александрович Кидов, Татьяна Эдуардовна Кондратова,
Роман Александрович Иволга, Александра Денисовна Соколова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Эдуардовна Кондратова, t.kondratova@rgau-msha.ru

Аннотация. Выявление оптимальных температурных режимов для получения наилучших значений продуктивных показателей (снижение длительности развития и затрат кормов, увеличение размеров и выживаемости) является важнейшей задачей для разработки технологий культивирования земноводных. В работе приводятся результаты изучения влияния температуры на личиночное развитие зеленой жабы (*Bufo viridis*). Материалом для работы послужило потомство пары зеленых жаб, отловленных в Калужской области (Россия). Икротетание стимулировали инъекциями сурфактона. При переходе личинок к экзогенному питанию из них были отобраны 144 особи для дальнейшего выращивания. Для экспериментов использовали контейнеры размером 39 × 28 × 28 см, наполненные 18 л воды. Животных выращивали при плотности посадки 1 личинка на 1 л воды при следующих температурах: 20°C, 23°C, 26°C, 29°C. Личинок кормили ежедневно кормом «TetraMin Flakes». При появлении передних конечностей и при выходе из воды у молодых жаб измеряли длину тела. Отмечается, что при использовании всех температурных режимов (от 20 до 29°C) личинки зеленых жаб росли и успешно проходили метаморфоз. Увеличение температуры выращивания снижает длительность личиночного развития, однако не влияет на размер выходящей на метаморфоз молоди. В то же время уменьшение температуры ниже 23°C и повышение более 26°C способствует падению выживаемости. В связи с вышесказанным личинок зеленой жабы рекомендуется выращивать в диапазоне температур 23–26°C, что позволит за 28–59 суток получать молодь длиной тела 11,20–20,83 мм при выживаемости 94100%.

Ключевые слова: бесхвостые амфибии, зеленая жаба, личиночное развитие, температурные режимы, лабораторное разведение

Для цитирования: Кидов А.А., Кондратова Т.Э., Иволга Р.А., Соколова Ф.Д. Влияние температуры на личиночное развитие зеленой жабы (*Bufo viridis*, *Amphibia*, *Anura*, *Bufo*) в зоокультуре // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 30–34. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-29-34>

© Кидов А.А., Кондратова Т.Э., Иволга Р.А., Соколова Ф.Д.

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-29-34

Impact of Temperature on Larval Development of the Green Toad (*Bufo Viridis*, *Amphibia*, *Anura*, *Bufo*) in Captivity

Artem A. Kidov, Tatyana E. Kondratova, Roman A. Ivolga, Aleksandra D. Sokolova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Aleksandra D. Sokolova, t.kondratova@rgau-msha.ru

Abstract. Identification of optimal temperature regimes to obtain the best values of productive indicators (reduction of development duration and feed costs, increase in size and survival rate) is the most crucial task for the development of amphibian breeding technologies. The paper presents the results of a study of the effect of temperature on the larval development of the green toad (*Bufo viridis*). The offspring of a pair of green toads caught in the Kaluga region (Russia) served as the material for the work. Spawning was stimulated by injections of surfactant. During the transition of larvae to exogenous feeding, 144 individuals were selected from them for further growing. For experiments, containers measuring 39 × 28 × 28 cm filled with 18 liters of water were used. The animals were grown at a density of one larva per liter of water at the following temperatures: 20°C, 23°C, 26°C and 29°C. The larvae were fed daily with “TetraMin Flakes”. When the forelimbs appeared and when emerging from the water, the body length was measured in young toads. It is noted that with all temperature regimes (from 23°C to 29°C), the green toad larvae grew and metamorphosed successfully. Increasing temperature reduces the duration of larval development, but does not affect the size of the young emerging from the water. However, decreases in temperature below 23°C and increases above 26°C contribute to a decrease in survival. Based

on the aforesaid, it is recommended that green toad larvae should be grown at 23–26°C to produce juveniles with body lengths of 11.20–20.83 mm and survival rates of 94–100% in 28–59 days.

Keywords: tailless amphibians, larval development, green toad, temperature regimes, captive breeding

For citation: Kidov A.A., Kondratova T.E., Ivolga R.A., Sokolova F.D. Impact of Temperature on Larval Development of the Green Toad (*Bufo viridis*, Amphibia, Anura, Bufonidae) in Captivity // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:30–34. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-29-34>

Введение

Земноводные, или амфибии, широко задействованы в хозяйственной деятельности человека, особенно в странах тропического пояса, что обусловлено их высоким видовым богатством (на ноябрь 2022 г. – 8534 вида) [16] и биомассой в большинстве наземных и пресноводных экосистем [11]. В Европе амфибий используют преимущественно для получения мяса и биологически активных веществ, в качестве объектов биоиндикации и биометода в растениеводстве [4]. С учетом глобального кризиса вымирания в этой группе [13, 14] культивирование земноводных является перспективным путем сокращения изъятия их из природы, а также поддержания угасающих и реставрации утраченных популяций [9, 10, 18].

Температура является главным фактором, обуславливающим существование эктотермных животных, включая и амфибий [12]. При этом, несмотря на общие тенденции, влияние температуры имеет свои отличия для различных таксонов земноводных, если учитывать их разные условия обитания в естественной среде [1, 5, 7]. Выявление оптимальных температурных режимов для получения наилучших значений продуктивных показателей (снижение длительности развития и затрат кормов, увеличение размеров и выживаемости) является важнейшей задачей для разработки технологий их культивирования.

Зеленая жаба (*Bufo viridis* Laurenti, 1768) – широко распространенный в Европе вид [15], численность которого, однако, повсеместно сокращается [6]. Несмотря на высокий потенциал к синантропизации, позволяющий виду успешно заселять агроценозы, на состояние популяций негативное влияние оказывают фрагментация ареала, осушение и загрязнение нерестовых водоемов, гибель на дорогах, вселение инвазионных хищников [8]. В связи с этим зеленая жаба внесена в списки охраняемых животных во многих европейских странах, а в России – в Красную книгу ряда регионов (включая Москву, Московскую, Тверскую, Ярославскую и Костромскую области). Создание технологии воспроизводства *B. viridis* в искусственно созданной среде обитания позволило бы не только создавать воспроизводящиеся лабораторные популяции, но и восстанавливать природные за счет реинтродукции [2].

Задачей исследований стало выявление температурного режима, оптимального для выращивания личинок зеленой жабы в лабораторных условиях.

Методика исследований

Исследования проводили в 2021 г. на кафедре зоологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Материалом для работы послужило потомство, полученное от размножения в искусственных условиях пары зеленых жаб, отловленной в д. Адлеровка Малоярославецкого района Калужской области. Икротетание стимулировали инъекциями сурфагона по ранее отработанной методике [3]. При переходе личинок к экзогенному питанию (21–24 стадия по таблице нормального развития Госнера [17]) из них случайным образом были отобраны 144 экз. для дальнейшего эксперимента, а остальные выпущены в природный водоем.

Для экспериментов использовали полипропиленовые контейнеры марки Samla (производитель – ИКЕА, Россия) размером 39 × 28 × 28 см, наполненные 18 л воды. В каждый контейнер помещали по 18 личинок, то есть плотность посадки составляла 1 личинку на 1 л воды. Молодь выращивали в двух повторностях при температурных режимах 20°C, 23°C, 26°C, 29°C, которые поддерживали при помощи водных обогревателей марки «Aquael Platinum Heater» (производитель – Aquael, Польша) мощностью 100 Вт. Подмену 2/3 объема воды на отстоянную того же состава производили через день. Личинок кормили ежедневно вволю хлопьевидным полнорационным комбикормом для рыб марки «TetraMin Flakes» (производитель – Tetra GmbH, Германия).

При прорыве передних конечностей (42–44 стадии по таблице нормального развития Госнера) у личинок электронным штангенциркулем с погрешностью 0,1 мм измеряли длину тела (L), хвоста (Lcd), а также общую длину туловища с хвостом (L + Lcd). После выхода молодых жаб на сушу (47 стадия по таблице нормального развития Госнера) у них измеряли длину тела (L).

Статистический анализ данных осуществляли в программах Microsoft Excel и Statistica 8.0. Рассчитывали среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD) и размах (min-max) исследуемых признаков. Нормальность и гомогенность распределения выборок проверяли критериями Лиллиефорса и Левена. Статистическую значимость наблюдаемых различий оценивали однофакторным дисперсионным анализом (F), а при попарном сравнении групп использовали тест Тьюки (Q). Для выявления связи исследуемых признаков и температурного режима использовали регрессионный анализ (Beta).

Результаты и их обсуждение

При использовании всех температурных режимов (от 20 до 29°C) личинки зеленых жаб росли и успешно проходили метаморфоз. Поскольку молодь разных повторностей одного температурного режима не демонстрировала достоверных различий по исследуемым показателям, мы объединяли их для дальнейшего анализа.

Выживаемость от начала экзогенного питания до завершения метаморфоза была максимальной при использовании второго (23°C) и третьего (26°C) температурных режимов. Понижение или повышение температуры за пределы 23–26°C приводило к снижению выживаемости молоди (табл. 1).

Длительность личиночного развития до первой выходящей на сушу особи была близка при разных температурных режимах, однако первый и последний метаморфы выходили на сушу раньше при повышении температуры (коэффициент Beta = -0,34). Так, при увеличении температуры воды на 1°C длительность развития личинок сокращалась в среднем на $0,76 \pm 0,197$ сут. ($F_{1,114} = 14,77$; $R^2 = 0,115$; $p < 0,001$).

Группы личинок, содержащиеся при различных температурах, статистически значимо различались по длительности личиночного развития ($F_{3,112} = 5,57$; $p = 0,001$). Особи, выращиваемые при 20°C, росли до метаморфоза достоверно дольше, чем при 23°C ($Q = 3,805$; $p = 0,041$), 26°C ($Q = 4,469$; $p = 0,011$) и 29°C ($Q = 5,319$; $p = 0,002$). Остальные группы по этому показателю не различались.

Личинки на 42–44 стадии по таблице нормального развития Госнера из разных экспериментальных групп не имели достоверных различий по длине тела, хвоста и общей длине тела с хвостом (табл. 2). Молодь, выращенная в разных группах, при выходе на сушу также не имела статистически значимых различий по длине тела. Зависимость размеров молоди от температуры нами отмечена не была.

Таким образом, как и у других изученных в искусственно созданной среде обитания видов земноводных [1, 5, 7], снижение и повышение температуры за пределы оптимума приводят к снижению выживаемости и влияют на длительность развития. Однако если для большинства амфибий форсификация развития при высоких температурах отрицательно коррелирует с размером проходящей метаморфоз молоди, то у зеленой жабы такая зависимость не наблюдается.

Таблица 1

Характеристика развития зеленой жабы при выращивании в различных температурных режимах

Температура, °C	Повторность	Длительность личиночного развития, сут.		Средняя длительность личиночного развития, сут., M±SD	Выживаемость, %
		до первого метаморфа	до последнего метаморфа		
20	1	31	43	37±3,7	67
	2	35	65	42±8,3	83
	среднее	31	65	39±7,4	75
23	1	28	59	34±7,0	100
	2	28	59	34±7,0	100
	среднее	28	59	35±7,2	100
26	1	28	46	34±5,3	94
	2	27	49	35±6,4	100
	среднее	27	49	34±5,8	97
29	1	27	41	32±3,9	83
	2	31	33	32±1,2	17
	среднее	27	41	32±3,6	50

Таблица 2

Размерные показатели молоди зеленой жабы при выращивании в различных температурных режимах

Температура, °С	Повторность	Показатель $\frac{M \pm SD}{\min - \max}$			
		42–44 стадии (прорыв передних конечностей)			47 стадия (выход на сушу)
		L	Lcd	L + Lcd	L
20	1	$\frac{15,31 \pm 1,003}{13,81 - 16,34}$	$\frac{20,43 \pm 2,998}{16,08 - 24,91}$	$\frac{35,96 \pm 3,515}{30,16 - 39,96}$	$\frac{14,26 \pm 0,968}{12,58 - 15,76}$
	2	$\frac{15,15 \pm 2,117}{12,71 - 20,6}$	$\frac{18,78 \pm 4,533}{9,83 - 25,74}$	$\frac{34,04 \pm 5,274}{25,1 - 43,14}$	$\frac{13,64 \pm 1,522}{11,75 - 16,24}$
	среднее	$\frac{15,22 \pm 1,705}{12,71 - 20,60}$	$\frac{19,49 \pm 3,969}{9,83 - 25,74}$	$\frac{34,86 \pm 4,629}{25,10 - 43,14}$	$\frac{13,92 \pm 1,320}{11,75 - 16,24}$
23	1	$\frac{14,97 \pm 1,291}{12,23 - 16,47}$	$\frac{20,54 \pm 2,368}{17,57 - 15,85}$	$\frac{35,54 \pm 2,950}{31,9 - 42,38}$	$\frac{13,63 \pm 1,136}{11,26 - 15,10}$
	2	$\frac{15,22 \pm 0,991}{13,01 - 17,39}$	$\frac{20,23 \pm 3,093}{13,18 - 26,38}$	$\frac{35,44 \pm 3,425}{29,45 - 42,47}$	$\frac{14,07 \pm 0,788}{12,50 - 15,99}$
	среднее	$\frac{15,09 \pm 1,142}{12,23 - 17,39}$	$\frac{20,38 \pm 2,717}{13,18 - 26,38}$	$\frac{35,49 \pm 3,151}{29,45 - 42,47}$	$\frac{13,85 \pm 0,989}{11,26 - 15,99}$
26	1	$\frac{14,79 \pm 1,782}{12,53 - 20,31}$	$\frac{19,50 \pm 2,865}{14,12 - 24,3}$	$\frac{34,95 \pm 3,920}{29,01 - 43,68}$	$\frac{14,07 \pm 2,132}{11,45 - 18,74}$
	2	$\frac{15,13 \pm 1,268}{12,28 - 18,39}$	$\frac{19,91 \pm 2,310}{16,05 - 24,12}$	$\frac{34,69 \pm 2,718}{29,11 - 39,25}$	$\frac{14,71 \pm 2,127}{11,20 - 20,83}$
	среднее	$\frac{14,96 \pm 1,526}{12,28 - 20,31}$	$\frac{19,71 \pm 2,564}{14,12 - 24,30}$	$\frac{34,82 \pm 3,308}{29,01 - 43,68}$	$\frac{14,40 \pm 2,122}{11,20 - 20,83}$
29	1	$\frac{15,31 \pm 1,522}{13,82 - 18,68}$	$\frac{19,36 \pm 3,297}{10,37 - 24,12}$	$\frac{34,04 \pm 3,737}{24,33 - 39,93}$	$\frac{14,00 \pm 1,459}{12,51 - 18,50}$
	2	$\frac{16,64 \pm 2,686}{14,24 - 19,54}$	$\frac{22,57 \pm 2,387}{19,99 - 24,70}$	$\frac{37,43 \pm 3,006}{34,38 - 40,39}$	$\frac{14,16 \pm 0,542}{13,70 - 14,76}$
	среднее	$\frac{15,53 \pm 1,737}{13,82 - 19,54}$	$\frac{19,89 \pm 3,338}{10,37 - 24,70}$	$\frac{34,61 \pm 3,775}{24,33 - 40,39}$	$\frac{14,03 \pm 1,315}{12,51 - 18,50}$

Выводы

Увеличение температуры выращивания снижает длительность личиночного развития, однако не влияет на размер выходящей на метаморфоз молоди. В то же время уменьшение температуры ниже 23°C и повышение более 26°C способствуют падению выживаемости. В связи с вышесказанным личинок зеленой жабы рекомендуется выращивать в диапазоне температур 23–26°C, что позволит за 28–59 суток получать молодь длиной тела 11,20–20,83 мм при выживаемости 94–100%.

Список источников

1. Африн К.А., Степанкова И.В., Кидов А.А. Рост, развитие и выживаемость личинок кавказской жабы, *Bufo verrucosissimus* (Amphibia, Anura, Bufonidae) при различной температуре // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – № 57 (3). – С. 94–98.

2. Кидов А.А., Иволга Р.А., Кондратова Т.Э., Соколова А.Д. Влияние начальной плотности на личиночное развитие зеленой жабы (*Bufo viridis*)

References

1. Afrin K.A., Stepankova I.V., Kidov A.A. Rost, razvitie i vyzhivaemost' lichinok kavkazskoy zhaby, *Bufo verrucosissimus* (Amphibia, Anura, Bufonidae) pri razlichnoy temperature [Growth, development and survival of *Bufo verrucosissimus* (Amphibia, Anura, Bufonidae) larvae at different temperatures]. Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; 57 (3): 94–98. (In Rus.)

2. Kidov A.A., Ivolga R.A., Kondratova T.E., Sokolova A.D. Vliyaniye nachal'noy plotnosti na lichinochnoe razvitie zelenoy zhaby (*Bufo viridis*, Amphibia, Anura, Bufonidae) v laboratornykh usloviyakh [Impact of initial density on larval development of the green

viridis, Amphibia, Anura, Bufonidae) в лабораторных условиях // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8 (74), № 3. – С. 68–76.

3. Кидов А.А., Иволга Р.А., Кондратова Т.Э., Кидова Е.А. Особенности размножения и раннего развития у самого высокогорного земноводного территории бывшего СССР – батурской жабы (*Bufo baturae*, Amphibia, Bufonidae) (по результатам лабораторных исследований) // Зоологический журнал. – 2022. – Т. 100, № 2. – С. 153–164. doi: 10.31857/S0044513421120060.

4. Кидов А.А. Ресурсы земноводных: учебное пособие. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 161 с.

5. Кидова Е.А. Размножение, развитие и рост тритона Ланца (*Lissotriton lantzi*, Amphibia, Caudata, Salamandridae) в зоокультуре: Дис. ... канд. биол. наук. – М., 2021. – 178 с.

6. Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 370 с.

7. Немыко Е.А., Вяткин Я.А., Кидов А.А. Выращивание личинок тритона Ланца, *Lissotriton lantzi* (Wolterstorff, 1914) при различных температурах // Современная герпетология. – 2019. – Т. 19, № 2–3. – С. 125–131. doi: 10.18500/1814-6090-2019-19-3-4-125-131.

8. Степанкова И.В., Иволга Р.А., Петровский А.Б., Шпагина А.А., Африн К.А., Кидов А.А. К распространению зеленой жабы, *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) на территории города Москвы // Глобальные и региональные аспекты устойчивого развития: современные реалии. – Грозный, 2020. – С. 150–154.

9. Утешев В.К., Кидов А.А., Каурова С.А., Шишова Н.В. Первый опыт размножения тритона Карелина, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) с использованием оплодотворения икры уринальной спермой // Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки». – 2013. – Т. 18, № 6–1. – С. 3090–3092.

10. Утешев В.К., Каурова С.А., Шишова Н.В., Манохин А.А., Мельникова Е.Г., Гахова Э.Н. Современные технологии разведения амфибий // Праці Українського герпетологічного товариства. – 2013. – № 4. – С. 175–183.

11. Хейер В.Р., Доннелли М.А., Мак Дайермид Р.В. Измерение и мониторинг биологического разнообразия: стандартные методы для земноводных. – М.: Изд-во КМК, 2003. – 380 с.

12. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. – Свердловск: АН СССР, Уральский филиал, 1968. – 387 с.

13. Bishop P.J., Angulo A., Lewis J.P., Moore R.D., Rabb G.B., Garcia Moreno J. The Amphibian Extinction Crisis – what will it take to put the action into the Amphibian Conservation Action Plan? // SAPIENS (IUCN Commissions). – 2012. – V. 5, № 2. – URL: <https://journals.openedition.org/sapiens/1406#article-1406>.

14. Blaustein A.R., Wake D.B. Declining amphibian populations – a global phenomenon // Trends in Ecology & Evolution. – 1990. – V. 5. – P. 203–204.

15. Dufresnes C., Mazepa G.O., Jablonski D. et al. Fifteen shades of green: The evolution of *Bufo* toads revisited // Molecular Phylogenetics and Evolution. – 2019. – V. 141. – P. 1–25.

toad (*Bufo viridis*, Amphibia, Anura, Bufonidae) in laboratory conditions]. Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya. 2022; 8 (74); 3: 68–76. (In Rus.).

3. Kidorov A.A., Ivolga R.A., Kondratova T.E., Kidorova E.A. Osobennosti razmnozheniya i rannego razvitiya u samogo vysokogornogo zemnovodnogo territorii byvshego SSSR – batur'skoy zhaby (*Bufo baturae*, Amphibia, Bufonidae) (po rezul'tatam laboratornykh issledovaniy) [Features of reproduction and early development in the Batura toad (*Bufo baturae*, Amphibia, Bufonidae), the most high-mountain amphibian in the former USSR, based on the results of a laboratory study]. Zoologicheskij zhurnal. 2022; 100 (2): 153–164. doi: 10.31857/S0044513421120060 (In Rus.).

4. Kidorov A.A. Resursy zemnovodnykh [Resources of amphibians]. M.: Izd-vo RGAU-MSKhA, 2013: 161. (In Rus.).

5. Kidorova E.A. Razmnozhenie, razvitiye i rost tritona Lantsa (*Lissotriton lantzi*, Amphibia, Caudata, Salamandridae) v zookul'ture: Dis. ... kand. biol. Nauk [Reproduction, development and growth of the Lantz's newt (*Lissotriton lantzi*, Amphibia, Caudata, Salamandridae) in zooculture. (Bio) PhD thesis]. M., 2021: 178. (In Rus.).

6. Kuz'min S.L. Zemnovodnye byvshego SSSR [Amphibians of the Former USSR]. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012: 369. (In Rus.).

7. Nemyko E.A., Viatkin Ya.A., Kidorov A.A. Vyrashchivanie lichinok tritona Lantsa, *Lissotriton lantzi* (Wolterstorff, 1914) pri razlichnykh temperaturakh [Growing of larvae of the Caucasian smooth newt, *Lissotriton lantzi* (Wolterstorff, 1914) at various temperatures]. Sovremennaya gerpetologiya. 2019; 19 (3/4): 125–131. doi: 10.18500/1814-6090-2019-19-3-4-125-131 (In Rus.).

8. Stepankova I.V., Ivolga R.A., Petrovskiy A.B., Shpagina A.A., Afrin K.A., Kidorov A.A. K rasprostraneniyu zelenoy zhaby, *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) na territorii goroda Moskvy [Notes on distribution of the european green toad, *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) in Moscow]. Grozny: Global'nye i regional'nye aspekty ustoychivogo razvitiya: sovremennye realii. 2020: 150–154. (In Rus.).

9. Uteshev V.K., Kidorov A.A., Kaurova S.A., Shishova N.V. Perviy opyt razmnozheniya tritona Karelina, *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) s ispol'zovaniem oplodotvoreniya ikry urinal'noy spermoy [First experience of reproduction of a Karelin's newt *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) with urinal sperm use for eggs fertilization]. Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2013; 18 (6–1): 3090–3092. (In Rus.).

10. Uteshev V.K., Kaurova S.A., Shishova N.V., Manokhin A.A., Mel'nikova E.G., Gakhova E.N. Sovremennye tekhnologii razvedeniya amfibiyy [Current technologies of amphibian breeding]. Pratsi Ukrain'skogo gerpetologichnogo tovaristva. 2013; 4: 175–183. (In Rus.).

11. Heyer V.R., Donnelly M.A., McDiarmid R.V. Izmereniye i monitoring biologicheskogo raznobraziya. Standartnyye metody dlya zemnovodnykh [Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians] M.: Izd-vo KMK, 2003: 380. (In Rus.).

12. Schwartz S.S., Smirnov V.S., Dobrinsky L.N. Metod morfologicheskikh indikatorov v ekologii nazemnykh pozvonochnykh [Method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates]. Sverdlovsk: AN SSSR, Ural'skiy filial, 1968: 387. (In Rus.).

13. Bishop P.J., Angulo A., Lewis J.P., Moore R.D., Rabb G.B., Garcia Moreno J. The Amphibian Extinction Crisis – what will it take to put the action into the Amphibian Conservation Action Plan? SAPIENS (IUCN Commissions). 2012; 5 (2). – <https://journals.openedition.org/sapiens/1406#article-1406>

14. Blaustein A.R., Wake D.B. Declining amphibian populations – a global phenomenon. Trends in Ecology & Evolution. 1990; 5: 203–204.

15. Dufresnes C., Mazepa G.O., Jablonski D. et al. Fifteen shades of green: The evolution of *Bufo* toads revisited. Molecular Phylogenetics and Evolution. 2019; 141: 1–25.

16. *Frost D.R.* Amphibian Species of the World, an Online Reference. – 2022. – V. 6.1. – URL: <https://amphibiansoftheworld.amnh.org>.

17. *Gosner K.L.* A simplified table for staging anuran embryos and larvae // *Herpetologica*. – 1960. – V. 16. – P. 183–190.

18. *Zippel K., Johnson K., Gagliardo R. et al.* The Amphibian Ark: a global community for ex situ conservation of amphibians // *Herpetological Conservation and Biology*. – 2011. – V. 6, № 3. – P. 340–352.

16. *Frost D.R.* Amphibian Species of the World, an Online Reference. 2022; 6.1. <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/>, available free. November 2022.

17. *Gosner K.L.* A simplified table for staging anuran embryos and larvae. *Herpetologica*. 1960; 16: 183–190.

18. *Zippel K., Johnson K., Gagliardo R. et al.* The Amphibian Ark: a global community for ex situ conservation of amphibians. *Herpetological Conservation and Biology*. 2011; 6 (3): 340–352.

Сведения об авторах

Артем Александрович Кидов, заведующий кафедрой зоологии, канд. биол. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; kidov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9328-2470>.

Татьяна Эдуардовна Кондратова, ассистент кафедры зоологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; t.kondratova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7533-7327>.

Роман Александрович Иволга, ассистент кафедры зоологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; romanivolga@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2050-5279>.

Александра Денисовна Соколова, студент института зоотехнии и биологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; drakonra@mail.ru.

About the authors

Artem A. Kidov, CSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: kidov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9328-2470>.

Tatyana E. Kondratova, Assistant of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: t.kondratova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7533-7327>.

Roman A. Ivolga, Assistant of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: romanivolga@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2050-5279>.

Aleksandra D. Sokolova, student of the Institute of Animal Sciences and Biology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: drakonra@mail.ru.

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 630*114.445(574)
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-35-45



Особенности бактериальных сообществ почв разной степени засоленности на примере Шаульдерского массива орошения Туркестанской области Республики Казахстан

*Ольга Валентиновна Селицкая¹, Мария Аменовна Ибраева²,
Анна Андреевна Ванькова¹, Андрей Владимирович Козлов¹*

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

² Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова, Алматы, Республика Казахстан

Автор, ответственный за переписку: Андрей Владимирович Козлов, a.kozlov@rgau-msha.ru

Аннотация. Проведена сравнительная оценка бактериальных сообществ лугово-сероземной почвы разной степени засоления. Выявлены существенные различия в структуре микробиомов пахотных горизонтов слабозасоленной с очень сильнозасоленной лугово-сероземной почвы. Установлено значительное сокращение разнообразия микробиома на уровне филума при повышении степени засоления почв (на примере лугово-сероземных почв Шаульдерского массива орошения). Структура бактериальных сообществ лугово-сероземной очень сильнозасоленной почвы представлена 4 филумами бактерий: Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes, Proteobacteria, в то время как в слабозасоленной почве было выявлено 13 филумов бактерий (Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes, Verrucomicrobia, Acidobacteria, Chloroflexi, Firmicutes, Gemmatimonadetes, Planctomycetes, Saccharibacteria, Cyanobacteria, Chlorobi, Nitrospirae). Согласно индексу Шеннона видовое разнообразие микробиома лугово-сероземных почв Шаульдерского массива орошения примерно на 20% выше на слабозасоленных почвах по сравнению с очень сильнозасоленными. Индекс Chao1 и количество таксономических единиц (ОТЕ) также указывают на снижение примерно в два раза α -разнообразия в микробиоме очень сильнозасоленной почвы. Подтверждена экологическая значимость проблемы вторичного засоления почв. С повышением содержания солей в почвах видовое разнообразие бактериального сообщества сокращается, что можно считать одним из показателей деградации почвы.

Ключевые слова: бактериальные сообщества почв, микробиом, биоразнообразие, засоленные почвы, аридные территории, Шаульдерский массив орошения, Казахстан

Для цитирования: Селицкая О.В., Ибраева М.А., Ванькова А.А., Козлов А.В. Особенности бактериальных сообществ почв разной степени засоленности на примере Шаульдерского массива орошения Туркестанской области Республики Казахстан // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 35–45. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-35-45>

© Селицкая О.В., Ибраева М.А., Ванькова А.А., Козлов А.В.

PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

Original article
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-35-45

Features of Soil Bacterial Communities of Varying Degree of Salinity on the Example of the Shoulder Irrigation Massif of the Turkestan Region of the Republic of Kazakhstan

Olga V. Selitskaya¹, Mariya A. Ibrayeva², Anna A. Vankova¹, Andrey V. Kozlov¹

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

² Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U. Usanov, Almaty, Republic of Kazakhstan

Corresponding author: Andrey V. Kozlov, a.kozlov@rgau-msha.ru

Abstract. A comparative assessment of bacterial communities of meadow-serozem soils of different degrees of salinity was carried out. Significant differences in the structure of microbiomes of arable horizons of weakly saline and highly saline meadow-serozem soil were revealed. A significant reduction in the diversity of the microbiome at the phylum level with an increase in the level of soil salinity was established (on the example of meadow-serozem soils of the Shoulder irrigation massif). The structure of bacterial communities of the meadow-serozem highly saline soil is represented by four bacterial phyla: (Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes, Proteobacteria), while 13 bacterial phyla were identified in weakly salinized soil (Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes, Verrucomicrobia, Acidobacteria, Chloroflexi, Firmicutes, Gemmatimonadetes, Planctomycetes, Saccharibacteria, Cyanobacteria, Chlorobi, Nitrospirae). According

to the Shannon index, the species diversity of the microbiome of the meadow-serozem soils of the Shoulder irrigation massif is about 20% higher on weakly saline soils compared to highly saline ones. The Chao1 index and the number of taxonomic units (OTUs) also indicate a roughly halving of alpha diversity in the highly saline soil microbiome. The ecological significance of the problem of secondary soil salinization was confirmed. With an increase of salt content in soils, the species diversity of the bacterial community decreases, which can be considered as one of the indicators of soil degradation.

Keywords: soil bacterial communities, microbiome, biodiversity, saline soils, arid territories, the Shoulder irrigation massif, Kazakhstan

For citation: Selitskaya O.V., Ibraeva M.A., Vankova A.A., Kozlov A.V. Features of Soil Bacterial Communities of Varying Degree of Salinity on the Example of the Shoulder Irrigation Massif of the Turkestan Region of the Republic of Kazakhstan // Timiryazev Biological Journal. 2023; 1:35–45. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-35-45>

Введение

Проблема засоления почв является одной из центральных для земледелия в зоне аридного климата. Во всем мире 950 млн га почв сельскохозяйственного назначения относятся к засоленным, 77 млн га орошаются соленой водой. Снижение урожайности за счет дефицита влаги и засоленности почв в ряде случаев достигает 50% [2, 14, 46].

Засоленные почвы – это солончаки, солонцы, а также лугово-черноземные, каштановые, лугово-каштановые, лугово-сероземные, бурые полупустынные почвы различной степени засоления [4]. Как правило, засоленные почвы имеют в своем составе легкорастворимые соли, повышенное содержание которых приводит к увеличению осмотического давления почвенных растворов и снижению доступности вводы для растений и микроорганизмов. Кроме того, некоторые соли, особенно гидрокарбонаты и хлориды, в больших количествах токсичны для растений [20].

Существует несколько причин засоления почв. Самые распространенные из них – это засоления в процессе выветривания горных пород, продукты извержения вулканов, эоловый перенос солей из водных источников с соленой водой. В засушливых районах также могут быть засолены грунтовые воды, которые могут являться непосредственной причиной засоления глубоко лежащих горизонтов. Причиной вторичного засоления почв может стать также использование сильноминерализованной воды при орошении и ирригации [2, 20].

В Республике Казахстан засоленные почвы занимают 111,6 млн га, что составляет 41,0% от общей площади [8, 17]. В настоящее время проблема деградации почв вследствие их засоления и дегумификации особенно остро стоит на орошаемых массивах Республики Казахстан, где за последние годы увеличились площади почв, подвергшихся вторичному засолению [20, 23].

Поиск параметров, которые могут выступать в качестве микробиологических индикаторов плодородия и экологических функций почв, сегодня является по-прежнему актуальным. Широкое внедрение в практику почвенной микробиологии молекулярно-биологических методов и их относительная доступность позволяют вывести этот вопрос на иной уровень, поскольку определяет выявление и анализ не только отдельных представителей почвенной биоты, но и все сообщество в целом [1, 22, 36]. Однако вследствие высокой вариабельности ряда показателей и сложности их интерпретации ключевой задачей является выбор параметров, обладающих наилучшей применимостью в качестве индикаторов плодородия и экологических функций почв. Кроме того, величины биоразнообразия почвенной биоты для большинства территорий мира до сих пор неизвестны [21, 38]. Высокая степень засоления почв способствует формированию специфических микробных сообществ [9, 10], поэтому почвы, максимально схожие по генезису и физико-химическим параметрам, но различающиеся по содержанию солей, представляются хорошим объектом таких исследований [9, 46, 47].

Цель работы: выявить общие черты и различия микробиомов лугово-сероземных почв различной степени засоления Шаульдерского массива орошения (Республика Казахстан) и оценить влияние засоления различной степени на структуру прокариотного сообщества.

Методика исследований

Объектом исследования служили образцы почв с разной степенью засоления, отобранные с земельных участков правобережной части Шаульдерского массива орошения (Отырарский район Туркестанской области Республики Казахстан). Почвы отнесены к типу лугово-сероземных (meadow-serozem soils) [8, 14, 20, 41].

Климат Отырарского района – резко континентальный. Среднегодовая температура составляет +9...+12°C. Средняя продолжительность теплого периода составляет 250–280 дней, а безморозного – 165–175 дней. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 200–300 мм, 75–80% от годовой суммы приходится на зимне-весенний период [14, 20].

Почвенный покров представлен лугово-сероземными засоленными (солончаковыми и солончаковатыми) почвами, лугово-сероземными солончаковыми солонцами, а также солончаками на слабослоистых глинистых и суглинистых четвертичных древнеаллювиальных отложениях. На более тяжелых и засоленных породах в условиях сильной минерализации грунтовых вод формируются солонцы и солончаки. Для микропонижений рельефа характерны лугово-болотные засоленные почвы и сероземно-луговые солончаковые солонцы, луговые солончаки, а также обыкновенные солончаки. Преобладающий тип засоления – хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный, иногда с присутствием нормальной соды. Все почвы Шаульдерского массива карбонатны и характеризуются высокой (рН 8–9 ед. рН) щелочностью [20, 26].

Отбор почвенных образцов проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–84 [5] методом конверта. Образец № 1 (P-253A) отбирался из пахотного горизонта слабозасоленной лугово-сероземной почвы, участок 139; образец № 2 (P-264A) – из очень сильнозасоленной лугово-сероземной почвы, соответственно 138 участок (рис. 1).

Согласно классификации засоленных почв почва участка 139 (P-253A) была отнесена к слабозасоленной (суммарное содержание солей в диапазоне 0,2–0,6%), а почва участка 138 (P-264A) – к очень сильнозасоленной (суммарное содержание солей >1,4%) (табл. 1).

При классификации почв по степени засоления были использованы градации, предложенные Н.И. Базилевич, Е.И. Панковой (1972) [2], для гипсоносных почв с хлоридно-сульфатным типом засоления. Характеристика почвенных образцов представлена в таблице 2.

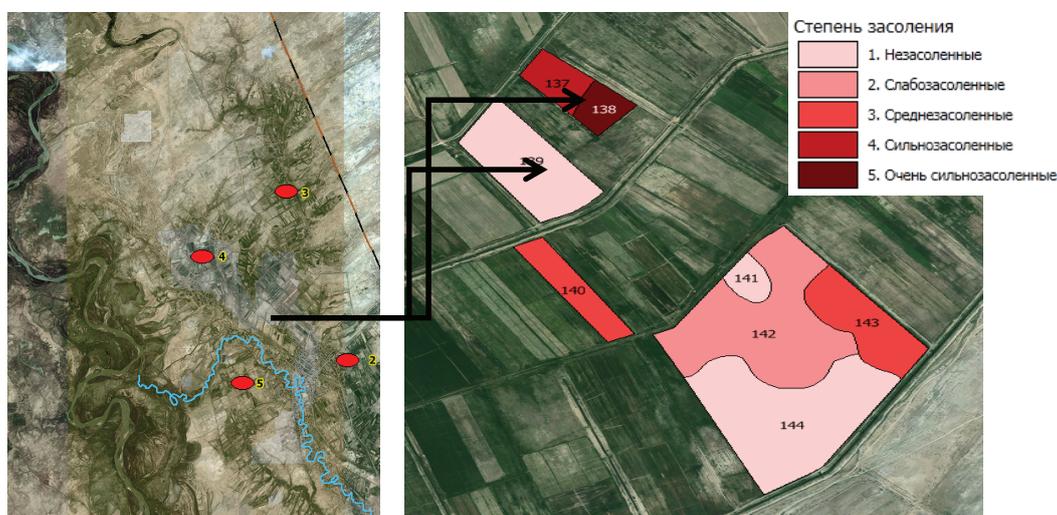


Рис. 1. Схема отбора образцов почв

Таблица 1

Группировка почв по степени засоления [2]

№	Группа	Общая сумма солей, %
1	Незасоленные	<0,2
2	Слабозасоленные	0,2–0,6
3	Среднезасоленные	0,6–0,9
4	Сильнозасоленные	0,9–1,4
5	Очень сильнозасоленные	>1,4

Таблица 2

Характеристики почвенных образцов

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Координаты		Гумус общ., %	Азот, легкогидрол., мг/кг	P ₂ O ₅ подв., мг/кг	K ₂ O обмен., мг/кг	pH _{ксл}	Общая Σ солей, %
		Долгота	Широта						
P-253A	0–20	68,42183	42,7697	0,81	45,5	18	270	8,7	0,26
P-264A	0–20	68,41886	42,7790	0,39	61,6	31	610	9,1	2,29

Обе почвы характеризуются низкой гумусированностью и высокой щелочностью. Однако процентное содержание гумуса в слабозасоленной почве примерно в два раза ниже, чем в очень сильнозасоленной. В то же время слабозасоленная почва более бедна подвижными формами азота, фосфора и калия.

Выделение тотальной ДНК. Экстракцию тотальной ДНК из образцов почв проводили с помощью набора DNeasy Power Soil Kit (Qiagen, Германия) согласно протоколу производителя. Для экстракции использовали навески массой 0,5 г.

ДНК-метабаркодирование. Для проведения анализа проводили амплификацию V3-V4 региона гена 16S рНК с использованием универсальных праймеров 341F и 806R. На втором этапе к полученным ПЦР-фрагментам довели специальные адаптеры, необходимые для дальнейшего баркодирования ПЦР-фрагментов, что позволяет их секвенировать одновременно. Для этого проводили реамплификацию с праймерами: 341F_IL и 806R_IL.

Нуклеотидную последовательность полученных ПЦР-фрагментов определяли с помощью высокопроизводительного секвенатора MiSeq (Illumina, США).

Биоинформатический анализ результатов секвенирования. Обработку данных секвенирования проводили с использованием программы Flash [43]. Удаление технических последовательностей, низкокачественных чтений отдельных нуклеотидов, фильтрацию химерных последовательностей, выравнивание прочтений на референсную последовательность 16S рНК, кластеризацию всех полученных последовательностей по таксономическим единицам проводили с использованием Usearch [45]. Для определения размера кластеров (оперативных таксономических единиц – ОТЕ) в каждом образце все исходные объединенные чтения, включая синглтоны и низкокачественные прочтения, накладывались на репрезентативные последовательности ОТЕ с минимальной 97%-ной идентичностью на всей длине. Таксономическую классификацию полученных ОТЕ проводили по базе последовательностей 16S рНК RDP database [49]. Анализ проведен на базе Федерального исследовательского центра ЦКП «Биоинженерия» и Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии».

Статистические анализы проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica. Общее разнообразие прокариотных сообществ (α -разнообразие) оценивали по следующим показателям: количество выделенных таксономических единиц (OTU), индекс Шеннона, индекс Чаяо 1 и индекс Симпсона [27].

Результаты и их обсуждение

Таксономическая структура бактериальных сообществ лугово-сероземных почв разной степени засоления. Как показал метагеномный анализ, бактериальные сообщества лугово-сероземных почв разной степени засоленности кардинально различаются. В слабозасоленных почвах прокариотный комплекс более разнообразен и представлен 13 филумами бактерий, 10 из которых (*Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Verrucomicrobia*, *Acidobacteria*, *Chloroflexi*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes*, *Planctomycetes*, *Saccharibacteria*) (рис. 2) суммарно составляют примерно 99% прокариотного сообщества. Оставшийся 1% включает в себя фотосинтезирующих микроорганизмов *Cyanobacteria* и *Chlorobi*. Также стоит отметить представителей нитрифицирующих микроорганизмов филума *Nitrospirae*, которые осуществляют вторую стадию нитрификации.

Преобладают в слабозасоленной почве представители филума *Proteobacteria*, которые составляют 43% от общего числа. Протеобактерии, по данным ряда исследователей, часто доминируют в почвенных микробных ассоциациях [24, 48, 50]. Филум *Proteobacteria* – один из наиболее многочисленных, объединяющий грамотрицательные бактерии разнообразных морфологических типов с различными физиологическими функциями.

Протеобактерии подразделяются на классы *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria*, *Epsilonproteobacteria*, *Zetaproteobacteria*. В почве и ризосфере растений наиболее распространены *Alphaproteobacteria* и *Gammaproteobacteria*, среди которых встречаются как симбионты, так и фитопатогены. *Gammaproteobacteria* – наиболее многочисленный таксон, который включает в себя примерно 250 родов и является более богатым, чем все филумы бактерий, кроме *Firmicutes* [39, 48]. Представители этого класса демонстрируют широкий диапазон аэробности, трофики, включая в себя хемоавтотрофность и фотоавтотрофность, а также адаптации к температуре [44].

Второе место занимают *Actinobacteria* (19%), третье – *Bacteroidetes* (12%). Довольно значительное количество (7%) приходится на *Verrucomicrobia*. Согласно этим данным исследованная почва характеризуется высоким биоразнообразием. По данным М.В. Семенова и др. (2019), современный чернозем характеризуется доминированием 7 основных филумов прокариот [24].

Что касается сильнозасоленной лугово-сероземной почвы (рис. 3), то количество выявленных таксонов на уровне филума значительно ниже. Структура прокариотных сообществ представлена 4 филумами бактерий: *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*. Доминируют грамположительные актинобактерии (31%), второе место занимают *Bacteroidetes* (24%), всего на 1% от них отстают *Firmicutes*.

Грамотрицательные протеобактерии, преобладающие в слабозасоленной почве, занимают лишь четвертое место (17%) в очень сильнозасоленной почве. Полученные данные согласуются с результатами, полученными при анализе микробиомов почв солонцового комплекса Прикаспийской низменности, где доминировали представители филумов *Actinobacteria* и *Proteobacteria* [28].

Следует отметить, что *Actinobacteria*, особенно их мицелиальные представители (актиномицеты), приспособлены к местообитаниям с низкой влажностью [9–11, 13]. Это дает им преимущество в распространении в условиях сухого жаркого климата. Поэтому доля представителей филума *Actinobacteria* в общей биомассе домена *Bacteria* в данных условиях возрастает [9].

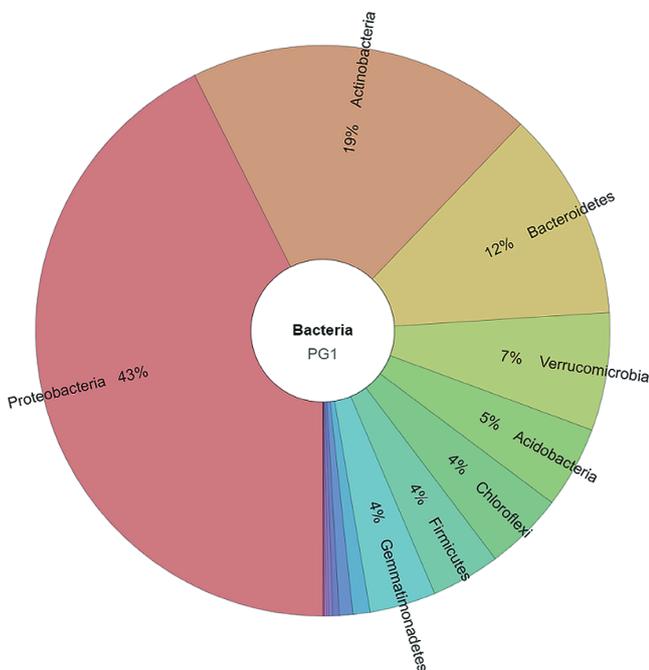


Рис. 2. Структура микробиома на уровне филума пахотного горизонта слабозасоленной лугово-сероземной почвы

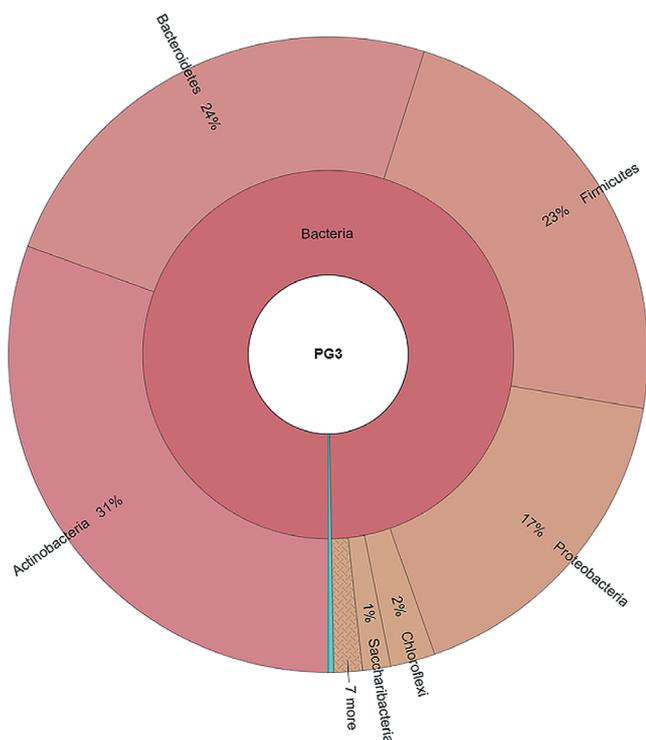


Рис. 3. Структура микробиома на уровне филума пахотного горизонта очень сильнозасоленной лугово-сероземной почвы

Увеличение доли представителей филума *Actinobacteria* в структуре микробиома очень сильнозасоленной лугово-сероземной почвы по сравнению со слабозасоленной почвой является вполне логичным, поскольку известно, что актинобактерии способны развиваться даже при низких коэффициентах доступности воды. А повышение засоленности почвы, и соответственно осмоларности, напрямую связано с доступностью свободной воды [12].

С достаточной степенью вероятности можно предполагать, что представители филума *Actinobacteria* в прокариотном комплексе исследуемой почвы более устойчивы к засолению, чем остальные представители домена *Bacteria*. В частности, стрептомицеты способны поддерживать высокое осмотическое давление в клетке, что объясняет их значительное распространение в засоленных почвах [10, 11, 13].

Firmicutes составляют 23% микробиома очень сильнозасоленной почвы, в то время как для слабозасоленной почвы их доля не превышала 4%. *Firmicutes* – грамположительные бактерии, преимущественно гидролитики, среди которых есть как аэробы, так и анаэробы (факультативные, облигатные и аэротолерантные), в большинстве своем культивируемые. Поэтому они считались преобладающими в почвенных микробных сообществах, когда для анализа использовали метод посева на чашки Петри [7, 19].

Представители филума *Verrucomicrobia* в очень сильнозасоленной почве выявлены не были. Имеются данные о том, что веррукомикробии реагируют на содержание органического вещества в почве [24].

Филум *Nitrospirae* в очень сильнозасоленной почве также не был выявлен. Это может быть связано как с низким уровнем плодородия исследуемых почв, так и с чувствительностью представителей данных таксонов к высокому содержанию солей. Ранее было высказано предположение [24] о том, что соотношение *Verrucomicrobia/Nitrospirae* может быть использовано в качестве диагностического показателя, указывающего, в частности, на обеспеченность органическим веществом.

М.А. Ибраевой с соавт. (2021) было проведено почвенно-агрохимическое обследование Шаульдерского массива орошения, результаты которого свидетельствуют о том, что 99,0%, или 1485,4 га почв обследованной территории, имеют очень низкое содержание гумуса. Эти результаты свидетельствуют о деградации почв, одним из факторов этой деградации является дегумификация [14, 20]. В то же время Т.И. Чернов и др. (2018) при исследовании

таксономической структуры погребенных почв установили, что доля филума *Verrucomicrobia* в микробиоме сильно снижается при погребении почвы и отрицательно связана с мощностью насыпи [30].

Таким образом, отсутствие представителей филума *Verrucomicrobia* в очень сильнозасоленной почве может быть связано как с низким содержанием органического вещества в пахотном горизонте, так и с засоленностью почвы, а также со снижением доступности кислорода.

Анализ данных видового разнообразия. α -разнообразии характеризует таксоны внутри сообщества, их богатство (количество таксонов в сообществе) и выравненность (относительное обилие). Видовое разнообразие в различных экосистемах рассчитывается по статистическим индексам, а именно по индексу Шеннона, индексу Симпсона и индексу Chao1 [18, 27, 35]. Первые два индекса позволяют оценить разнообразие видов и выравненность сообщества. Чем выше значение индекса Шеннона, тем стабильнее равновесие между всеми компонентами микробного сообщества.

Анализ данных показывает (табл. 3), что количество таксономических единиц (ОТЕ), выявленных в очень сильнозасоленной почве, примерно в два раза ниже, чем в слабозасоленной. В целом для анализируемых почв характерно весьма низкое количество таксономических единиц (845 в слабозасоленной и всего 410 – в очень сильнозасоленной лугово-сероземной почве). Аналогичная картина наблюдается при анализе разнообразия на основании индекса Chao1, позволяющего оценить реальное количество ОТЕ в сообществе [25].

Снижение видового разнообразия может быть связано как с токсичным действием солей, так и с нарушением водно-воздушного режима в очень сильнозасоленной почве. Т.И. Чернов и др. (2017) отмечали [27], что более существенными факторами, влияющими на биоразнообразие почв аридной зоны, в частности, солонцов, являются содержание влаги и плотность почвы. Кроме того, ранее было отмечено, что в исследуемых почвах содержание органического вещества крайне низкое.

Видовое разнообразие согласно индексу Шеннона примерно на 20% выше в слабозасоленных лугово-сероземных почвах. Данный факт подтверждается результатами таксономического анализа образцов. Спецификой этого индекса является то, что большое значение придается редким видам. Значения этого индекса для исследованных почв вполне сопоставимы со значениями, полученными другими исследователями [25, 28, 30].

Индекс Симпсона отображает меру доминирования вида. Этот показатель чувствителен к присутствию распространенных видов, но слабо отображает видовое богатство. Чем ярче выражено доминирование одной группы микроорганизмов в сообществе, тем выше значения индекса Симпсона [27]. Индекс Симпсона указывает на широкое распространение видов в обеих почвах без явного доминирования отдельных таксонов, однако наблюдается тенденция сокращения видового разнообразия в случае очень сильнозасоленных лугово-сероземных почв.

Таблица 3

Индексы видового разнообразия в микробиоме исследуемых почв

Наименование почвы	Количество таксономических единиц (ОТЕ)	Индекс Chao1	Индекс Шеннона	Индекс Симпсона
Слабозасоленная лугово-сероземная почва	845	857	8,828	0,99
Очень сильнозасоленная лугово-сероземная почва	410	463	6,782	0,98

Выводы

Установлено значительное сокращение разнообразия микробиома на уровне филума при повышении уровня засоления почв (на примере лугово-сероземных почв Шаульдерского массива орошения). Структура прокариотных сообществ лугово-сероземной очень сильзасоленной почвы представлена 4 филумами бактерий: *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, в то время как в слабозасоленной почве было выявлено 13 филумов бактерий (*Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Verrucomicrobia*, *Acidobacteria*, *Chloroflexi*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes*, *Planctomycetes*, *Saccharibacteria*, *Cyanobacteria*, *Chlorobi*, *Nitrospirae*).

Видовое разнообразие микробиома лугово-сероземных почв Шаульдерского массива орошения согласно индексу Шеннона примерно на 20% выше на слабозасоленных почвах по сравнению с очень сильнозасоленными. Индекс Chao1 и количество таксономических единиц (ОТЕ) также указывают на снижение примерно в два раза α -разнообразия в микробиоме очень сильнозасоленной почвы.

Подтверждена экологическая значимость проблемы вторичного засоления почв. С повышением содержания солей в почвах видовое разнообразие бактериальной компоненты микробного сообщества сокращается, что можно считать одним из показателей деградации почвы.

Список источников

1. Андронов Е.Е., Петров С.Н., Пинаев А.Г., Першина Е.В., Рахимгалиева С.Ж., Ахмеденов К.М., Горобец А.В., Сергалиев Н.Х. Изучение структуры микробного сообщества почв разной степени засоления с использованием T-RFLP и ПЦР с детекцией в реальном времени // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 173–183.
2. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 1972. – Вып. 5. – С. 36–40.
3. Галиев В.В., Цырульников А.О. Сравнение методов выделения метагеномной ДНК из образцов почвы // Вестник НГПУ. – 2011. – № 1. – С. 75–84.
4. Глазовский Н.Ф. Аральский кризис: Причины возникновения и пути выхода // Наука. – 1990. – 136 с.
5. ГОСТ Р 58595–2019. Почвы. Отбор проб. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 6 с.
6. Гришко В.Н., Сыщикова О.В., Зенова Г.М., Кожевин П.А., Дуброва М.С., Лубсанова Д.А., Чернов И.Ю. Мицелиальные актинобактерии засоленных почв аридных территорий Украины и России // Почвоведение. – 2015. – № 1. – С. 81–86.
7. Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. – 2015. – № 9. – 1087 с.
8. Дурасов А.М., Тазабеков Т.Т. Почвы Казахстана: Коллективная монография. – Алма-Ата: Кайнар, 1981. – 152 с.
9. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов. – М.: Изд-во ГЕОС, 2001. – 256 с.
10. Зенова Г.М., Манучаров А.С., Грачева Т.А., Степанова О.А., Звягинцев Д.Г. Экологические особенности актиномицетных комплексов засоленных почв // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: Тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. – 2016. – С. 222–223.
11. Зенова Г.М., Звягинцев Д.Г., Манучарова Н.А., Степанова О.А., Чернов И.Ю. Актиномицетный комплекс светлого серозема предгорий Копетдага // Почвоведение. – 2016. – № 10. – С. 1214–1217. doi: 10.7868/S0032180X16100166.
12. Зенова Г.М., Дуброва М.С., Грачева Т.А., Кузнецова А.И., Степанова О.А., Чернов И.Ю., Манучаров А.С. Актиномицетные комплексы почв Приэльтона // Вестник Московского университета. Серия 17 «Почвоведение». – 2016. – № 4. – С. 43–46.
13. Зенова Г.М., Кожевин П.А., Манучарова Н.А., Лубсанова Д.А., Дуброва М.С. Экофизиологические особенности актиномицетов пустынных почв Монголии // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2014. – № 3. – С. 246.

References

1. Andronov E.E., Petrov S.N., Pinaev A.G., Pershina E.V., S.ZH. Rahimgaliev K.M. Ahmedenov, Gorobets A.V., Sergaliev N.Kh. Izuchenie struktury mikrobnogo soobshchestva pochv raznoy stepeni zasoleniya s ispol'zovaniem T-RFLP i PTsR s detektsiyey v real'nom vremeni [Studying the microbial community structure of soils of different salinity levels using T-RFLP and real-time PCR]. Pochvovedenie. 2012; 2: 173–183. (In Rus.).
2. Bazilevich N.I., Pankova E.I. Opyt klassifikatsii pochv po sodержaniyu toksichnykh soley i ionov [Experience in classifying soils by toxic salt and ion content]. Byul. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva. 1972;5:36–40. (In Rus.).
3. Galiev V.V., Tsyryl'nikov A.O. Sravnenie metodov vydeleniya metagenomnoy DNK iz obraztsov pochvy [Comparison of methods for the isolation of metagenomic DNA from soil samples]. Vestnik NGPU. 2011;1:75–84. (In Rus.).
4. Glazovskiy N.F. Aral'skiy krizis: Prichiny vozniknoveniya i puti vykhoda [The Aral Sea crisis: Causes and solutions]. Nauka, 1990: 136. (In Rus.).
5. GOST R58595–2019 Pochvy. Otbor prob. [GOST R58595–2019 Soils. Sampling. Moscow: Standartinform. 2019: 6. (In Rus.).
6. Grishko V.N., Syshchikova O.V., Zenova G.M., Kozhevina P.A., Dubrova Lubsanova M.S., D.A., Chernov I.Yu. Mitselial'nye aktinobakterii zasolennykh pochv aridnykh territoriy Ukrainy i Rossii [Mycelial actinobacteria of saline soils in arid areas of Ukraine and Russia]. Pochvovedenie. 2015; 1: 81–86. (In Rus.).
7. Dobvol'skaya T.G., Zvyagintsev D.G., Chernov I.Yu., Golovchenko A.V., Zenova G.M., Lysak L.V., Manucharova N.A., Marfenina O.E., Polyanskaya L.M., Stepanov A.L., Umarov M.M. Rol' mikroorganizmov v ekologicheskikh funktsiyakh pochv [The role of microorganisms in the ecological functions of soils]. Pochvovedenie. 2015; 9: 1087. (In Rus.).
8. Durasov A.M., Tazabekov T.T. Pochvy Kazahstana: Kollektivnaya monografiya. [Soils of Kazakhstan: collective monograph]. Alma-Ata, Kaynar, 1981: 152. (In Rus.).
9. Zvyagintsev D.G., Zenova G.M. Ekologiya aktinomitsetov [Ecology of actinomycetes]. M.: Izd-vo GEOS, 2001: 256. (In Rus.).
10. Zenova G.M., Manucharov A.S., Gracheva T.A., Stepanova O.A., Zvyagintsev D.G. Ekologicheskie osobennosti aktinomitsetnykh kompleksov zasolennykh pochv [Ecological features of actinomycete complexes in saline soils]. Pochvovedenie – proizvod'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti strany. Tezisy dokladov VII s'ezda Obshchestva pochvedov im. V.V. Dokuchaeva i Vserossiyskot s mezhdunarodnym uchastiem nauchnoy konferentsii. 2016: 222–223. (In Rus.).
11. Zenova G.M., Zvyagintsev D.G., Manucharova N.A., Stepanova O.A., Chernov I.Yu. Aktinomitsetnyy kompleks svetlogo serozema predgoriy Kopetdaga [Actinomycete complex of the light grey soil of the Kopetdag foothills]. Pochvovedenie. 2016; 10: 1214–1217. doi: 10.7868/S0032180X16100166 (In Rus.).
12. Zenova G.M., Dubrova M.S., Gracheva T.A., Kuznetsova A.I., Stepanova O.A., Chernov I.Yu., Manucharov A.S. Aktinomitsetnye komplekсы pochv Priel'ton'ya [Actinomycete complexes of the soils of the Elton region]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie. 2016; 4: 43–46. (In Rus.).
13. Zenova G.M., Kozhevina P.A., Manucharova N.A., Lubsanova D.A., Dubrova M.S. Ekofiziologicheskie osobennosti aktinomitsetov pustynnykh pochv Mongolii [Ecophysiological features of actinomycetes of desert soils in Mongolia]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya. 2014; 3: 246. (In Rus.).

14. *Ибраева М.А., Отаров А., Дуйсеков С., Бейсенова Г., Сулейменова А., Пошанов М.* Оценка основных показателей плодородия почв средней части Шаульдерского массива орошения по результатам почвенноагрохимической съемки // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2. – С. 30–45.
15. *Лебедева М.П., Конюшкова М.В.* Временные изменения микропризнаков в целинных и мелиорированных солонцах Джаныбекского стационара // Почвоведение. – 2011. – № 7. – С. 818–831.
16. *Лубсанова Д.А., Зенова Г.М., Кожевин П.А., Мануچارова Н.А., Шваров А.П.* Мицелиальные актинобактерии засоленных почв аридных территорий // Вестник Московского университета. – 2014. – № 2. – С. 44–48. doi: 10.3103/S0147687414020057.
17. Международное информационное агентство «КазИнформ». – www.inform.kz.
18. *Мэгарран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение. – М.: Мир, 1992. – 184 с.
19. *Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л.* Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение. – 2022. – № 2. – С. 228–243. doi: 10.31857/S0032180X22020095
20. *Отаров А., Ибраева М.А., Усипбеков М., Wilkomirski B., Suska-Malawska M.* Краткая характеристика почвенного покрова и анализ современного состояния плодородия почв Южно-Казахстанской области // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – С. 70–76.
21. *Першина Е.В., Тамазян Г.С., Дольник А.С., Пинаев А.Г., Сергалиев Н.Х., Андронов Е.Е.* Изучение структуры микробного сообщества засоленных почв с использованием высокопроизводительного секвенирования // Экологическая генетика. – 2012. – Т. 10, № 2. – С. 32–40.
22. *Равин Н.В., Марданов А.В., Скрыбин К.Г.* Метагеномика как инструмент изучения «некультивируемых» микроорганизмов // Генетика. – 2015. – № 5. – С. 519–626. doi: 10.7868/S0016675815050069.
23. *Савин И.Ю., Отаров А.В., Жоголев А.В., Ибраева М.А., Дуйсеков С.* Выявление многолетних изменений площади засоленных почв Шаульдерского орошаемого массива по космическим снимкам Landsat // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2014. – № 74. – С. 49–65. doi: 10.19047/0136-1694-2014-74-49-65.
24. *Семенов М.В., Чернов М.В., Семенов Т.И., Железова А.Д., Никитин Д.А., Тхакахова А.К., Иванова Е.А., Ксенофонтова Н.А., Сычева С.А., Колганова Т.В., Кутовая О.В.* Микробные сообщества межледниковых и интерстадиальных палеопочв позднего плейстоцена // Почвоведение. – 2020. – № 6. – С. 716–725. doi: 10.31857/S0032180X20060106.
25. *Тихонович И.А., Чернов А.Д., Железова А.К., Тхакахова Е.Е., Андронов О.В., Кутовая Т.И.* Таксономическая структура прокариотных сообществ почв разных биоклиматических зон // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2018. – № 95. – С. 125–153. doi: 10.19047/0136-1694-2018-95-125-153.
14. *Ibraeva M., Otarov A., Duiysekov S., Beysenova G., Suleymenova A., Poshanov M.* Otsenka osnovnykh pokazateley plodorodiya pochv sredney chasti Shaul'derskogo massiva orosheniya po rezul'tatam pochvennoagrokhimicheskoy s'yemki [Assessment of the main soil fertility indicators of the middle part of the Shauldera irrigation massif based on the results of a soil-agrochemical survey]. Pochvovedenie i agrokimiya. 2019; 2: 30–45. (In Rus.).
15. *Lebedeva M.P., Konyushkova M.V.* Vremennyye izmeneniya mikropriznakov v tselinnykh i meliorirovannykh solonchakh Dzhan'yebkenskogo statsionara [Temporal changes in micro-signs in virgin and reclaimed solonchaks in the Dzhan'yebek stationary area]. Pochvovedenie #7. 2011: 818–831. (In Rus.).
16. *Lubsanova D.A., Zenova G.M., Kozhevin P.A., Manucharova N.A., Shvarov A.P.* Mitselial'nye aktinobakterii zasolennykh pochv aridnykh territoriy [Mycelial actinobacteria of saline soils in arid areas]. Vestnik Moskovskogo universiteta. 2014; 2: 44–48. doi: 10.3103/S0147687414020057 (In Rus.).
17. Mezhdunarodnoe informatsionnoe agentstvo "KazInform". [Electronic source]. URL: http://www.inform.kz (In Rus.).
18. *Megarran E.* Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie [Ecological diversity and its measurement]. M.: Mir, 1992: 184. (In Rus.).
19. *Nikitin D.A., Semenov M.V., Chernov T.I., Ksenofontova N.A., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Khitrov N.B., Stepanov A.L.* Mikrobiologicheskie indikatory ekologicheskikh funktsiy pochv (obzor) [Microbiological indicators of soil ecological functions (overview)]. Pochvovedenie. 2022; 2: 228–243. doi: 10.31857/S0032180X22020095 (In Rus.).
20. *Otarov A., Ibraeva M.A., Usipbekov M., Wilkomirski B., Suska-Malawska M.* Kratkaya kharakteristika pochvennogo pokrova i analiz sovremennogo sostoyaniya plodorodiya pochv Yuzhno-Kazhanskoy oblasti [Brief characterisation of the soil cover and analysis of the current state of soil fertility in South Kazakhstan Oblast]. Pochvovedenie i agrokimiya. 2008: 70–76. (In Rus.).
21. *Pershina E.V., Tamazyan G.S., Dol'nik A.S., Pinaev A.G., Sergaliev N.H., Andronov E.E.* Izuchenie struktury mikrobnogo soobshchestva zasolennykh pochv s ispol'zovaniem vysokoproizvoditel'nogo sekvenirovaniya [Studying the microbial community structure of saline soils using high-throughput sequencing]. Ekologicheskaya genetika. 2012; 10 (2): 32–40. (In Rus.).
22. *Ravin N.V., Mardanov A.V., Skryabin K.G.* Metagenomika kak instrument izucheniya "nekul'tiviruemykh" mikroorganizmov [Metagenomics as a tool for the study of 'unculturable' micro-organisms]. Genetika #5. 2015: 519–626. doi: 10.7868/S0016675815050069 (In Rus.).
23. *Savin I.Yu., Otarov A.V., Zhogolev A.V., Ibraeva M.A., Duiysekov S.* Vyyavlenie mnogoletnykh izmeneniy ploshchadi zasolennykh pochv Shaulyderskogo oroshayemogo massiva po kosmicheskim snimkam Landsat [Identifying multi-year changes in the area of saline soils in the Shauldera irrigated area using Landsat satellite images]. Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva. 2014; 74: 49–65. doi: 10.19047/0136-1694-2014-74-49-65 (In Rus.).
24. *Semenov M.V., Chernov M.V., Semenov T.I., Zhelezova A.D., Nikitin D.A., Tkhakakhova A.K., Ivanova E.A., Ksenofontova N.A., Sycheva S.A., Kolganova T.V., Kutovaya O.V.* Mikrobnye soobshchestva mezhl'dnikovyykh i interstadial'nykh paleopochv pozdnego pleystotsena [Microbial communities of Late Pleistocene interglacial and interstadial palaeo-soils]. Pochvovedenie. 2020; 6: 716–725. doi: 10.31857/S0032180X20060106 (In Rus.).
25. *Tikhonovich I.A., Chernov T.I., Zhelezova A.D., Tkhakakhova A.K., Andronov E.E., Kutovaya O.V.* Taksonomicheskaya struktura prokariotnykh soobshchestv pochv raznykh bioklimaticheskikh zon [Taxonomic structure of prokaryotic communities of soils in different bioclimatic zones]. Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2018; 95: 125–153. doi: 10.19047/0136-1694-2018-95-125-153 (In Rus.).

26. *Tokseitova G.A.* Характеристика микростроения естественных и орошаемых лугово-сероземных почв юго-востока Казахстана // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – С. 86–91.
27. *Чернов Т.И., Тхакахова А.К., Кутовая О.В.* Оценка различных индексов разнообразия для характеристики почвенного прокариотного сообщества по данным метагеномного анализа // Почвоведение. – 2015. – С. 462–468.
28. *Чернов Т.И., Лебедева М.П., Тхакахова А.К., Кутовая О.В.* Профильный анализ микробиомов сопряженных почв солонцового комплекса Прикаспийской низменности // Почвоведение. – 2017. – № 1. – С. 71–76. doi:10.7868/S0032180X1701004X.
29. *Чернов Т.И., Тхакахова А.К., Лебедева М.П., Железова А.Д., Бгажба Н.А., Кутовая О.В.* Микробиомы контрастных по засолению почв солонцового комплекса Волго-Уральского междуречья // Почвоведение. – 2018. – № 9. – С. 1115–1124. doi: 10.1134/S0032180X18090046.
30. *Чернов Т.И., Железова А.Д., Кутовая О.В., Макеев А.О., Тхакахова А.К., Бгажба Н.А., Курбанова Ф.Г., Русаков А.В., Пузанова Т.А., Хохлова О.С.* Сравнительная оценка структуры микробиомов погребенных и современных почв при помощи анализа микробной ДНК / Т.И. Чернов, // Микробиология. – 2018. – Т. 87, № 6. – С. 737–746. doi: 10.1134/S0026365618060071.
31. Экологические проблемы стран Азии и Африки / Под ред. Д.В. Стрельцова, Р.А. Алиева. – М.: Аспект Пресс, 2012. – 271 с.
32. *Balvanera P., Pfisterer A.B., Buchmann N., He J.S., Nakashizuka T., Raffaelli D., Schmid B.* Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services // *Ecol Lett.* – 2006. – № 9. – Pp. 1146–1156.
33. *Blume E., Bischoff M., Reichert J., Moorman T., Konopka A., Turco R.* Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season // *Applied Soil Ecology.* – 2002. – V. 20. – № 3. – Pp. 171–181.
34. *Castro H.F., Classen A.T., Austin E.E., Norby R.J., Schadt C.W.* Soil microbial community responses to multiple experimental climate change drivers // *Applied and Environmental Microbiology.* – 2010. – V. 76, № 4. – Pp. 999–1007. doi: 10.1007/s00248-004-0211-7.
35. *Chao A.* Nonparametric estimation of the number of classes in a population // *Scandinavian Journal of Statistics.* – 1984. – V. 11. – Pp. 265–270. doi:10.2307/4615964.
36. *Clementino M.M., Vieira R.P., Cardoso A.M., Ventosa A., Martins O.B.* Prokaryotic diversity in one of the largest hypersaline coastal lagoons in the world // *Extremophiles.* – 2008. – 12 (4). – Pp. 595–604. doi:10.1007/s00792-008-0162-x.
37. *Forney L.J., Zhou X., Brown C.J.* Molecular microbial ecology: land of the one-eyed king // *Current Opinion in Microbiology.* – 2004. – V. 7. – № 3. – Pp. 210–220. doi: 10.1016/j.mib.2004.04.015.
38. *Jeffery S., Gardi C.* Soil biodiversity under threat – a review // *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae.* Česká Budějovice. 2010; 74(1–2): 7–12.
26. *Tokseitova G.A.* Kharakteristika mikrostroeniya estestvennykh i oroshaemykh lugovo-serozemnykh pochv yugo-vostoka Kazakhstana [Characteristics of the microstructure of natural and irrigated meadow-sierozem soils in south-east Kazakhstan]. *Pochvovedenie i agrokhimiya.* 2013; 86–91. (In Rus.).
27. *Chernov T.I., Tkhakakhova A.K., Kutovaya O.V.* Otsenka razlichnykh indeksov raznoobraziya dlya kharakteristiki pochvennogo prokariotnogo soobshchestva po dannym metagenomnogo analiza [Assessment of different diversity indices to characterise the soil prokaryotic community by metagenomic analysis]. *Pochvovedenie.* 2015; 462–468. (In Rus.).
28. *Chernov T.I., Lebedeva M.P., Tkhakakhova A.K., Kutovaya O.V.* Profil'nyy analiz mikrobiomov sopryazhennykh pochv solontsovogo kompleksa Prikaspiyskoy nizmennosti [Profile analysis of microbiomes of conjugated soils of the solonetz complex of the Caspian lowland]. *Pochvovedenie.* 2017; 1: 71–76. doi:10.7868/S0032180X1701004X (In Rus.).
29. *Chernov T.I., Tkhakakhova A.K., Lebedeva M.P., Zhelezova A.D., Bgazhba N.A., Kutovaya O.V.* Mikrobiomy kontrastnykh po zasoleniyu pochv solontsovogo kompleksa Volgo-Ural'skogo mezhdurech'ya [Microbiomes of salinity contrasting soils of the Volga-Ural interfluv complex]. *Pochvovedenie.* 2018; 9: 1115–1124. doi: 10.1134/S0032180X18090046 (In Rus.).
30. *Chernov T.I., Zhelezova A.D., Kutovaya O.V., Makeev A.O., Tkhakakhova A.K., Bgazhba N.A., Kurbanova F.G., Rusakov A.V., Puzanova T.A., Khokhlova O.S.* Sravnitel'naya otsenka struktury mikrobiomov pogrebennykh i sovremennykh pochv pri pomoshchi analiza mikrobnoy DNK [Comparative assessment of the microbiome structure of buried and modern soils by microbial DNA analysis]. *Mikrobiologiya.* 2018; 87 (6): 737–746. doi: 10.1134/S0026365618060071 (In Rus.).
31. *Ekologicheskie problemy gosudarstv Sredney Azii i Kazakhstana* [Electronic source]. URL: otherreferats.allbest.ru/ecology/00162789_0.html (Access date: 15.05.2020) (In Rus.).
32. *Balvanera P., Pfisterer A.B., Buchmann N., He J-S, Nakashizuka T, Raffaelli D, Schmid B.* Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecol Lett.* 2006 Oct; 9(10): 1146–1156.
33. *Blume E., Bischoff M., Reichert J., Moorman T., Konopka A., Turco R.* Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season. *Applied Soil Ecology.* 2002; 20 (3): 171–181.
34. *Castro H.F., Classen A.T., Austin E.E., Norby R.J., Schadt C.W.* Soil microbial community responses to multiple experimental climate change drivers. *Applied and Environmental Microbiology.* 2010; 76 (4): 999–1007. doi: 10.1007/s00248-004-0211-7.
35. *Chao A.* Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics.* 1984; 11: 265–270. doi:10.2307/4615964.
36. *Clementino M.M., Vieira R.P., Cardoso A.M., Ventosa A., Martins O.B.* Prokaryotic diversity in one of the largest hypersaline coastal lagoons in the world. *Extremophiles.* 2008; 12(4): 595–604. doi:10.1007/s00792-008-0162-x.
37. *Forney L.J., Zhou X., Brown C.J.* Molecular microbial ecology: land of the one-eyed king. *Current Opinion in Microbiology.* 2004; 7 (3): 210–220. doi: 10.1016/j.mib.2004.04.015.
38. *Jeffery S., Gardi C.* Soil biodiversity under threat – a review. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae.* Česká Budějovice. 2010; 74(1–2): 7–12.

Bohemicae. České Budějovice. – 2010. – V. 74 (1–2). – Pp. 7–12.

39. Garrity G.M., Bell J.A., Lilburn T. Class III. Gammaproteobacteria class. nov. // *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. – 2005. – Vol. 2. – P. 1.

40. Gilbert J.A., Dupont C.L. Microbial Metagenomics: Beyond the Genome // *Annual Review of Marine Science*. – 2011. – V. 3 – Pp. 347–371. doi: 10.1146/annurev-marine-120709-142811

41. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports 106. – FAO, Rome, 2014. – 181 p.

42. Lombard N., Prestat E., Elsas J.D.V., Simonet P. Soil-specific limitations for access and analysis of soil microbial communities by metagenomics // *FEMS Microbiology Ecology*. – 2011. – V. 78, № 1. – Pp. 31–49. doi: 10.1111/j.1574-6941.2011.01140.x.

43. Reed H.E., Martiny J.B.H. Testing the functional significance of microbial composition in natural communities // *FEMS Microbiol. Ecol.* – 2007. – V. 62. – Pp. 161–170. doi: 10.1111/j.1574-6941.2007.00386.x.

44. Scott K.M., Sievert S., Abril F., Ball L., Barrett C., et al. The genome of deep-sea vent chemolithoautotroph *Thiomicrospira crunogena* XCL-2 // *PLoS Biol.* – 2006. – V. 4. – 383 p.

45. Bardgett R.D. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems // *Ecol. Lett.* – 2008. – V. 11. – Pp. 296–310. doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x.

46. Ventosa A., Mellado E., Sanchez-Porro C., Marquez Halophilic C. and halotolerant microorganisms from soils // *Microbiology of Extreme Soils*. – 2008. – Pp. 87–115. doi:10.1007/978-3-540-74231-9_5.

47. Vera-Gargallo B., Chowdhury B., Brown T.R., Jansson J., Ventosa J.K. Spatial distribution of prokaryotic communities in hypersaline soils // *Scientific Reports*. – 2019. – V. 9 (1). doi:10.1038/s41598-018-38339-z.

48. Williams K.P., Kelly P., Joseph J., Bruno W. et al. Phylogeny of Gammaproteobacteria // *Dickerman Journal of Bacteriology*. – 2010. – № 9. – V. 192. doi: 10.1128/JB.01480-09.

49. Wang Q., Garrity G., Tiedje J., Cole J. Naïve Bayesian Classifier for Rapid Assignment of rRNA Sequences into the New Bacterial taxonomy // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2007. – 73 (16). – Pp. 5261–5267.

50. Wooley J., Ye Y. Metagenomics: Facts and artifacts, and computation challenges // *Journal of computer Science and Technology*. – 2009. – V. 1 (25). – Pp. 71–81. doi 10.1007/s11390-010-9306-4.

39. Garrity G.M., Bell J.A., Lilburn T. Class III. Gammaproteobacteria class. nov. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2005; 2: 1.

40. Gilbert J.A., Dupont C.L. Microbial Metagenomics: Beyond the Genome. *Annual Review of Marine Science*. 2011; 3: 347–371. doi: 10.1146/annurev-marine-120709-142811.

41. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. FAO, Rome, 2014: 181.

42. Lombard N., Prestat E., van Elsas J.D., Simonet P. Soil-specific limitations for access and analysis of soil microbial communities by metagenomics. *FEMS Microbiology Ecology*. 2011; 78 (1): 31–49. doi: 10.1111/j.1574-6941.2011.01140.x.

43. Reed H.E., Martiny J.B.H. Testing the functional significance of microbial composition in natural communities. *FEMS Microbiol Ecol*. 2007; 62: 161–170. doi: 10.1111/j.1574-6941.2007.00386.x.

44. Scott K.M., Sievert S., Abril F., Ball L., Barrett C., et al. The genome of deep-sea vent chemolithoautotroph *Thiomicrospira crunogena* XCL-2. *PLoS Biol*. 2006; 4: 383.

45. Bardgett R.D. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecol Lett*. 2008; 11: 296–310. doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x.

46. Ventosa A., Mellado E., Sanchez-Porro C., Marquez C. Halophilic and halotolerant microorganisms from soils. *Microbiology of Extreme Soils*. 2008: 87–115. doi:10.1007/978-3-540-74231-9_5

47. Vera-Gargallo V., Chowdhury B., Brown T.R., Jansson J., Ventosa J.K. Spatial distribution of prokaryotic communities in hypersaline soils / V. Vera-Gargallo // *Scientific Reports*. 2019; 9(1). doi:10.1038/s41598-018-38339-z.

48. Williams K.P., Kelly P., Joseph J., Bruno W., et al. Phylogeny of Gammaproteobacteria. *Dickerman Journal of Bacteriology*. 2010; 192 (9). doi: 10.1128/JB.01480-09.

49. Wang Q., Garrity G., Tiedje J., Cole J. Naïve Bayesian Classifier for Rapid Assignment of rRNA Sequences into the New Bacterial taxonomy. *Appl Environ Microbiol*. 2007; 73(16): 5261–5267.

50. Wooley J., Ye Y. Metagenomics: Facts and artifacts, and computation challenges. *Journal of computer Science and Technology*. 2009; 1(25): 71–81. doi 10.1007/s11390-010-9306-4.

Сведения об авторах

Ольга Валентиновна Селицкая, к.б.н., доцент, доцент кафедры микробиологии и иммунологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д.49, oselitskaya@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4846-6363>.

Мария Аменовна Ибраева, к.с.-х.н., зав. отделом плодородия и биологии почв ТОО «Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова», 050060, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 75 В, ibraevamar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8635-2909>.

Анна Андреевна Ванькова, к.б.н., доцент, доцент кафедры микробиологии и иммунологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д.49, avankova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5473-9714>.

Андрей Владимирович Козлов, д.б.н., доцент, зав. кафедрой микробиологии и иммунологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д.49, a.kozlov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3034-6566>.

About the authors

Olga V. Selitskaya, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: oselitskaya@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4846-6363>.

Maria A. Ibraeva, CSc (Ag), Head of the Department of Soil Fertility and Biology, Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U. Uspanov (75 Al-Farabi Av., Almaty, 050060, Republic of Kazakhstan); E-mail: ibraevamar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8635-2909>.

Anna A. Vankova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: avankova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5473-9714>.

Andrey V. Kozlov, DSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: a.kozlov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3034-6566>.

Научная статья

УДК 637.07

doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-46-52



Исследование эффективности применения методов микроскопии для экспресс-оценки качества охлажденного мяса птицы с различной степенью порчи продукции

*Асият Мухтаровна Абдуллаева¹, Екатерина Андреевна Колбецкая^{1,2},
Лариса Петровна Блинкова², Румия Камилевна Валитова^{1,2}*

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Андреевна Колбецкая, Katy0203@mail.ru

Аннотаци. Рассматриваются результаты практического использования микроскопического анализа, как экспресс-теста для получения информации о свежести охлажденного мяса птицы, которое было отобрано по критериям потребления на рынке пищевой продукции. Перед исследованиями образцы были зашифрованы для объективности проводимой оценки. В соответствии с целями исследования изучены несколько продуктов разных видов птицы отечественных производителей, реализуемых в наибольших количествах и имеющих отличающиеся сроки годности. Испытания образцов проводили на 1, 7, 15 сутки хранения продукции. Данные микроскопии сопоставляли с органолептическими исследованиями, которые выполняли параллельно, руководствуясь регламентированным сроком годности, указанным на маркировке каждого исследуемого образца. Кроме того, производили сравнение результатов микроскопии и реального срока хранения продукции. На основе полученных результатов сделаны выводы о потенциальной возможности использования данного метода как экспресс-теста в условиях ограниченного срока годности или недостаточного технического оснащения экспериментальных лабораторий.

Ключевые слова: мясо цыплят-бройлеров, ветеринарно-санитарная экспресс-оценка, микроскопические показатели, степень свежести, безопасность

Для цитирования: Абдуллаева А.М., Колбецкая Е.А., Блинкова Л.П., Валитова Р.К. Исследование эффективности применения методов микроскопии для экспресс-оценки качества охлажденного мяса птицы с различной степенью порчи продукции // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 46–52. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-46-52>

© Абдуллаева А.М., Колбецкая Е.А., Блинкова Л.П., Валитова Р.К.

PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

Original article

doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-46-52

Investigation of the efficiency of microscopy methods as a short-term test of the quality of chilled poultry meat with different degrees of product spoilage

Asiat M. Abdullaeva¹, Ekaterina A. Kolbetskaya^{1,2}, Larisa P. Blinkova², Rumiya K. Valitova^{1,2}

¹ Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia

² I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russia

Corresponding author: Ekaterina A. Kolbetskaya, Katy0203@mail.ru

Abstract. This article discusses the results of the practical use of microscopic analysis as an express test to obtain information about the freshness of chilled poultry meat. Poultry meat was selected according to the criteria of consumption in the food market. Before the research, the samples were encrypted for the objectivity of the assessment. In accordance with the objectives of the study, several products of different types of poultry of domestic producers were studied, sold in the largest quantities and having different expiration dates. The samples were tested on the first, seventh and fifteenth days of product storage. Microscopy data were compared with organoleptic studies, which were performed in parallel, guided by the regulated expiration date indicated on the labeling of each test sample. In addition, microscopy results and the actual shelf life of products were compared. Based on the results obtained, conclusions are drawn about the potential possibility of using this method as an express test in conditions of limited shelf life or insufficient technical equipment of experimental laboratories.

Keywords: meat of broiler chickens, veterinary and sanitary expertise, microscopic indicators, degree of freshness, safety

For citation: Abdullaeva A.M., Kolbetskaya E.A., Blinkova L.P., Valitova R.K. Investigation of the Efficiency of Microscopy Methods as a Short-Term Test of the Quality of Chilled Poultry Meat with Different Degrees of Product Spoilage // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:46–52. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-46-52>

Введение

Выращивание цыплят-бройлеров в настоящее время имеет большое практическое значение в сельском хозяйстве [5]. Россия занимает 4 место по объемам производимого мяса птицы на мировом рынке, причем в ближайшие годы существует вероятность более высоких позиций в данной области в связи с ее активным развитием [3, 4]. В последние годы спрос на мясо птицы значительно вырос, и популяризацию данного вида продукта можно связать со множеством факторов, среди которых – экономическая составляющая, а также вкусовые и диетические предпочтения населения.

Вкусовые качества мяса домашней птицы высоко ценятся в большинстве стран мира. По структуре мясо состоит из тех же тканей, что и мясо животных, но имеет различия по некоторым характеристикам. Так, мясо птицы является более нежным по консистенции, так как содержит малый объем соединительной ткани, и соответственно легче усваивается организмом [4]. Этот факт создает для продуктов птицеводства преимущество по сравнению с мясом животных для ежедневного включения в рацион.

При производстве и реализации продукции требуется проведение контроля ее качества [2, 3, 10–15]. При этом необходимо помнить о таких важных аргументах, как связанная с инфекционными болезнями птицы контаминация изделий и исходного сырья, а также малые сроки годности продуктов питания из птицы [6, 11]. Именно поэтому изучение возможности сокращения экспертизы на биологическую безопасность пищевых продуктов и исходного сырья остается актуальной темой.

Микроскопический метод оценки качества продукта позволит определить его состояние в наиболее короткий срок [6, 7, 14]. Например, можно быстро оценить степень свежести мяса, состояние мышечных волокон, степень обсеменения продукции микробами и примерный состав микробиоты.

Методика исследований

Объекты исследования. Для получения при микроскопическом исследовании сравнительной характеристики продукции из торговой сети были выбраны и зашифрованы 3 образца мяса птицы разных видов и сроков годности от отечественных производителей:

- Образец № 1 – филе цыплят-бройлеров № 1 (срок годности – 10 сут.);
- Образец № 2 – филе цыплят-бройлеров № 2 (срок годности – 7 сут.);
- Образец № 3 – филе грудки индейки (срок годности – 15 сут.).

Вся продукция по термическому показателю относилась к категории «Охлажденная».

Для проведения микроскопического анализа образцов исследование выполняли в соответствии с требованиями нормативных документов. Органолептические показатели мяса (внешний вид, цвет, запах, консистенцию, вкус, сочность) и бульона (внешний вид, аромат, вкус и наваристость) оценивали по 5-балльной шкале [1, 6, 9].

Из каждого образца с помощью стерильных инструментов были приготовлены мазки-отпечатки в условиях, исключающих дополнительное обсеменение продукта. Сначала поверхность каждого образца обрабатывали горящим тампоном, смоченным в спирте. Для исследования поверхностных и глубоких слоев мышц были вырезаны кусочки размером 2,0×1,5×2,5 см. Их прикладывали к предметному стеклу и делали на нем по 3 мазка-отпечатка. Их готовили на четырех предметных стеклах (2 из поверхностных и 2 из глубоких слоев), то есть готовили 12 мазков-отпечатков из образца каждого вида продукции. Затем препараты подсушивали, фиксировали над пламенем горелки и окрашивали по методу Грама.

При окраске проб по Граму для определения грамположительных (G^+) и грамотрицательных (G^-) форм использовали генциановый фиолетовый карболовый, раствор Люголя и раствор фуксина основного, а также 96%-ный этиловый спирт и дистиллированную воду.

Окрашенные мазки-отпечатки микроскопировали с иммерсионным объективом. Количественный учет микробных клеток проводили в 25 полях зрения с расчетом среднего арифметического числа.

Для оценки свежести (табл. 1) применяли характеристики, которые представлены в таблице, в соответствии с ГОСТ 31931–2012.

Данные подвергали статистической обработке с определением средней арифметической (\bar{M}) и ее ошибки (m) при уровне достоверности $p < 0,05$.

Таблица 1

Определение степени свежести мяса птицы по результатам микроскопического исследования (по ГОСТ 31931–2012)

Степень свежести	Характеристика микроскопического исследования
Свежее мясо птицы	Микроорганизмы во всех полях зрения при просмотре мазков-отпечатков не обнаружены или в поле зрения видны не более 10 единичных кокков и/или палочек, следов распада мышц не обнаруживается
Мясо птицы с признаками порчи первой степени	В поле зрения обнаружены не более 30 кокков и/или палочек, а также наблюдаются следы распада тканей (ядра волокон мышц в состоянии распада, слабая исчерченность ткани)
Мясо птицы с признаками порчи второй степени	В поле зрения обнаружены более 30 кокков и/или палочек. Палочки преобладают, определяется значительный распад тканей мышц (ядра мышц практически исчезли, исчерченность почти не выражена)

Результаты и их обсуждение

Результаты микроскопического исследования птицепродуктов приведены в таблицах 2–4 – соответственно после исследований образцов на 1, 7 и 15 сутки хранения в охлажденном состоянии, в условиях бытового холодильника при $(4 \pm 2^\circ\text{C})$.

По данным таблицы 2, все образцы можно отнести к свежему мясу птицы, так как все во всех случаях в поле зрения, обнаружено не более 10 микроорганизмов, что подтверждено органолептическими показателями, по которым мясо птицы являлось доброкачественным. При этом выявлено более высокое заражение по абсолютному значению средних показателей обсеменения образца № 2 (заявленный производителем срок годности – 7 сут.), который имел наименьший срок хранения. Однако все показатели обсеменения статистически равноценны ($p > 0,05$) включая повышенную абсолютную величину, которая также находилась в пределах одной генеральной совокупности цифровых значений.

По результатам органолептической оценки, в первые сутки отклонения в мясе не выявлены, средняя оценка в баллах первой пробы составила: 4,3 балла; пробы № 2–4,1 балла; № 3–4,6 балла (из 5 баллов). После оценки качества мяса проводили пробу варкой. В образцах бульон был прозрачным, наваристым, с незначительным количеством хлопьев, имел приятный аромат, средняя оценка в баллах составила 4,3–4,8 баллов, что свидетельствует о свежести полуфабрикатов из мяса птицы.

Далее требовалось провести исследования после запланированных сроков хранения через 7 и 15 суток.

Таблица 2

Результаты микроскопии мазков-отпечатков в первые сутки исследования

Номер образца	Среднее количество ($\bar{M} \pm m$) кокковых форм (Гр+)	Среднее количество ($\bar{M} \pm m$) палочковидных форм (Гр-)	Общее среднее количество ($\bar{M} \pm m$) микроорганизмов (Гр+ и Гр-)
№ 1	5 ± 1	0	5 ± 1
№ 2	6 ± 1	2 ± 1	8 ± 2
№ 3	3 ± 1	0	3 ± 1

Примечание. Различий между средними величинами не было ($p > 0,05$).

Таблица 3

Результаты микроскопии мазков-отпечатков после 7 суток хранения

Номер образца	Среднее количество ($\bar{M} \pm m$) кокковых форм (Гр+)	Среднее количество ($\bar{M} \pm m$) палочковидных форм (Гр-)	Общее среднее количество ($\bar{M} \pm m$) микроорганизмов (Гр+ и Гр-)
№ 1	13 ± 2	8 ± 2	18 ± 4
№ 2	14 ± 3	9 ± 2	23 ± 5
№ 3	6 ± 1	2 ± 0	8 ± 1

Таблица 3 отражает данные по микроскопии для образцов № 1 и № 3 через 7 суток хранения. Образец № 1 в этот период имел половину срока своей годности. Однако в нем обнаружены признаки порчи 1 степени, что подтверждается органолептическими исследованиями мяса и бульона.

При хранении образцов органолептические показатели снизились. В первой пробе отмечены явные признаки порчи. Поверхность образца была покрыта слизью, цвет по всей поверхности был неоднородным, мышцы дряблые, ямка при надавливании не выравнивается. У образцов № 2 и № 3 цвет почти не изменен, немного бледнее. Слегка чувствовался посторонний запах, мышцы дряблые, ямка при надавливании медленно выравнивалась. Бульон мутный, с большим количеством хлопьев, с легким неприятным запахом. Средняя оценка мяса и бульона при пробе варкой не превышала 2,3–2,5 баллов, что на 1,8–2,3 баллов ниже по сравнению с образцами перед закладкой на хранение. Следовательно, несмотря на действующий по маркировке производителя срок годности продукции, в образце начался процесс порчи под действием жизнедеятельности микроорганизмов-контаминантов с преобладанием кокковых грамположительных форм микробиоты.

Срок годности образца № 2 на момент исследований был превышен на трое суток. Это привело к появлению признаков порчи мяса первой степени, что соответствовало указанному на маркировке сроку годности продукции. Данные показали статистическую достоверность разницы ($p < 0,05$) в совокупной численности грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов с образцом № 3.

Образец № 3 после 7 суток хранения имел признаки свежего мяса, что соответствовало срокам реализации, указанным производителем на упаковке для этого вида продукции. К этому времени прошла только половина установленного срока хранения образца, поэтому его характеристики сохранились на высоком уровне.

Отметим, что в этот период у всех образцов доминировали кокковидные грамположительные бактерии. Разница в более низком уровне общей обсемененности образца № 3 грамположительными и грамотрицательными микроорганизмами была достоверной ($p < 0,05$) по отношению к образцам № 1 и № 2. По-видимому, это указывает на отличия в свойствах мяса индейки от мяса цыплят-бройлеров. Органолептическая оценка состояния мяса после 7 суток хранения со следами начавшегося распада в образцах № 1 и № 2 подтвердила первую степень его порчи.

В таблице 4 представлены результаты завершающего микроскопического исследования. Можно отметить, что образцы № 1 и № 2 следует отнести по бактериоскопическим показателям через 15 суток хранения к мясу птицы с признаками порчи второй степени, что на тот момент полностью соответствовало сроку окончания годности продукции. Отметим также, что в образце № 2 срок годности истек на неделю ранее, чем было проведено данное исследование, поэтому полученные для него показатели подтвердили нарушение сроков реализации. Целесообразно также отметить преобладание в образцах № 2 и № 3 палочковидных грамотрицательных бактерий.

По результатам исследований образцов № 1 и № 2 можно также увидеть разницу в уровне общей микробной контаминации с образцом № 3.

Образец № 3 также превысил срок годности на одни сутки после 15 суток хранения и был близок к состоянию порчи мяса птицы второй степени, хотя после окончания срока реализации (которые составляли 15 суток) прошли всего сутки. По-видимому, происходило более быстрое развитие микробиоты во второй половине срока годности. При этом отмечено не только доминирование грамотрицательных палочковидных форм бактерий у образцов № 2 и № 3, но и повышение общей численности микробов-контаминантов у всех образцов выражено по сравнению с образцом № 3.

Следовательно, выявленные модуляции порчи 2 степени, наблюдавшейся и органолептически подтвержденной у наиболее интенсивно обсемененных образцов мяса цыплят-бройлеров № 1 и № 2 после 15 суток хранения, также являются доказательством эффективности метода микроскопии. Поэтому важно отметить, что с помощью микроскопии нами установлено статистически значимое различие ($p < 0,05$) в меньшем количественном уровне контаминации мяса индейки по сравнению с более обсемененным мясом цыплят-бройлеров.

Таблица 4

Результаты микроскопии мазков-отпечатков после 15 суток хранения

Номер образца	Среднее количество ($M \pm m$) кокковых форм (Гр+)	Среднее количество ($M \pm m$) палочковидных форм (Гр-)	Общее среднее количество ($M \pm m$) микроорганизмов (Гр+ и Гр-)
№ 1	26±5	17±3	43±8
№ 2	25±5	28±4	53±9
№ 3	12±2	15±3	27±5

Результаты исследований показали, что микроскопический анализ позволяет оценить органолептическое и микробиологическое состояние мяса птицы и определить степень свежести продукции. Этот доступный метод оценки помогает в короткий срок быстро ориентироваться в том, каким может быть уровень порчи до получения результатов полной экспертизы продукции. При этом следует учитывать данные микроскопии совместно с органолептическими показателями и соотносить их затем с микробиологической экспертизой. Однако делать окончательный вывод о признаках порчи первой или второй степени продукции исключительно с помощью микроскопии не следует. Это будет лишь определение примерных сроков годности и безопасности продуктов из мяса птицы. Только после получения результатов микробиологического анализа можно сделать исчерпывающий вывод об уровне микробной контаминации продукции и ее пригодности для потребления.

Выводы

По результатам исследования получены следующие выводы.

1. Проведено микроскопическое исследование охлажденного мяса из торговой сети от отечественных производителей наиболее востребованных видов птицы (цыплята-бройлеры, индейка) после хранения 1, 7, 15 суток в условиях бытового холодильника. Метод микроскопии позволил произвести экспресс-оценку качества скоропортящейся мясной продукции.
2. При микроскопии образцов мясной продукции показано, что по средним значениям показателей микробной контаминации мясо птицы в первые сутки хранения было доброкачественным (категория «Свежее») с единичными (до 10 бактериальных клеток), в основном кокковидными грамположительными формами микроорганизмов.
3. После 7 суток хранения образцов мяса в охлажденном виде отмечено увеличение общего количества микробов с преобладанием кокковых грамположительных клеток над палочковидными грамотрицательными бактериями. У образцов № 1 и № 2 выявлена первая степень порчи. Показана статистически значимая разница между более низкими цифровыми показателями микроорганизмов образца № 3 (индейка) и высокими показателями у образцов № 1 и № 2 (цыплята-бройлеры).
4. Через 15 суток хранения уровень микробной контаминации, повысившийся у всех образцов мяса независимо от вида птицы, был статистически равнозначным ($p > 0,05$) и соответствовал по ГОСТ 31931–2012 порче продуктов второй степени. Однако по абсолютным цифровым показателям мясо индейки было менее обсемененным.
5. Выявлена особенность мяса индейки сохранять более низкий уровень контаминации по сравнению с мясом цыплят-бройлеров на всех сроках его изучения. Наблюдения за численностью микробиоты в образце № 3 (индейка) обнаружили к 15 суткам по сравнению с 7 сутками статистически подтвержденную ($p < 0,05$) смену типа микробов с грамположительных кокковых клеток на палочковидные грамотрицательные бактерии.

Список источников

1. Мясо птицы. Методы гистологического и микроскопического анализа: ГОСТ 31931–2012.
2. Абдуллаева А.М., Блинкова Л.П., Валитова Р.К., Хокканен М.А. Микробиологический мониторинг контаминации птицепродуктов // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии: Российский журнал. – 2020. – № 3 (35). – С. 291–303.
3. Абдуллаева А.М., Серёгин И.Г., Удавлив Д.И. и др. Микробиологическая безопасность полуфабрикатов из мяса птицы // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии: Российский журнал. – 2017. – № 2 (22). – С. 11–15.
4. Бобылева Г.А. Направления, определяющие развитие птицеводства на ближайшую перспективу // Птица и птицепродукты. – 2017. – № 3. – С. 22;
5. Виткова О.Н., Белоусов В.И., Иванова О.Е., Базарбаев С.Б. Изучение антибиотикорезистентности сальмонелл, выделенных от животных и из пищевых продуктов животного происхождения на территории Российской Федерации // Ветеринария Кубани. – 2015. – № 2. – С. 11–15.

References

1. GOST 31931–2012 “Myaso ptitsy. Metody gistologicheskogo i mikroskopicheskogo analiza” [GOST 31931–2012 “Poultry meat. Methods of histological and microscopic analysis”]. Dated 01.01.2014. (In Rus.)
2. Abdullaeva A.M., Blinkova L.P., Valitova R.K., Khokkanen M.A. Mikrobiologicheskii monitoring kontaminatsii ptitseproduktov [Microbiological monitoring of contamination of poultry products]. Rossiyskiy zhurnal “Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii”. 2020; 3 (35): 291–303. (In Rus.)
3. Abdullaeva A.M., Seregin I.G., Udavliev D.I. et al. Mikrobiologicheskaya bezopasnost’ polufabrikatov iz myasa ptitsy [Microbiological safety of semi-finished poultry meat]. Rossiyskiy zhurnal “Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii”. 2017; 2(22):11–15. (In Rus.)
4. Bobyllova G.A. Napravleniya, opredelyayushchie razvitie ptitsevodstva na blizhayshuyu perspektivu [Trends guiding the development of poultry production in the near future]. Ptitsa i ptitseprodukt. 2017; 3: 22. (In Rus.)
5. Vitkova O.N., Belousov V.I., Ivanova O.E., Bazarbaev S.B. Izuchenie antibiotikorezistentnosti salmonell, vydelennykh ot zhivotnykh i iz pishchevykh produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya na territorii Rossiyskoy Federatsii [Study of the antibiotic resistance of Salmonella isolated from animals and food of animal origin in the Russian Federation]. Veterinariya Kubani. 2015; 2: 11–15. (In Rus.)

6. Дрозд А.В. Влияние термического состояния на морфологические характеристики мяса индейки // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 2. – С. 195–198.

7. Орлова Д.А., Калиужная Т.В., Дрозд А.В. Оценка микрокартины нативных препаратов мышечной ткани при ветеринарно-санитарной экспертизе мяса // Международный вестник ветеринарии. – № 2. – С. 62–67.

8. Паломошинов Н.А., Мельникова Л.А. Мониторинг эпизоотической ситуации при сальмонеллезе кур // Международный вестник ветеринарии. – 2011. – № 2. – С. 6–9.

9. Подобед Л.И. Коррекция органолептики и пищевой ценности мяса бройлеров методами нормализации аминокислотного и липидного питания // Инновационные научные исследования. – 2021. – С. 85.

10. Савостина Т.В., Галитовская Н.В. Сравнительная ветеринарно-санитарная оценка качества мяса цыплят-бройлеров, реализуемых в торговой сети «Магнит» // Актуальные проблемы науки в АПК: Сборник статей 70-й Международной научно-практической конференции: в 3 т. – Т. 1. – 2019. – С. 194.

11. Серёгин И.Г., Баранович Е.С., Курмакаева Т.В., Гусарова М.Л. Инфекционные болезни, выявляемые при выращивании и переработке птицы // БИО. – 2019. – № 6 (225). – С. 14–17.

12. Фисинин В.И. Биобезопасность – приоритет номер один // Птицепром. – 2014. – № 3 (22). – С. 78–80.

13. Baroni S., Soares I.A., Barcelos R.P., Moura A.C., Pinto F.G. et al. Microbiological contamination of homemade food // Food Industry. – 2013. DOI: 10.5772/53170.

14. Kalyuzhnaya T., Orlova D., Drozd A., Urban V. An express assessment method for meat and safety // International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. – 2020. – Т. 11, № 1. – P. 11A01H.

15. Skorlupkina N., Blinkova L., Pakhomov Yu., Piyadina A., Chistyakova D. Formation of VBNC cells of *Salmonella Typhimurium* preincubated in different substrates // Int. J. Res. Rev. – 2017. – May.

6. Drozd A.V. Vliyanie termicheskogo sostoyaniya na morfolicheskie kharakteristiki myasa indeyki [Effect of thermal condition on the morphological characteristics of turkey meat]. Mezhdunarodny vestnik veterinarii. 2021; 2: 195–198. (In Rus.)

7. Orlova D.A., Kaliuzhnaya T.V., Drozd A.V. Otsenka mikro-kartiny nativnykh preparatov myshechnoy tkani pri veterinarno-sanitarnoy ekspertize myasa [Assessment of microcirculation of native preparations of muscle tissue in the veterinary and sanitary examination of meat]. Mezhdunarodny vestnik veterinarii. 2019; 2: 62–67. (In Rus.)

8. Palomoshnov N.A., Mel'nikova L.A. Monitoring epizooticheskoy situatsii pri salmonelleze kur [Monitoring of the epizootic situation in chicken salmonellosis]. Mezhdunarodny vestnik veterinarii. 2011; 2: 6–9. (In Rus.)

9. Podobed L.I. Korrektsiya organoleptiki i pishchevoy tsenosti myasa broylerov metodami normalizatsii aminokislотноgo i lipidnogo pitaniya [Correcting the organoleptic and nutritional value of broiler meat by normalising amino acid and lipid nutrition]. Innovatsionnye nauchnye issledovaniya. 2021: 85. (In Rus.)

10. Savostina T.V., Galitovskaya N.V. Sravnitel'naya veterinarno-sanitarnaya otsenka kachestva myasa tsypliat-broylerov, realizuemyykh v trgovoy seti "Magnit" [Comparative veterinary and sanitary assessment of the quality of meat of broiler chickens sold in the Magnit retail chain]. Aktual'nye problemy nauki v APK: sbornik statey 70 mezhdunarodnoy nauchno-ptakticheskoy konferentsii: v 3-kh tomakh. 2019; 1: 194. (In Rus.)

11. Seregin I.G., Baranovich E.S., Kurmaakaeva T.V., Gusarova M.L. Infektsionnye bolezni, vyyavlyayemye pri vyrashchivani i pererabotke ptitsy [Infectious diseases detected during the rearing and processing of poultry]. BIO. 2019; 6(225): 14–17. (In Rus.)

12. Fisinin V.I. Biobezopasnost' – prioritet nomer odin [Biosecurity is the number one priority]. Ptitseprom. 2014; 3(22): 78–80. (In Rus.)

13. Baroni S., Soares I.A., Barcelos R.P., Moura A.C., Pinto F.G. et al. Microbiological contamination of homemade food. Food Industry. 2013. doi: 10.5772/53170

14. Kalyuzhnaya T., Orlova D., Drozd A., Urban V. An express assessment method for meat and safety. International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. 2020; 11 (1): 11A01H.

15. Skorlupkina N., Blinkova L., Pakhomov Yu., Piyadina A., Chistyakova D. Formation of VBNC cells of *Salmonella Typhimurium* preincubated in different substrates. Int. J. Res. Rev. May 2017.

Сведения об авторах

Асият Мухтаровна Абдуллаева, д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой «Ветеринарно-санитарная экспертиза и биологическая безопасность», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»; 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11; asiat29@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1900-2121>.

Екатерина Андреевна Колбецкая, магистрант 1 курса кафедры «Ветеринарно-санитарная экспертиза и биологическая безопасность», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»; 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11; младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский

About the authors

Asiat M. Abdullaeva, DSc (Bio), Professor, Head of Department of Veterinary Sanitary Expertise and Biological Safety, Russian Biotechnology University (BIOTECH University) (11 Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation; E-mail: asiat29@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1900-2121>).

Ekaterina A. Kolbetskaya, 1st year master's student of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Biological Safety, Russian Biotechnology University (BIOTECH University) (11 Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation; E-mail: Katy0203@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6825-2173>).

институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова»; 05064, г. Москва, Малый Казенный переулок, 5 а; Katy0203@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6825-2173>.

Лариса Петровна Блинкова, д-р биол. наук, профессор, заведующий лабораторией микробиологических питательных сред, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова»; 05064, г. Москва, Малый Казенный переулок, 5 а; <https://orcid.org/0000-0003-0271-5934>.

Румия Камилевна Валитова, аспирант 1 курса кафедры «Ветеринарно-санитарная экспертиза и биологическая безопасность», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»; младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова»; 05064, г. Москва, Малый Казенный переулок, 5 а; <https://orcid.org/0000-0003-2032-8655>

Larisa P. Blinkova, DSc (Bio), Professor, Head of the Laboratory of Microbiological Nutrient Media, I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera (5a Maliy Kazenniy Lane, Moscow, 105064, Russian Federation); <https://orcid.org/0000-0003-0271-5934>.

Rumiya K. Valitova, 1st year postgraduate student of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Biological Safety, Russian Biotechnology University (BIOTECH University); Junior Research Associate, I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera (5a Maliy Kazenniy Lane, Moscow, 105064, Russian Federation); <https://orcid.org/0000-0003-2032-8655>.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ

Научная статья
УДК 619:612.342.4
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-53-58



Трипсин – новый маркер метаболизма у животных

Владимир Георгиевич Вертипрахов, Марина Ивановна Селионова, Виктор Викторович Малородов

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Георгиевич Вертипрахов; vertiprahov@rgau-msha.ru

Аннотация. Трипсин вырабатывается поджелудочной железой и гидролизует в кишечнике протеин пищи до полипептидов и аминокислот. Однако функция фермента выходит далеко за пределы органов пищеварения, поскольку он участвует в процессах регуляции артериального давления, воспалительных реакций, свертывания крови, функции поджелудочной железы. Установлено, что рецепторы PAR, активируемые трипсином, оказывают влияние на клеточные процессы в организме. Вопросы влияния трипсина на метаболизм животных ранее не изучались. Поэтому целью исследования было сравнение показателей активности трипсина у разных животных и у кур-несушек с разной продуктивностью – для получения новых знаний о сигнальной роли трипсина в регуляции обмена веществ. Результаты исследований на коровах, козах и птице показали, что максимальная активность трипсина в сыворотке крови наблюдается у цыплят-бройлеров, которая превышает уровень кур-несушек, на 385,4% – уровень коров, на 89,4% – коз, на 22,6% – кур-несушек. Анализ активности фермента в крови несушек позволил выявить кур, способных к яйцекладке, по сравнению с теми, у которых кладка яиц еще не наступила. Расчет корреляции указывает на прочную положительную связь между яйцекладкой и активностью трипсина. Следовательно, активность трипсина можно использовать в качестве показателя обменных процессов в организме животных.

Ключевые слова: трипсин, сигнальная роль трипсина, рецепторы PAR, метаболизм животных, сыворотка крови, коровы, козы, куры, цыплята-бройлеры

Для цитирования: Вертипрахов В.Г., Селионова М.И., Малородов В.В. Трипсин – новый маркер метаболизма у животных // Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Биологические науки. 2023. № 1. С. 53–58. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-53-58>

© Вертипрахов В.Г., Селионова М.И., Малородов В.В.

MOLECULAR BIOLOGY, BIOCHEMISTRY

Original article
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-53-58

Trypsin as a New Marker of Metabolism in Animals

Vladimir G. Vertiprahov, Marina I. Selionova, Viktor V. Malorodov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Vladimir G. Vertiprahov, vertiprahov@rgau-msha.ru

Abstract. Trypsin is produced by the pancreas and hydrolyzes food protein to polypeptides and amino acids in the intestine. However, the function of the enzyme extends far beyond the digestive organs, as it is involved in the regulation of blood pressure, inflammatory reactions, blood clotting, and pancreatic function. Trypsin-activated PAR receptors have been found to affect cellular processes in the body. The effect of trypsin on animal metabolism has not been studied before. Therefore, the aim of the present study was to compare trypsin activity in different animals and in laying hens of different productivity to gain new knowledge about the signaling role of trypsin in the regulation of metabolism. Results of studies on cows, goats and poultry showed that the maximum trypsin activity in blood serum was observed in broiler chickens, which exceeded the level of laying hens by 385.4% for cows, by 89.4% for goats and by 22.6% for laying hens. An analysis of the enzyme activity in the blood of laying hens has identified the hens capable of laying eggs compared to those that have not yet laid eggs. Calculation of the correlation indicates a strong positive relationship between egg-laying and trypsin activity. Consequently, trypsin activity can be used as an indicator of metabolic processes in animals.

Keywords: trypsin, trypsin signaling role, PAR receptors, animal metabolism, serum, cows, goats, chickens, broiler chickens

For citation: Vertiprahov V.G., Selionova M.I., Malorodov V.V. Trypsin as a New Marker of Metabolism in Animals // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:53–58. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-53-58>

Введение

Трипсин секретируется поджелудочной железой и гидролизует белок в кишечнике до полипептидов и аминокислот. Кроме того, поступая в кровь, трипсин участвует в работе калликреин-кининовой системы, которая обеспечивает регуляцию артериального давления крови при активации брадикинина [1].

В течение длительного времени считалось, что трипсин в норме синтезируется только в поджелудочной железе. В исследовании N. Koshikawa, S. Hasegawa, Y. Nagashima et al. (1998) показана экспрессия трипсина в тканях человека и мыши в непанкреатических тканях. Было установлено, что ген трипсина экспрессируется на высоком уровне в поджелудочной железе, селезенке, и в значительной степени – в тонкой кишке. Однако гибридизация *in situ* и иммуногистохимия показали, что трипсин широко экспрессируется в эпителиальных клетках кожи, пищевода, желудка, тонкой кишки, легких, почек, печени и внепеченочных желчных протоков, а также в селезенке и нейронах. В селезенке активность трипсина была обнаружена в макрофагах, моноцитах и лимфоцитах в белой пульпе, а в головном мозге – в нервных клетках гиппокампа и коры головного мозга [2].

Нами впервые была определена активность трипсина в молоке коровы, причем установлено значительное повышение активности фермента в период воспаления в молочной железе. Установлено, что трипсин является активатором PAR-рецепторов (*proteinase-activated receptors*), которые передают информацию клетке и обеспечивают изменение ее метаболизма при воспалительных процессах и иммунологических реакциях [3]. Через указанные рецепторы может регулироваться секреторная функция поджелудочной железы, желудка и слюнных желез.

Получены данные о том, что PAR-рецепторы, активируемые трипсином, принимают участие в заболеваниях, связанных с нейродегенеративными изменениями головного мозга [4–7]. Знание механизмов вовлечения трипсина в норму и в развитие патологических процессов является актуальным ввиду распространения заболеваний поджелудочной железы, которые являются источником высокой смертности даже в развитых странах [8]. Результаты исследований, выполненные на птице, показали, что активность трипсина в крови взаимодействует в постпрандиальный период с метаболитами оксида азота, оказывая влияние на процессы усвоения протеина [9]. При замене в рационе белковых компонентов активность трипсина в крови выступает в роли сигнальной молекулы [10]. Однако вопросы влияния трипсина на метаболизм и связи с продуктивностью у сельскохозяйственных животных не нашли в научной литературе широкого отражения.

Цель наших исследований заключалась в том, чтобы сравнить показатели активности трипсина у разных животных и у кур-несушек с разной продуктивностью – для получения новых знаний о сигнальной роли трипсина в регуляции обмена веществ.

Методика исследований

Кровь получали от коров из хвостовой вены, у коз – из яремной вены в вакуумные пробирки для взятия венозной крови с активатором свертывания, которые применяются при исследованиях сыворотки в клинической химии, серологии, иммунологии. Стенки пробирки имели специальный наполнитель, содержащий оксид кремния (SiO₂), обеспечивающий быстрое свертывание крови при действии на тромбоцитарное звено и плазменный гемостаз. За счет наполнителя в пробирке значительно ускоряется процесс свертывания крови, которая полностью сворачивается за 30 мин, что обеспечивает сокращение время приготовления биологической пробы.

Исследования по определению активности трипсина проводились на полуавтоматическом точном биохимическом анализаторе SINNOWA BS-3000M (КНР). Для этого в эппендорф набирали 450 мкл трис-буферного раствора pH = 8,2 (реактив № 1), затем добавляли 50 мкл (реактив № 2), содержащий субстрат для трипсина. Для приготовления реактива № 2 смешивали два компонента: порошок benzoyl – DL – arginine 4 – nitroanilide hydrochloride из расчета 5 мг растворяли в 1,0 мл диметилсульфоксида. Раствор хранили в холодильнике при температуре +4–5°C в течение не более 3 мес. Реактивы № 1 и № 2 тщательно перемешивали, переворачивая закрытый эппендорф 2–3 раза и инкубировали в термостате при температуре 37°C в течение 3 мин. После этого добавляли 10 мкл исследуемого материала (плазма крови, молоко после пробоподготовки) и запускали реакцию определения активности в биохимическом анализаторе кинетическим методом. Активность фермента выражали в единицах в 1 л, что соответствует расщепленному мкмоль субстрата в 1 л за 1 мин: мкмоль/(л/мин) [10].

Статистическую обработку результатов проводили при расчете среднего значения (M) и среднеквадратичного отклонения ($\pm m$) с помощью программы Microsoft Excel. Достоверность различий оценивали по t -критерию Стьюдента, считая статистически значимыми результаты при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что активность трипсина в сыворотке крови у разных животных имеет отличия (табл. 1).

Результаты исследований показали, что по активности трипсина максимальная активность в сыворотке крови наблюдается у цыплят-бройлеров, которая превышает уровень кур-несушек: на 385,4% – у коров; на 89,4% – у коз; на 22,6 – у кур-несушек. Доминирующее положение птиц по активности данного фермента указывает на более высокий уровень метаболизма по отношению к млекопитающим животным. По активности щелочной фосфатазы в сыворотке крови лидируют куры-несушки, что можно объяснить высоким уровнем кальциевого обмена, который связан с яйцекладкой. А относительно высокий показатель щелочной фосфатазы у коров можно объяснить потребностью в большом количестве кальция в связи с продукцией молока, когда рацион не может обеспечить в полном объеме потребности организма, и животное вынуждено расходовать запасы из костной ткани.

Вторым фактором, влияющим на обмен веществ, является продуктивность животных. В таблице 2 представлены данные эксперимента по изучению влияния фитазы на фоне бесфосфатного рациона у кур-несушек.

Таблица 1

Активность трипсина в сыворотке крови у коров, коз, кур-несушек и цыплят-бройлеров

Показатель	Экспериментальные животные			
	Коровы, n = 10	Козы, n = 5	Куры-несушки, n = 30	Цыплята-бройлеры, n = 30
Активность трипсина, ед/л	48±2,7	123±3,3	190±12,5	233±12
Активность щелочной фосфатазы, ед/л	148±11,4	137±22,0	450±33,7	286±18,7
Фосфатазно-протеазный индекс	3,08	1,11	2,37	1,23

Таблица 2

Активность трипсина у кур-несушек с разным уровнем продуктивности

Курица, №	Группа			
	К (1)	О (2)	О (3)	О (4)
14	222,7	210,2	134,65	180,4
13	87,9	81,4	123,57	25,9
10	112,9	93,8	85,73	100,8
12	126	243,7	262,4	175,2
7	134,9	226,5	271,64	197,8
9	225,8	224	244,3	403,2
5	218,9	275,9	227,2	270,5
6	82	95	126,5	92,3
4	65	117,2	116,5	170
1	197,3	193,6	251,9	258,5
3	225,5	125,8	169,6	246,5
11	287,4	226,2	260,3	153,9
M±m	165±19,7	181±19,9	189±20	189±28,5

Из 12 гол. активно несли яйцо 6 кур. За 14 сут. опыта было снесено 26 яиц. Низкая яйценоскость в 36-недельном возрасте кур связана со сложной операцией по выведению подвздошной кишки наружу для изучения илеальной доступности минеральных веществ. После хирургической операции и связанных с этим изменений в организме кур они постепенно входили в яйцекладку. Опыт по изучению влияния фитазы на фоне безфосфатного рациона проводился методом периодов, который составлял 8 сут.: 5 сут. – предварительный, 3 сут. – зачетный период. Если проанализировать активность трипсина у кур-несушек, то становится очевидным, что у одних уровень активности фермента превышает 200 ед., а у остальных он значительно меньше. Анализ корреляции указывает на прочную положительную связь между яйцекладкой и активностью трипсина (табл. 3).

Данные таблицы свидетельствуют о наличии прочной положительной корреляции активности трипсина от количества снесенных курицей яиц с коэффициентом, равным 0,81.

Сопоставляя результаты исследований, полученные ранее о механизме действия фермента на организм человека и животных, можно отметить, что впервые объектом изучения стали сельскохозяйственные животные. Установлено, что по показателю активности трипсина в крови можно судить о состоянии здоровья кишечника у птицы [11], а также о процессах адаптации пищеварения к составу рациона [12–14]. Это свидетельствует о практическом применении фундаментальных знаний.

Таблица 3

Корреляция между продуктивностью кур и активностью трипсина

Курица, №	Активность трипсина за опыт, ед/л	Количество снесенных яиц за период, шт.
14	186,9	2
13	79,7	0
10	98,3	0
12	201,8	10
7	207,7	10
9	274,3	10
5	248,1	6
6	98,9	0
4	117,2	0
1	225,3	8
3	191,8	0
11	231,9	8

Выводы

Результаты экспериментов впервые показали роль трипсина в качестве индикатора, способного отражать метаболизм у разных животных, что позволит использовать его в дальнейшем для оценки состояния не только поджелудочной железы, но и обмена веществ в целом.

Список источников

1. Chia E., Kagota S., Wijekoon E., McGuire J. Protection of protease-activated receptor 2 mediated vasodilatation against angiotensin II-induced vascular dysfunction in mice // BMC Pharmacol. – 2011. – № 28 (11). – Pp. 10. Doi:10.1186/1471–2210–11–10.
2. Koshikawa N., Hasegawa S., Nagashima Y. Expression of trypsin by epithelial cells of various tissues, leukocytes, and neurons in human

References

1. Chia E., Kagota S., Wijekoon E., McGuire J. Protection of protease-activated receptor 2 mediated vasodilatation against angiotensin II-induced vascular dysfunction in mice. BMC Pharmacol. 2011; 28(11): 10. doi: 10.1186/1471–2210–11–10.
2. Koshikawa N., Hasegawa S., Nagashima Y. Expression of trypsin by epithelial cells of various tissues, leukocytes, and neurons in human and mouse. Pathol. 1998; 153(3): 937–944.

and mouse // *Am.J. Pathol.* – 1998. – № 153 (3). – Pp. 937–944.

3. Яровая Г.А., Блохина Т.Б., Нешкова Е.А. Протеиназа-активируемые рецепторы (PARs) – сигнальный путь, инициируемый ограниченным протеолизом // *Лабораторная медицина.* – 2009. – № 10. – С. 23–34.

4. Luo W., Wang Y., Reiser G. Protease-activated receptors in the brain: receptor expression, activation, and functions in neurodegeneration and neuroprotection // *Brain Res Rev.* – 2007. – № 56 (2). – Pp. 331–345. doi: 10.1016/j.brainresrev.2007.08.002.

5. Wang Y., Luo W., Reiser G. Trypsin and trypsin-like proteases in the brain: proteolysis and cellular functions // *Trypsin Cell Mol Life Sci.* – 2008. – № 65 (2). – Pp. 237–252. doi:10.1007/s00018-007-7288-3.

6. Lohman R., Jones N., O'Brien T., Cocks T. A regulatory role for protease-activated receptor-2 in motivational learning in rats // *Neurobiol Learn Mem.* – 2009. – № 92 (3). – Pp. 301–309. Doi: 10.1016/j.nlm.2009.03.010.

7. Almonte A., Qadri H., Sultan F., Watson J., Mount D., Rumbaugh G., Sweatt J. Protease-activated receptor-1 modulates hippocampal memory formation and synaptic plasticity // *J Neurochem.* – 2013. – № 124 (1). – Pp. 109–122. doi:10.1111/jnc.12075.

8. Zhang L., Sanagapalli S., Stoita A. Challenges in diagnosis of pancreatic cancer // *World J Gastroenterol.* – 2018. – № 24 (19). – Pp. 2047–2060. doi:10.3748/wjg.v24.i19.2047.

9. Vertiprakhov V., Ovchinnikova N. The activity of trypsin in the pancreatic juice and blood of poultry increases simultaneously in the postprandial period // *Frontiers in Physiology.* – 2022. – V. 13. – Pp. 874664.

10. Фисинин В.И., Вертипрахов В.Г., Харитонон Е.Л., Грозина А.А. Адаптация панкреатической секреции и метаболизма у животных с разным типом пищеварения при замене белкового компонента рациона // *Сельскохозяйственная биология.* – 2019 – № 54 (6). – С. 1122–1134. doi:10.15389/agrobiology.2019.6.1122rus.

11. Вертипрахов В.Г., Грозина А.А. Оценка состояния поджелудочной железы методом определения активности трипсина в крови птицы // *Ветеринария.* – 2018. – С. 51–54. doi: 10.30896/0042-4846.2018.21.12.51-54.

12. Вертипрахов В.Г., Гогина Н.Н., Овчинникова Н.В. Новый подход к оценке здоровья кишечника у птиц // *Ветеринария.* – 2020. – № 7. – С. 56–59.

13. Вертипрахов В.Г., Грозина А.А., Кислова И.В. Способ оценки адаптации пищеварения птицы к ингредиентному составу рациона // Патент на изобретение: 2742175 С1, 02.02.2021. – Заяв. № 2019142448 от 19.12.2019.

14. Трухачев В.И., Филенко В.Ф., Поляков В.В. Свиноводство (теория, опыт, практика). – Ставрополь: Ставропольская государственная сельскохозяйственная академия, 1999. – 328 с. – EDN TIFPBV.

3. Yarovaya G.A., Blokhina T.B., Neshkova E.A. Proteinaza-aktiviruemye retseptory (PARs) – signal'nyy put', initsiruemyy ogranichennym proteolizom [Proteinase-activated receptors (PARs) as a signaling pathway initiated by restricted proteolysis]. *Laboratornaya meditsina.* 2009; 10: 23–34. (In Rus.).

4. Luo W., Wang Y., Reiser G. Protease-activated receptors in the brain: receptor expression, activation, and functions in neurodegeneration and neuroprotection. *Brain Res Rev.* 2007; 56(2): 331–345. doi: 10.1016/j.brainresrev.2007.08.002.

5. Wang Y., Luo W., Reiser G. Trypsin and trypsin-like proteases in the brain: proteolysis and cellular functions. *Trypsin Cell Mol Life Sci.* 2008; 65(2): 237–252. doi: 10.1007/s00018-007-7288-3.

6. Lohman R., Jones N., O'Brien T., Cocks T. A Regulatory role for protease-activated receptor-2 in motivational learning in rats. *Neurobiol Learn Mem.* 2009; 92(3): 301–309. doi: 10.1016/j.nlm.2009.03.010.

7. Almonte A., Qadri H., Sultan F., Watson J., Mount D., Rumbaugh G., Sweatt J. Protease-activated receptor-1 modulates hippocampal memory formation and synaptic plasticity. *J Neurochem.* 2013; 124(1): 109–122. doi: 10.1111/jnc.12075.

8. Zhang L., Sanagapalli S., Stoita A. Challenges in diagnosis of pancreatic cancer. *World J Gastroenterol.* 2018; 24(19): 2047–2060. doi:10.3748/wjg.v24.i19.2047.

9. Vertiprakhov V., Ovchinnikova N. The activity of trypsin in the pancreatic juice and blood of poultry increases simultaneously in the postprandial period. *Frontiers in Physiology.* 2022; 13: 874664.

10. Fisinin V.I., Vertiprakhov V.G., Kharitonov E.L., Grozina A.A. Adaptatsiya pankreaticheskoy sekretsii i metabolizma u zhivotnykh s raznym tipom pishchevareniya pri zamene belkovogo komponenta ratsiona [Adaptation of pancreatic secretion and metabolism in animals with different types of digestion when replacing the protein component of the diet]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya.* 2019; 54(6): 1122–1134. doi: 10.15389/agrobiology.2019.6.1122rus (In Rus.).

11. Vertiprakhov V.G., Grozina A.A. Otsenka sostoyaniya podzheludochnoy zhelezy metodom opredeleniya aktivnosti tripsina v krovi ptitsy [Evaluation of the pancreas by determination of trypsin activity in poultry blood]. 2018: 51–54. doi: 10.30896/0042-4846.2018.21.12.51-54 (In Rus.).

12. Vertiprakhov V.G., Gogina N.N., Ovchinnikova N.V. Noviy podkhod k otsenke zdorov'ya kishchnika u ptits [A new approach to evaluating intestinal health in birds]. *Veterinariya.* 2020; 7: 56–59. (In Rus.).

13. Vertiprakhov V.G., Grozina A.A., Kislova I.V. Sposob otsenki adaptatsii pishchevareniya ptitsy k ingredientnomu sostavu ratsiona [Method for evaluating the adaptation of poultry digestion to the ingredient composition of the diet]. Pat. no. 2742175C1:02.02.2021. (In Rus.).

14. Trukhachev V.I., Filenko V.F., Polyakov V.V. Svinovodstvo (teoriya, opyt, praktika) [Pig breeding (theory, experience, practice)]. 1999: 328.

Сведения об авторах

Вертипрахов Владимир Георгиевич, профессор кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, д-р биол. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; vertiprahov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3240-7636>.

Селионова Марина Ивановна, заведующий кафедрой разведения, генетики и биотехнологии животных, д-р биол. наук, профессор Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; <https://orcid.org/0000-0002-9501-8080>.

Малородов Виктор Викторович, доцент кафедры частной зоотехнии, канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; <https://orcid.org/0000-0001-9033-7552>.

About the authors

Vladimir G. Vertiprahov, DSc (Bio), Associate Professor, Professor of the Department of Physiology, Ecology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: vertiprahov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3240-7636>.

Marina I. Selionova, DSc (Bio), Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Breeding, Genetics and Biotechnology of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); <https://orcid.org/0000-0002-9501-8080>.

Viktor V. Malorodov, CSc (Ag), Associate Professor of the Department of Special Animal Husbandry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); <https://orcid.org/0000-0001-9033-7552>.

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 630*56

doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-59-67



Анализ динамики радиального прироста *Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe на разных участках профиля склона

Федор Николаевич Лисецкий¹, Светлана Викторовна Калугина¹
Марина Александровна Польшина^{1,2}

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марина Александровна Польшина, polshina@rgau-msha.ru

Аннотация. Представлены результаты изучения радиального прироста сосны крымской, произрастающей в предгорно-лесостепной зоне (в Белогорском районе) Крымского полуострова. Тип климата – умеренно континентальный. Исследования проводили с целью оценки влияния положения места произрастания на локальном склоне на общую ширину годичного кольца. В геоморфологическом отношении точки отбора образцов располагались по профилю пологого выпуклого склона восточной экспозиции. Образцы древесины отбирали на участках в пределах нижней, средней и приводораздельной частях склона, а также на вершине водораздела реки Биюк-Карасу. Для каждой части склона построены обобщенные древесно-кольцевые хронологии, средний возраст хронологий – 50 лет. В итоге проведенных исследований удалось установить синхронность в динамике прироста деревьев, произрастающих в нижней части склона и на водоразделе. Наиболее чувствительными к воздействию факторов внешней среды оказались сосны, произрастающие на средних участках склона. Сосны, произрастающие на приводораздельной части склона, реагируют с лагом около 11 лет. Анализ построенных хронологий показывает, что в течение последних 50 лет радиальный прирост сопоставим с динамикой метеопараметров. Проведен анализ корреляций полученных хронологий со значениями среднемесячных температур воздуха и годовым количеством осадков по данным метеостанции Симферополь. Для нижних и средних частей склона, а также для водораздела сумма осадков является более значимой, чем температура воздуха. Установлены корреляционные связи между индексом радиального прироста нижних и средних участков склона, а также водораздела с суммой осадков мая, и летних месяцев как текущего, так и предыдущего годов. Для деревьев сосны крымской, произрастающих на приводораздельных частях склона, более значимой является температура воздуха летних месяцев текущего и предыдущего годов. Установленная теснота связи может быть использована для реконструкции климатических условий Крымского полуострова.

Ключевые слова: дендрохронология, радиальный прирост, годичные кольца, сосна крымская (*Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe), температура воздуха, годовая сумма осадков, Крымский полуостров, метеостанция Симферополь, предгорья, лесостепь

Для цитирования: Лисецкий Ф.Н., Калугина С.В., Польшина М.А. Анализ динамики радиального прироста *Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe на разных участках профиля склона // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 59–67. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-59-67>

© Лисецкий Ф.Н., Калугина С.В., Польшина М.А.

ECOLOGY, SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article

doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-59-67

Analysis of Radial Growth Dynamics of *Pinus Nigra Subsp. Pallasiana* (Lamb.) Holmboe in Different Parts of the Slope Profile

Fedor N. Lisetskiy¹, Svetlana V. Kalugina¹, Marina A. Polshina^{1,2}

¹ Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Marina A. Polshina, polshina@rgau-msha.ru

Abstract. The results of the research of radial growth of *Pinus nigra* trees growing in the foothill-forest-steppe zone (in Belgorodsk district) with continental climate type of the Crimean Peninsula are presented. The research was conducted to evaluate the influence of the location of the growth site on the local slope on the total width of the annual ring.

Geomorphologically, the sampling points were located along the profile of a gentle convex slope of eastern exposure. Wood samples were collected at sites within the lower, middle and watershed parts of the slope, as well as at the top of the Biyuk-Karasu River watershed. Generalised tree-ring chronologies were obtained for each part of the slope, the average age of the chronologies being 50 years. As a result of the research, a synchronism in growth dynamics of trees growing in the lower part of the slope and in the watershed was established; the radial growth of *Pinus nigra* trees in the middle parts of the slope reacts the earliest to the influence of environmental factors. The reaction lag of radial growth in the watershed part of the slope is about 11 years. Analysis of the constructed chronologies shows that over the past 50 years, the radial growth is comparable to the dynamics of meteorological parameters. The analysis of correlations of the obtained chronologies with the values of average monthly air temperatures and annual precipitation according to the data of the Simferopol meteorological station was carried out. For the lower and middle parts of the slope, as well as for the watershed, the amount of precipitation is more significant than air temperature. Correlations have been established between the radial growth index of the lower and middle parts of the slope, as well as watershed and the sum of precipitation in May, and the summer months of both the current and previous years. For *Pinus nigra* trees growing on the watershed parts of the slope, air temperatures of summer months of the current and previous year are more significant. The established close relationship can be used to reconstruct climatic conditions of *Pinus nigra* trees.

Keywords: dendrochronology, radial growth, annual rings, *Pinus nigra* (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe), air temperature, annual precipitation, Crimean Peninsula, weather station Simferopol, foothills, forest-steppe

For citation: Lisetskii F.N., Kalugina S.V., Polshina M.A. Analysis of Radial Growth Dynamics of *Pinus Nigra* Subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe in Different Parts of the Slope Profile // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:59–67. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-59-67>

Введение

В качестве ответа на вопрос о том, могут ли склоновые процессы быть отражены в динамике радиального прироста деревьев, произрастающих на этих склонах, ряд опубликованных исследований подтверждает, что произрастание деревьев на разных участках склонов отражается на радиальном приросте древесины. Так, установлено, что к увеличению радиального прироста видов ива мохнатая и ива сизая (*Salix Lanata L.*, *Salix Glauca L.*) приводит повышение дренируемости верхних слоев почвы в нижних частях склонов либо в местах аккумуляции оползней [6].

В условиях Республики Чувашия деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) в верхней и нижней частях склона, где условия по обеспеченности влагой, освещенности и минеральному питанию значительно хуже, прирастают заметно медленнее, а средние части склона обладают самыми высокими показателями радиального прироста [1]. Лиственница Гмелина (*Larix gmelinii (Rupr.) Kuzen.*) имеет меньший радиальный прирост на склонах северной экспозиции, причем чувствительность лиственницы к осадкам не зависит от экспозиции склона [4].

Климатический отклик в радиальном приросте хвойных деревьев региона Горный Алтай выражается несинхронно в пределах одного склона в связи с неравномерностью распределения температуры воздуха на склонах [3]. Установлено, что сила влияния высоты места произрастания составляет до 43% воздействия на радиальный прирост можжевельника высокого (*Juniperus excelsa M. Bieb.*) в горном Крыму среди всех абиотических факторов среды, а в засушливые годы интенсивность влияния данного фактора снижается в два раза [2]. Сосна крымская (*Pinus nigra subsp.pallasiana (Lamb.) Holmboe*) может иметь лучшие показатели прироста в нижней части склона по сравнению с верхней [8].

Ряд работ освещает исследования, обосновывающие эффективность применения древесины сосны крымской в качестве объекта дендроклиматических и дендрохронологических исследований Крыма [9, 10, 11]. Сосна крымская – один из долгоживущих видов деревьев Крымского полуострова. В древности сосна крымская покрывала чуть ли не все склоны и отроги гор Крыма до морских берегов. Более 85% известных событий опасных природных явлений, случившихся на территории Южного берега Крыма, зафиксированы в динамике радиального прироста сосны крымской [9]. В ширине годичного кольца сосны крымской зафиксировано большинство засух, случившихся в период 1620–2002 гг.н.э., подтвержденных в исторических документах Крыма в XVII–XIX вв., что также коррелирует с динамикой годовой толщины осадков из озера Саки [11]. Благодаря использованию анализа древесных колец сосны крымской доказана эффективность реконструкции нестабильности склонов (в основном движений блокового типа, камнепадов, оползней и селевых потоков), которая в свою очередь обусловлена действием климатических факторов [10]. Однако показательным было бы расширить рамки существующих исследований за счет включения результатов изучения радиального прироста сосны крымской в пределах локального склона на территории Крымского полуострова.

Цель исследований заключалась в оценке влияния положения места произрастания на радиальный прирост древесины сосны крымской в пределах профиля склона, расположенного в предгорно-лесостепной зоне (в Белгородском районе) с умеренно-континентальным типом климата Крымского полуострова. Учитывая орографические особенности Крымского полуострова, полученные данные можно использовать для калибровки с катеной смены климатических показателей от северо-западных частей Крыма до Южного берега Крыма (ЮБК).

В соответствии с целью задачами исследования стали: отбор дендрохронологических образцов по профилю склона; построение древесно-кольцевых хронологий для разных участков профиля склона; расчет индексов радиального прироста; анализ динамики индексов радиального прироста; оценка климатического сигнала в радиальном приросте древесины на разных участках профиля склона.

Методика исследований

Склон, где производили отбор образцов, расположен в пределах участка леса Пристепного лесничества (квартал 1, выдел 4) близ села Вишенное (Белогорский район Республики Крым) на правом берегу реки Биюк-Карасу (рис. 1). Согласно материалам лесоустройства древостой участка исследования образован дубом пушистым (*Quercus pubescens Willd.*), в подлеске клен остролистный (*Acer platanoides L.*), боярышники однопестичный (*Crataegus monogyna Jacq.*) и кроваво-красный (*C. sanguinea Pall.*), скумпия кожаная (*Cotinus coggygri Scop.*), сосны крымская и обыкновенная.

В геоморфологическом отношении точки отбора образцов располагались по профилю пологого выпуклого склона восточной экспозиции. Характеристика склона (рис. 2): расстояние от вершины водораздела до нижних частей склона – 312 м, превышение – 19 м, уклон 3.48° (6.09%). Образцы древесины отбирали на нижних, средних и приводораздельных участках склона правого берега реки Биюк-Карасу, а также на вершине водораздела.

Оценку радиального прироста производили по кернам, отобранным осенью 2020 г. на высоте 1,3 м, перпендикулярно продольной оси ствола дерева с помощью приростного бурава Пресслера (производитель Naglöf), с восточной и/или западной сторон стволов здоровых деревьев – без признаков поражения и угнетения, с густой кроной, с неповрежденной хвоей (категория состояния – 1–2). Всего отобрано 16 образцов (по 4 на каждом участке склона). Возраст полученных хронологий в среднем составляет 40–50 лет.

Измерение ширины годичных колец производили устройством для измерения годичных колец LINTAB-6 (с точностью $1 \cdot 10^{-3}$ мм) в комплекте с платформой TSAP-Win (Professional 4.0). С помощью TSAP-Win™ Professional построена результирующая средняя хронология Half-chrono по всем индивидуальным древесно-кольцевым хронологиям для каждого участка склона. Перечень дендрохронологических образцов живой древесины приведен в таблице 1. Для контроля за правильностью измерений использовали процедуру перекрестной датировки с Half-chrono. Для перекрестной датировки использовали показатели совместимости индивидуальных хронологий: GLK – показатель совместимости – сумма интервалов равной крутизны, %; CC – перекрестная корреляция, %; GSL – уровень совместимости, % [5].

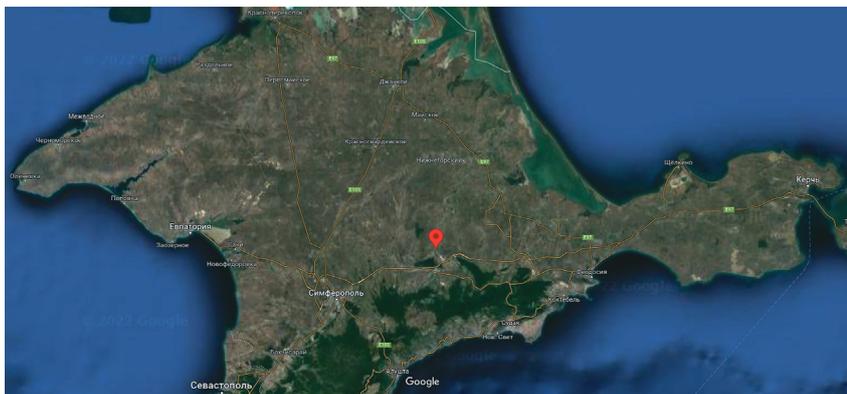


Рис. 1. Место расположения объекта отбора образцов

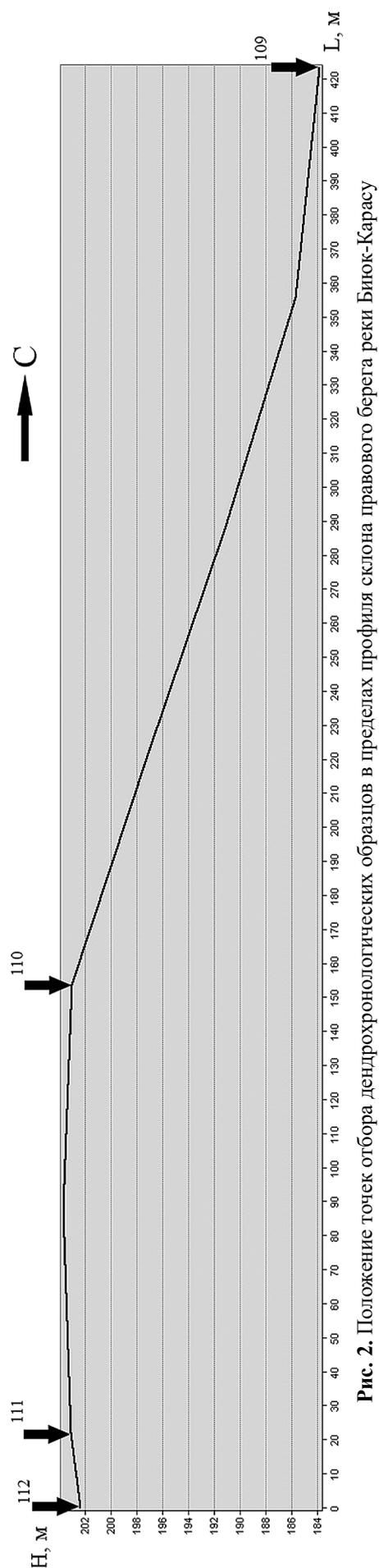


Рис. 2. Положение точек отбора дендрохронологических образцов в пределах профиля склона правого берега реки Биюк-Карасу

Таблица 1

Наименование дендрохронологических образцов и результаты перекрестной датировки

Наименование образца (серия древесно-кольцевой хронологии)	Межсерийная синхронность (GLK), %	Уровень межсерийной совместимости (GSL) ¹ , %	Перекрестная корреляция (CC), %
20-Нижняя(6)-1	64	*	85
20-Нижняя (6)-2	69	**	86
20-Нижняя-56–1	62	*	71
20-Нижняя-56–3	59		69
20-Средняя(60.S)-1.1	64	*	75
20-Средняя (60.S)-2	79	***	82
20-Средняя (69.S)	71	***	89
20-Средняя (69.S)-2	81	***	67
20-Приводораздельная(66)-1	67	**	77
20-Приводораздельная (66)-3	67	*	71
20-Приводораздельная-47–1	79	***	71
20-Приводораздельная-47–3	70	*	69
20-Водораздел(58)-1	67	*	86
20-Водораздел (58)-2	60		73
20-Водораздел (80)-1	66	*	87

По итогам исследований можно отметить, что все индивидуальные древесно-кольцевые хронологии образцов имеют достаточно высокую корреляционную связь радиального прироста (CC) с Half-chrono, достаточную синхронность (GLK), что по шкале синхронности С.Г. Шиятова (1986) соответствует среднему и высокому уровням, при колебаниях показателя $GLK = 68–89$ [7]. Следовательно, полученные хронологии принадлежат одной совокупности.

Статистическое нормирование ширины годичных колец проводили для преобразования разнородных исходных данных радиального прироста в одну безмерную (коэффициентную) плоскость значений в виде индекса прироста (формула 1):

$$I_t = \frac{W_t}{Y_t}, \quad (1)$$

где I – индекс прироста; W – фактическая ширина годичного кольца; Y – сглаженная ширина годичного кольца для года t .

Для анализа климатической обстановки использовали данные метеостанции Симферополь (UPM 00033946, период инструментальных наблюдений с 1886 г.). Устранение пропусков в среднемесячных метеорологических данных осуществляли средними показателями за 5 предыдущих и 5 последующих от пропуска лет.

Результаты и их обсуждение

По данным метеостанции Симферополь, в 1984–1987 гг. начался подъем среднегодовой температуры воздуха, достигнув максимальных показателей в 2007–2010 гг. (рис. 3). Рост среднегодового значения температуры воздуха происходил за счет температур летних месяцев, а также сентября и ноября (в 2007–2010 гг. отмечены максимально высокие температуры за весь период наблюдений метеостанции). Одновременно с этим в 2002–2010 гг. отмечен резкий минимум годовых осадков (рис. 4). Линии тренда, приведенные на графиках, описывают статистически значимые повышение среднегодовой

¹ * –95,0%; –99,0%; –99,9%.

температуры воздуха и снижение годовой суммы осадков. Снижение количества годовой суммы осадков происходило в основном за счет минимумов осадков весенних и летних месяцев, а также сентября.

Для оценки чувствительности радиального прироста к изменениям климатической обстановки Крымского полуострова проводили корреляционный анализ между индексами радиального прироста и значениями метеопараметров (среднегодовой температурой воздуха и годовой суммой осадков).

Динамика индекса радиального прироста сосны крымской на исследуемых участках профиля склона представлена на рисунке 5.

Динамика радиального прироста деревьев, произрастающих в нижней части склона и на водоразделе, является синхронной. Радиальный прирост сосны крымской, произрастающей в пределах средней части склона, раньше всех реагирует на воздействие факторов внешней среды. А позже всех реагирует на воздействие факторов внешней среды радиальный прирост деревьев приводораздельной части склона (зона экотона) – лаг реакции составляет около 11 лет.

В рядах индексов прироста сосны крымской на всех участках профиля склона наблюдаются периоды высокого и низкого прироста. Период высокого прироста отмечается в 1990-е гг., а период минимального прироста зафиксирован в 2000–2012 гг., что можно сопоставить с подъемом среднегодовой температуры воздуха и одновременным снижением годовой суммы осадков, зафиксированными в этот период по данным метеостанции Симферополь.

Для оценки тесноты связи между климатическими явлениями и приростом древесины сосны крымской, произрастающей на разных участках профиля склона, проводили корреляционный анализ индексов радиального прироста и значений основных метеопараметров (среднемесячной температуры воздуха и годовой суммы осадков).

Для радиального прироста изученных деревьев сосны крымской, произрастающих на нижних и средних частях склона, а также на водоразделе сумма осадков более является значимой, чем температура воздуха. Получены прямые достоверные невысокие корреляционные связи между индексом радиального прироста и суммой осадков мая, июня и августа как текущего, так и предыдущего годов (рис. 6–7). Для деревьев, произрастающих на водоразделе, также значимыми являются осадки февраля текущего и предыдущего годов (рис. 8).

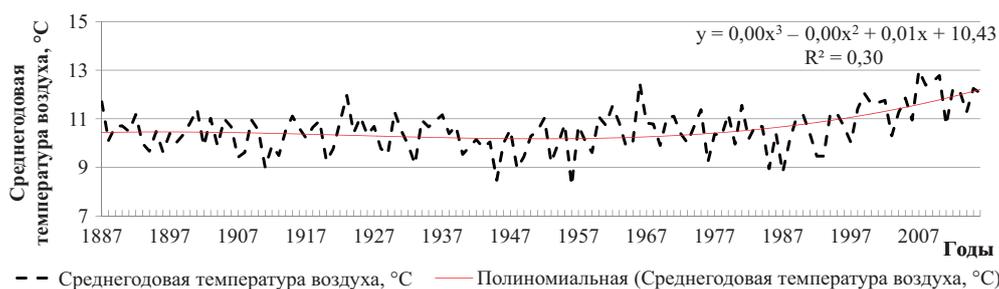


Рис. 3. Динамика среднегодовой температуры приземного слоя воздуха по данным метеостанции Симферополь

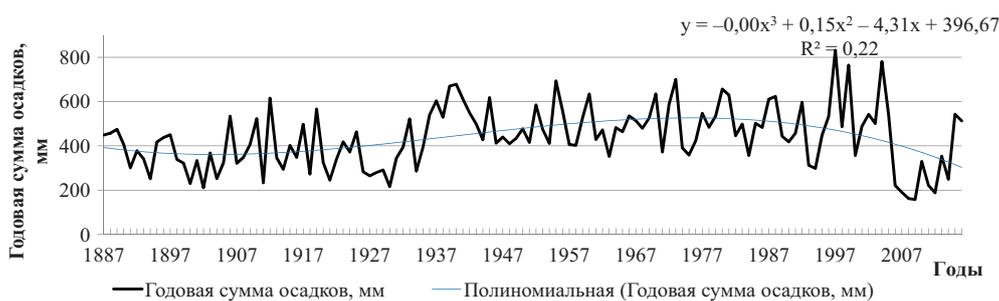


Рис. 4. Динамика годовой суммы осадков по данным метеостанции Симферополь



Рис. 5. Динамика индекса радиального прироста сосны крымской в пределах профиля склона

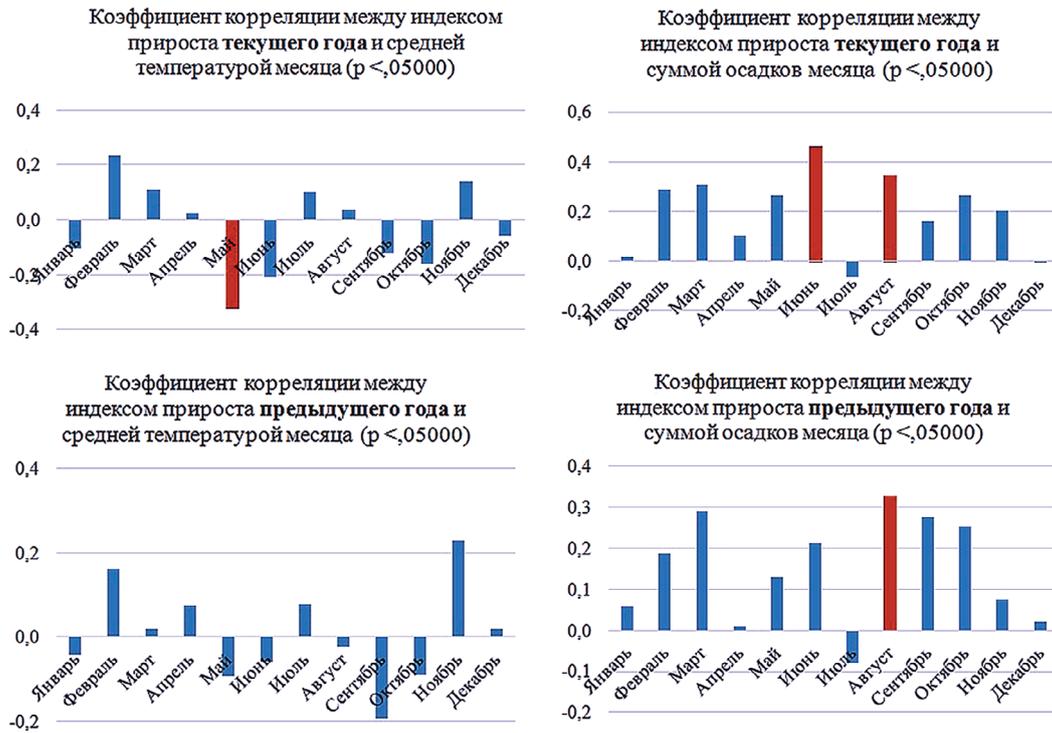


Рис. 6. Коэффициент корреляции между значениями метеопараметров и индексом радиального прироста деревьев сосны крымской, произрастающих на нижней части склона

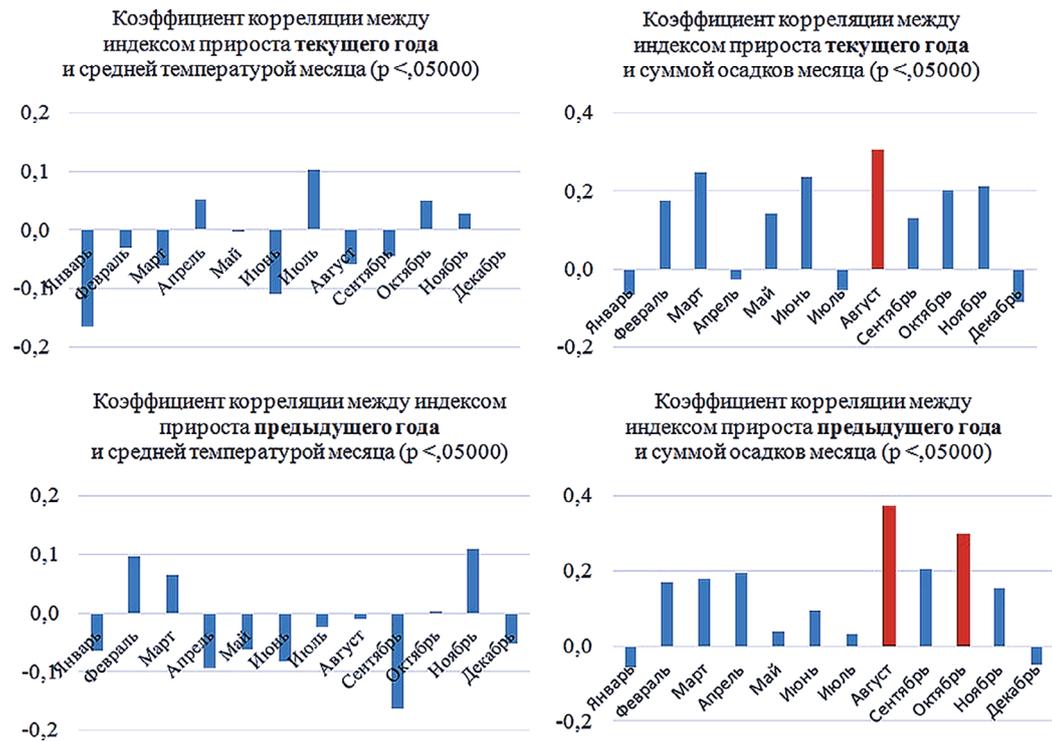


Рис. 7. Коэффициент корреляции между значениями метеопараметров и индексом радиального прироста деревьев сосны крымской, произрастающих на средней части склона

Для радиального прироста деревьев сосны крымской, произрастающих на приводораздельных частях склона, в отличие от остальных изученных участков оказалась более значимой температура воздуха. Получены прямые достоверные невысокие корреляционные зависимости между индексом радиального прироста и среднемесячными температурами мая, июня, июля, сентября текущего года и всех летних месяцев предыдущего года (рис. 9). С осадками всех месяцев установлена обратная корреляционная связь радиального прироста на приводораздельных частях склона, имеющая достоверное значение только для осадков мая предыдущего года.

Одной из причин пространственной неоднородности реакции радиального прироста выступают особенности рельефа, оказывающие большое влияние на формирование специфических микроклиматических условий. Различия в распределении в пределах склона тепла, света и влаги, а также специфика его экспозиции отражаются на характере вегетации растений. На приводораздельных частях пологого выпуклого склона восточной экспозиции в Белгородском районе Крыма складываются особые экологические условия, фиксируемые в ширине годичного кольца сосны крымской, значительно отличающиеся от остальных частей изученного склона.

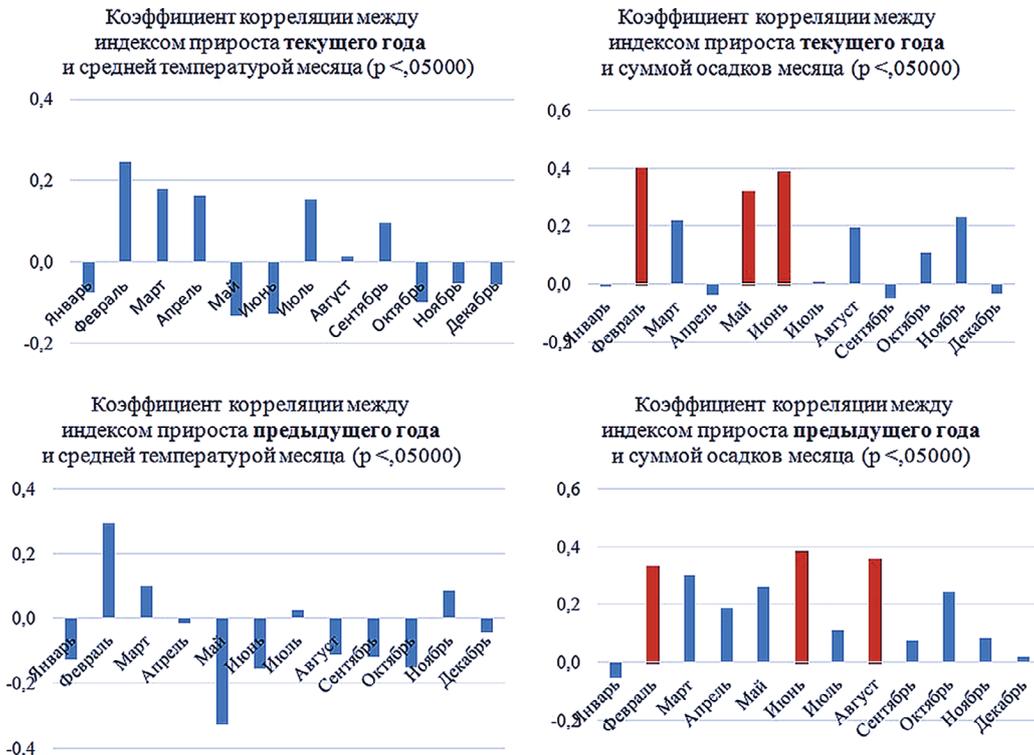


Рис. 8. Коэффициент корреляции между значениями метеопараметров и индексом радиального прироста деревьев сосны крымской, произрастающих на водоразделе

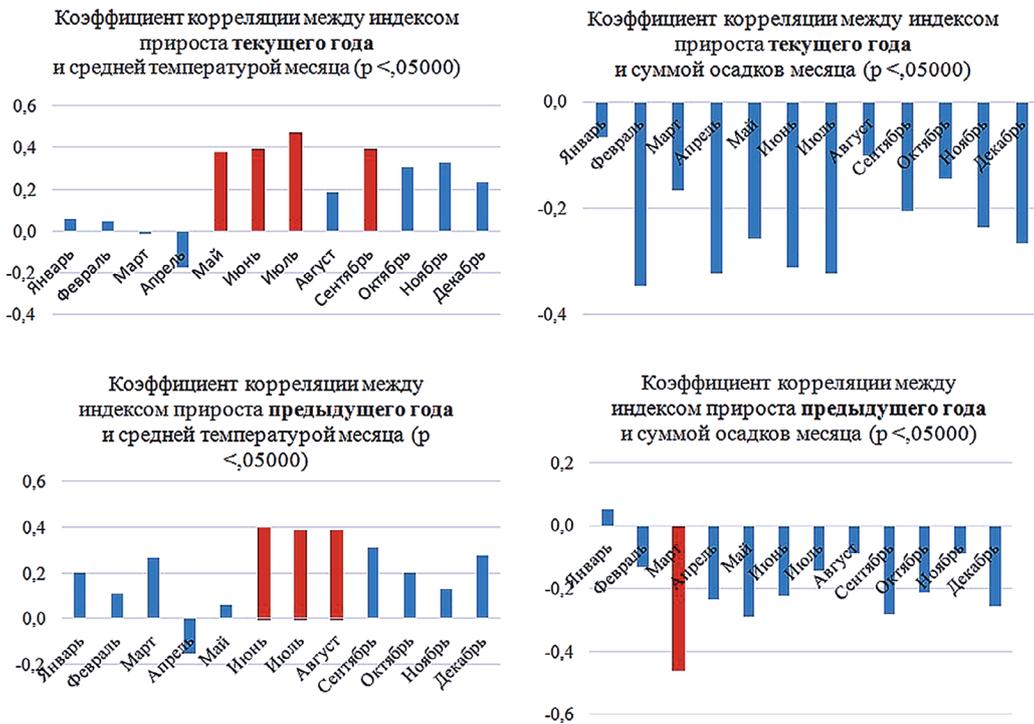


Рис. 9. Коэффициент корреляции между значениями метеопараметров и индексом радиального прироста деревьев сосны крымской, произрастающих на приводораздельной части склона

Выводы

Таким образом, в 2020 г. отобраны дендрохронологические образцы сосны крымской по профилю склона (по 4 образца на нижней, средней, приводораздельной частях склона и на водоразделе реки Бююк-Карасу) на территории Пристепного лесничества в Белогорском районе Республики Крым. По отобраным образцам построены 4 обобщенные древесно-кольцевые хронологии и рассчитаны индексы радиального прироста.

По полученным хронологиям установили, что динамика радиального прироста деревьев, произрастающих в нижней части склона и на водоразделе, является синхронной, а радиальный прирост деревьев сосны крымской, произрастающих на средних участках склона, раньше всех реагирует на воздействие факторов внешней среды. Позже всех в ответ на действие внешних факторов среды отвечает радиальный прирост деревьев приводораздельной части склона (зона экотона), лаг реакции составляет около 11 лет. Можно предположить, что деревья, произрастающие на приводораздельных участках склона, наименее чувствительны к воздействию изучаемых факторов среды, и данные условия мест произрастания лучше не использовать в дендроклиматических исследованиях.

Анализ динамики индексов радиального прироста позволил установить периоды высокого и низкого прироста, которые можно сопоставить с динамикой температуры воздуха и годовой суммы осадков по данным метеостанции Симферополь. Рост среднегодового значения температуры воздуха в начале 2000-х гг. происходит за счет температур летних месяцев, снижение количества годовой суммы осадков – за счет минимумов осадков весенних и летних месяцев, а также сентября. Эти климатические явления отражены в приросте древесины сосны крымской.

Для деревьев сосны крымской, произрастающих на нижних и средних частях склона, а также на водоразделе, сумма осадков является более значимой, чем температура воздуха. Установлены прямые достоверные невысокие корреляционные связи между индексом радиального прироста, суммой осадков мая и летних месяцев как текущего, так и предыдущего годов. Для деревьев сосны крымской, произрастающих на приводораздельных частях склона, наоборот, более значимой является температура воздуха. Получены прямые достоверные невысокие корреляционные зависимости между индексом радиального прироста и среднемесячными температурами летних месяцев текущего и предыдущего годов.

Установленная теснота связи значений метеопараметров и индексов радиального прироста деревьев сосны крымской, произрастающих на средних и нижних частях склона, а также на водоразделе, может быть использована для калибровки с катеной смены климатических показателей от северо-западных частей Крыма до Южного берега Крыма, а также для реконструкции климатических условий Крымского полуострова.

Список источников

1. Автономов А.Н., Артемьева Г.Н. Рост культур сосны обыкновенной на склонах разной экспозиции // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – № 1. – С. 1946–1949.
2. Коренькова О.О. Влияние абиотических факторов среды на прирост побегов *Juniperus excelsa* M. – Bieb. в Горном Крыму // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2022. – № 21–1. – С. 86–89. doi: 10.14258/pbssm.2022018.
3. Магда В.Н., Ваганов Е.А. Климатический отклик прироста деревьев в горных лесостепях Алтае-Саянского региона // Известия Российской академии наук. Серия «Географическая». – 2006. – № 5. – С. 92–100.
4. Машуков Д.А., Бенькова А.В. Различия в динамике роста лиственницы Гмелина на склонах северной и южной экспозиции северной тайги Центральной Эвенкии // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 3.
5. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методическое пособие / Сост. С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов, В.Б. Круглов, В.С. Мазепа, М.М. Наурызбаев, Р.М. Хантемиров. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
6. Николаев А.Н., Самсонова В.В. Влияние склоновых процессов на произрастание ивы на Ямале //

References

1. Avtonomov A.N., Artem'eva G.N. Rost kul'tur sosny obyknovennoy na sklonakh raznoy ekspozitsii [Crop growth of Scots pine on slopes of different exposures]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2012; 18: 1946–1949. (In Rus.).
2. Koren'kova O.O. Vliyanie abioticheskikh faktorov sredy na prirost pobegov *Juniperus excelsa* M. – Bieb. v Gornom Krymu [Effect of abiotic environmental factors on shoot growth of *Juniperus excelsa* M. – Bieb. in the Crimean Mountains]. Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii. 2022; 21–1: 86–89. doi: 10.14258/pbssm.2022018 (In Rus.).
3. Magda V.N., Vaganov E.A. Klimaticheskii otklik prirosta derev'ev v gornyykh lesostepyakh Altae-Sayanskogo regiona [Climatic response of tree growth in the mountain forest-steppes of the Altai-Sayan region]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2006; 5: 92–100. (In Rus.).
4. Mashukov D.A., Ben'kova A.V. Razlichie v dinamike rosta listvennitsy Gmelina na sklonakh severnoy i yuzhnoy ekspozitsii severnoy taygi Tsentral'noy Evenkii [Differences in growth dynamics of Gmelin's larch on slopes of northern and southern exposures of the northern taiga of Central Evenkia]. Vestnik KrasGAU. 2014; 3. (In Rus.).
5. Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kруглов V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. Metody dendrokronologii. Chast' I. Osnovy dendrokronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'tsevoy informatsii. Uchebno-metodich. posobie [Methods of dendrochronology. Part I. Basics of dendrochronology. Collection and acquisition of tree-ring information. Study guide]. Krasnoyarsk: KrasGU, 2000: 80. (In Rus.).
6. Nikolaev A.N., Samsonova V.V. Vliyanie sklonovykh protsessov na proizrastanie ivy na Yamale [Effect of slope processes

Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2012. – № 12. – С. 195–203.

7. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале: монография. – М.: Наука, 1986. – 137 с.

8. Матвиенко Е.Ю., Таран С.С., Кружилин С.Н., Свищов И.П. Эколого-мелиоративная эффективность применения видов рода *Pinus* на склоновых землях степных ландшафтов // Международные научные исследования. – 2017. – № 1 (30). – С. 30–36.

9. Šilhán K. Snow Avalanches and Debris Flows in the Mediterranean Conditions of the Southern Coast of the Crimean Mountains: Dendrogeomorphic Reconstruction // *Catena*. – 2022. – Vol. 218. doi:10.1016/j.catena.2022.106554.

10. Šilhán K., Pánek T., Hradecký J. Tree-ring analysis in the reconstruction of slope instabilities associated with earthquakes and precipitation (the Crimean mountains, Ukraine) // *Geomorphology*. – 2012. – V. 173–174. – Pp. 173–184. doi:10.1016/j.geomorph.2012.06.010.

11. Solomina O., Davi N., D'Arrigo R., Jacoby G. Tree-ring reconstruction of Crimean drought and lake chronology correction // *Geophysical Research Letters*. – 2005. – 32 (19). – L19704. – Pp. 1–4. doi:10.1029/2005GL023335.

on willow growth in Yamal]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*. 2012; 12: 195–203. (In Rus.).

7. Shiyatov S.G. Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale [Dendrochronology of the upper forest border in the Urals]. M.: Nauka, 1986: 137. (In Rus.).

8. Matvienko E.Yu., Taran S.S., Kruzhilin S.N., Svintsov I.P. Ekologo-meliorativnaya effektivnost' primeneniya vidov roda *Pinus* na sklonovykh zemlyakh stepnykh landshaftov [Ecological and reclamation efficiency of *Pinus* species on sloping lands in steppe landscapes]. *Mezhdunarodnye nauchnye issledovaniya*. 2017; 1(30): 30–36. (In Rus.).

9. Šilhán K. Snow Avalanches and Debris Flows in the Mediterranean Conditions of the Southern Coast of the Crimean Mountains: Dendrogeomorphic Reconstruction. *Catena*. 2022; 218. doi:10.1016/j.catena.2022.106554.

10. Šilhán K., Pánek T., Hradecký J. Tree-ring analysis in the reconstruction of slope instabilities associated with earthquakes and precipitation (the Crimean Mountains, Ukraine). *Geomorphology*. 2012; 173–174: 173–184. doi:10.1016/j.geomorph.2012.06.010.

11. Solomina O., Davi N., D'Arrigo R., Jacoby G. Tree-ring reconstruction of Crimean drought and lake chronology correction. *Geophysical Research Letters*. 2005; 32(19); L19704: 1–4. doi:10.1029/2005GL023335.

Сведения об авторах

Федор Николаевич Лисецкий, директор Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, НИУ «БелГУ», д-р геогр. наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»; 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85; e-mail: fnliset@mail.ru., <https://orcid.org/0000-0001-9019-4387>.

Светлана Викторовна Калугина, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра НИУ «БелГУ», канд. биол. наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»; 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85; e-mail: kalugina_s@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3144-4563>.

Марина Александровна Польшина, начальник отдела инновационного развития РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра НИУ «БелГУ», канд. геогр. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: polshina@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0363-1556>.

About the authors

Fedor N. Lisetsii, DSc (Geog), Professor, Head of Federal Regional Centre of Aerospace and Surface Monitoring of Sites and Natural Resources, Professor of Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University (85 Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation); E-mail: fnliset@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9019-4387>.

Svetlana V. Kalugina, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University (85 Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation); E-mail: kalugina_s@bsu.edu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3144-4563>.

Marina A. Polshina, CSc (Geog), Associate Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Head of Innovative Development Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str, Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: polshina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0363-1556>.

Научная статья
 УДК 630*4(470.61)
 doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-68-72



Естественное возобновление древостоя после низовых пожаров в Ростовской области

Вероника Олеговна Утюк¹, Надежда Викторовна Иванисова²

¹ Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», Новочеркасск, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Надежда Викторовна Иванисова, n.ivanisova@rgau-msha.ru

Аннотация. Лесные пожары наносят существенный урон защитным насаждениям Ростовской области. Наибольшая площадь лесных пожаров в степной зоне приходится на территории, где преобладающими породами защитных насаждений являются сосна крымская или сосна обыкновенная. В соответствии с адаптированной классификацией гарей насаждения, пройденные низовым пожаром, оцениваются как сильно поврежденные. Несмотря на увеличение площади освещенности, проективное покрытие травянистой растительности достигает 80–100% только на 4–5 годы после пожара. Естественное возобновление защитных насаждений происходит за счет инвазивных видов древесной растительности – таких, как клен ясенелистный, вяз мелколистный, ясень зеленый. С целью изучения темпов и масштабов естественного возобновления древостоя после низовых пожаров производили оценку насаждений Шахтинского лесничества Ростовской области, пройденных низовыми пожарами в 2018–2022 гг.

Ключевые слова: лесные пожары, защитные насаждения, почвенный покров, пирогенная сукцессия, смена сообществ

Для цитирования: Утюк В.О., Иванисова Н.В. Естественное возобновление древостоя после низовых пожаров в Ростовской области // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 68–72. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-68-72>

© Утюк В.О., Иванисова Н.В.

ECOLOGY, SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article
 doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-68-72

Natural Regeneration of Forest Stands after Ground Fires in the Rostov Region

Veronika O. Utyuk¹, Nadezhda V. Ivanisova²

¹ Novochoerkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunova, Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Nadezhda V. Ivanisova, n.ivanisova@rgau-msha.ru

Abstract. Forest fires cause significant damage to protective plantations in the Rostov region. The largest area of forest fires in the steppe zone is in areas where the predominant species of protective plantations are Crimean pine or Scots pine. According to the adapted classification of fireplaces, the forest stands affected by ground fires are evaluated as heavily damaged. Despite an increase in the area of light, the projective cover of herbaceous vegetation reaches 80–100% only in the 4th–5th year after the fire. Natural regeneration of protective plantations occurs at the expense of invasive species of woody vegetation, such as maple ash, small-leaved elm, and green ash. In order to study the rate and extent of natural regeneration of the stand after ground fires, an assessment of plantations in the Shakhhtinsky forest area of the Rostov region that were affected by ground fires in 2018–2022 was carried out.

Keywords: forest fires, protective forest plantations, soil, pyrogenic succession, plant community change

For citation: Utyuk V.O., Ivanisova N.V. Natural Regeneration of Forest Stands after Ground Fires in the Rostov Region // Timiryazev Biological Journal. 2023; 1:68–72. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-68-72>

Введение

Лесные пожары в степной зоне являются одним из основных факторов, влияющих на смену сложившихся сообществ в защитных насаждениях. Они задают направление развития новых биогеоценозов, которые порой являются промежуточными между степными и лесными, так как возникает конкурентная возможность как для развития абороженной травянистой растительности, так и для восстановления древесно-кустарниковой

растительности. В последнее время случаи лесных пожаров значительно участились, и в большей степени – по вине человека [7]. Воздействие лесных пожаров проявляется в основном в уничтожении и угнетении растительного и животного мира, а также приводит к изменению сложившихся сообществ [4].

Проблема пожаров и их воздействия на окружающую среду, особенно лесные биоценозы, оказалась наиболее актуальной начиная с 2007 г., когда с принятием нового Лесного кодекса изменилась система охраны и защиты лесов. Пожары охватили многие районы России. Затрагивая различные природные зоны, огонь уничтожает как естественные, так и искусственные леса различного породного и возрастного состава. Площадь лесных пожаров возрастает из года в год. Так, в Ростовской области в 2022 г. с апреля по октябрь было зафиксировано 111 пожаров, за этот же период 2021 г. зафиксировано 99 возгораний. Площадь поврежденных огнем участков в общей сложности в Ростовской области за 2022 г. составила 2437,8 га. По сравнению с 2021 г. в 2022 г. лесных угодий от пожаров пострадало в 1,5 раза больше.

Изучение пирогенной сукцессии в лесных экосистемах является актуальной задачей последних лет, так как случаи пожаров в последнее время учащаются. Это приводит к разрушению лесных экосистем и изменению их внешнего вида. Необходимо выяснить масштаб и характер этих изменений, а также проанализировать возможные негативные последствия [6].

Пирогенная сукцессия характеризуется постепенными изменениями биотических сообществ с увеличением видового богатства и биомассы организмов, населяющих участок. [8]. Косвенно об увеличении растительной биомассы свидетельствует проективное покрытие. Темп этих процессов со временем замедляется по мере приближения к кульминационным стадиям сукцессии [3].

Степные ландшафтные пожары, быстро распространяясь на большие территории, часто на лесные массивы, становятся причиной возникновения лесных пожаров. Отсутствие достаточных данных о пожарах в лесах Ростовской области, о причинах их возникновения, о влиянии лесных пожаров на древесную и травянистую растительность и в целом на биоценозы определяет актуальность данных исследований в условиях степной зоны [2].

При проведении исследований основная цель заключалась в том, чтобы проследить протекание пирогенной сукцессии в искусственных защитных насаждениях. Для достижения поставленной цели изучались динамика численности видов растений и особенности проективного покрытия почвенного покрова, влияние экологических факторов на скорость протекания пирогенной сукцессии, осуществлялось наблюдение за закономерностью протекания восстановительного процесса растительного покрова после пожара.

Методика исследований

Объектом исследования выступили участки, пройденные пожарами в 2018–2022 гг., расположенные в Ростовской области, в Шахтинском лесничестве, общей площадью 20,34 га (рис. 1).

Все леса Ростовской области относятся к категории защитных. По климатическим условиям территория лесничества располагается в полуаридной зоне юга Европейской части России, в западной провинции недостаточного увлажнения с умеренно-континентальным климатом. Согласно агроклиматическому районированию Ростовской области территория относится к очень засушливой подзоне засушливой зоны, что определяется недостатком влаги в почве и воздухе в теплый период. Преобладающие почвы на объекте исследования представлены черноземами обыкновенными южно-европейской теплой кратковременно промерзающей фации. Отмечается постепенное уменьшение содержания гумуса с глубиной, что характерно для степного типа почвообразования. Рельеф пробных участков ровный, без сильных повышений или понижений.

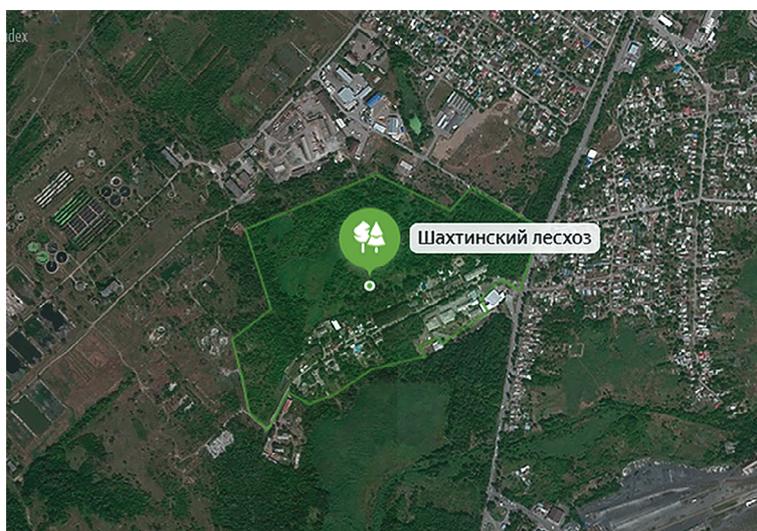


Рис. 1. Схематическое расположение Шахтинского лесничества, Ростовская область

Пробные площадки для таксационного описания насаждений закладывались на площади не менее 100 м² для описания травянистого покрова 1 м². Отбор проб почвы производился с поверхностного слоя 0–20 см.

Преобладающими породами данных участка являются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ясень зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borkh.). Единично встречается береза пушистая (*Betula pubescens* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.).

Пирогенные повреждения насаждений оценивали по адаптированной классификации гарей [5]:

- а) лесополосы – горельники с числом жизнедеятельных деревьев не более 10% – сильно поврежденные насаждения;
- б) лесополосы, в которых сохранилось свыше 10% жизнедеятельных деревьев – средне поврежденные насаждения;
- в) насаждения, где полностью сохранился древостой или произошло единичное отмирание деревьев, – слабо поврежденные насаждения.

Результаты и их обсуждение

Как показал анализ горимости лесов Ростовской области за 2010–2020 гг. (рис. 2–3), наибольшая площадь лесных пожаров в степной зоне приходится на территории, где преобладающей породой защитных насаждений является сосна.

Особенности горимости древесины сосны, умноженные на климатические факторы, способствуют быстрому распространению пожара, который идет в зависимости от преобладающего ветра.

По результатам обследования установлено, что лесная подстилка была уничтожена вследствие низового пожара летом 2018 г. Сгорело приблизительно 6,8 га леса (1-й пробный участок), и весной 2022 г. сгорело 4,2 га леса (2-й пробный участок). Древостои на пробных участках до пожара представляли собой или чистые сосняки, или сосняки с небольшой примесью березы, дуба и ясеня зеленого. Причиной воспламенений стало неосторожное обращение с огнем, то есть человеческий фактор.

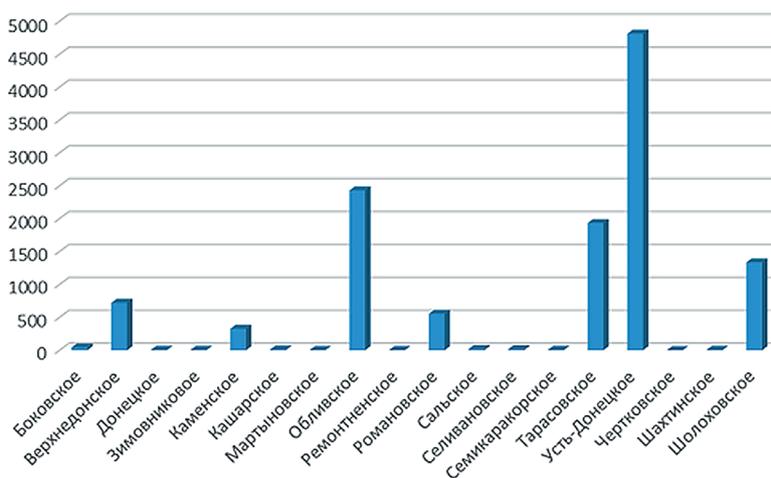


Рис. 2. Площадь пожаров, га, за период 2010–2020 гг. на территории лесничеств Ростовской области

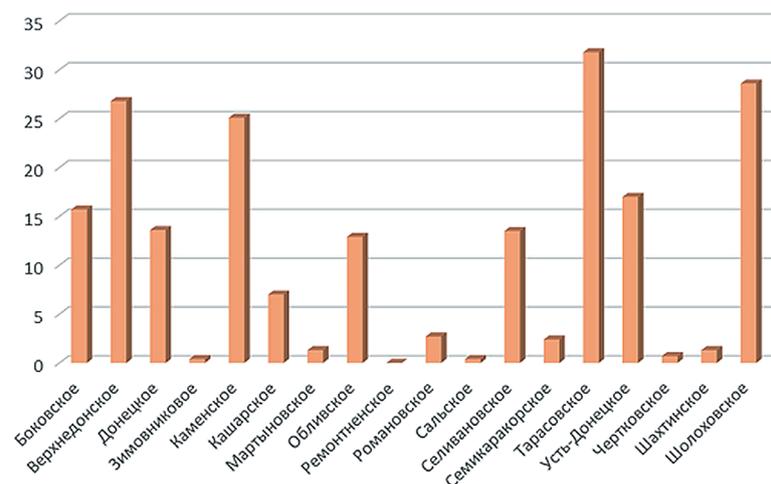


Рис. 3. Площадь сосны, %, от общей площади лесничества

В соответствии адаптированной классификации гарей [5] пробные участки № 1 и № 2 оцениваются как горельники с числом жизнедеятельных деревьев не более 10% – сильно поврежденные насаждения.

Спустя 4 года после пожара (пробный участок № 1) наблюдаются произрастание и возобновление таких пород, как сосна обыкновенная, клен ясенелистный и вяз (рис. 4).

Проективное покрытие травянистой растительности восстановлено на 80%. Преобладающими видами являются крапива жгучая (*Urtica urens* L.), лопух войлочный (*Arctium tomentosum* (Marcow.) Takht.), одуванчик полевой (*Taraxacum officinale* L.) и т.д. Оставшаяся после пожара древесина препятствует большому проценту проективного покрытия и является очагом распространения патогенных организмов.

На пробном участке № 2 наблюдается интенсивная корневая поросль ясеня, клена и вяза. Проективное покрытие травянистой растительности составляет не более 40% несмотря на увеличение площади освещенности поверхности под пологом насаждений (рис. 5).



Рис. 4. Восстановление лесного покрова на пробном участке № 1



Рис. 5. Общий вид пробного участка № 2 после пожара в 2022 г.

Выводы

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что вследствие низового пожара как на первом, так и на втором участках, были полностью уничтожены напочвенный покров и древостой. Исследования показали, что травянистый покров восстанавливается только на 4–5 годы после пожара, несмотря на увеличение процента освещенности территории. Отмечается также естественное возобновление таких видов, как клен ясенелистный и вяз мелколистный, единично – сосна крымская после

формирования 2–3-летней почвенной подстилки из травянистого опада. Естественное возобновление древесной растительности на территориях, пройденных лесными пожарами, инвазивными видами, говорит об изменении сукцессионных процессах в степной зоне.

Список источников

1. Казеев К.Ш., Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Колесников С.И. Оценка влияния разных факторов пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема // Почвоведение. – 2020. – № 11. – С. 1372–1382.
2. Макарова Н.В. Устойчивость к пожарам древесных пород в лесных насаждениях Ростовской области // Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации. – 2020. – № 58. – С. 31–36.
3. Малиновских А.А. Анализ растительного покрова на горях в юго-западной части ленточных боров методом экологических шкал Л.Г. Раменского // Исследовано в России. – 2008. – С. 529–540.
4. Малышко М.В., Иванисова Н.В., Куринская Л.В. Анализ причин возникновения пожаров на землях лесного фонда Ростовской области // Проблемы природоохранной организации ландшафтов: Материалы Международной научно-практической конференции / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет» (Новочеркасск). – 2018. – С. 104–110.
5. Лесная пирология: Учебно-методическое пособие / Сост. И.С. Мелехов, С.И. Душа-Гудым Е.П. Сергеева. – Томск, 2007. – 296 с.
6. Михайлова Е.В., Мироньчева-Токарева Н.П. Послепожарная сукцессия в лесоболотных комплексах // Интерэкспо Гео-сибирь. – 2019. – № 2. – С. 98–105.
7. Щеглова Е.Г., Нестеренко Ю.М., Шабавев В.М. Лесные пожары и их роль в формировании и развитии лесных биоценозов в пойменных лесах степной зоны // Известия Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 2 (40). – С. 8–11.
8. Общая экология: Учебно-методическое пособие / Сост. Н.М. Чернова, А.М. Былова. – Дрофа, 2004. – 416 с.

Сведения об авторах

Вероника Олеговна Утюк, магистрант 3 года обучения, направление подготовки 35.04.01. Лесное дело, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет»; 346428, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Новочеркасск, Пушкинская ул., 111; e-mail: utyuk@mail.ru.

Надежда Викторовна Иванисова, начальник отдела НИРС, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; канд. биол. наук, доцент; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: n.ivanisova@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6370-9354>.

References

1. Kazeev K.Sh., Odabashyan M.Yu., Trushkov A.V., Kolesnikov S.I. Otsenka vliyaniya raznykh faktorov pirogennoy vozdeystviya na biologicheskie svoystva chernozema [Assessing the impact of different pyrogenic exposure factors on the biological properties of chernozem]. Pochvovedenie. 2020; 11: 1372–1382. (In Rus.)
2. Makarova N.V. Ustoychivost' k pozharom drevesnykh porod v lesnykh nasazhdeniyakh Rostovskoy oblasti [Fire resilience of tree species in forest plantations in the Rostov region]. Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut problem melioratsii. 2020; 58: 31–36. (In Rus.)
3. Malinovskikh A.A. Analiz rastitel'nogo pokrova na garyakh v yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov metodom ekologicheskikh shkal L.G. Ramenskogo [Analysis of the vegetation cover on burnt areas in the south-western part of the ribbon pine forests using the method of ecological scales by L.G. Ramenskiy]. Issledovano v Rossii. 2008: 529–540. (In Rus.)
4. Malyshko M.V., Ivanisova N.V., Kurinskaya L.V. Analiz prichin vozniknoveniya pozharov na zemlyakh lesnogo fonda Rostovskoy oblasti [Analysis of the causes of fires on forest land in the Rostov region]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy prirodookhrannoy organizatsii landshaftov", Novocherkasskiy inzhenerno-meliorativniy institut imeni A.K. Kortunova FGBOU VPO "Donskoy gosudarstvenniy agrarniy universitet" (Novocherkassk). 2018: 104–110. (In Rus.)
5. Melekhov I.S., Dusha-Gudym S.I., Sergeeva E.P. Lesnaya pirologiya: uchebno-metodich. posobie [Forest pyrology: study guide]. Tomsk, 2007: 296. (In Rus.)
6. Mihaylova E.V., Mironycheva-Tokareva N.P. Poslepozhar'naya suksessiya v lesobolotnykh kompleksakh [Forest fires and their role in the formation and development of forest biocenoses in steppe floodplain forests]. Interekspeo geo-sibir'. 2019; 2: 98–105. (In Rus.)
7. Shcheglova E.G., Nesterenko Yu.M., Shabaev V.M. Lesnye pozhary i ikh rol' v formirovani i razvitii lesnykh biotsenozov v poymennykh lesakh stepnoy zony [Forest fires and their role in the formation and development of forest biocenoses in steppe floodplain forests]. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013; 2(40): 8–11. (In Rus.)
8. Chernova N.M., Bylova A.M. Obshchaya ekologiya: uchebno-metodich. posobie [General ecology: study guide]. Drofa, 2004: 416. (In Rus.)

About the authors

Veronika O. Utyuk, master's student, Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunova, Don State Agrarian University (111 Pushkinskaya Str., Novocherkassk, Rostov Region, 346428, Russian Federation); E-mail: utyuk@mail.ru.

Nadezhda V. Ivanisova, CSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Students' Scientific Research, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation); E-mail: n.ivanisova@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6370-9354>.

Научная статья
УДК 574.633:574.583(470-25)
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-73-79



Влияние экологических условий на состав зоопланктона в среднем течении реки Лихоборки

Алексей Викторович Евграфов, Никита Сергеевич Косов, Александра Владимировна Цветкова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евграфов Алексей Викторович, a.evgrafov@rgau-msha.ru

Аннотация. Актуальность обусловлена скудностью официальных данных о состоянии экосистем поверхностных вод России по гидробиологическим показателям и перспективностью развития гидробиологических исследований в составе инженерно-экологических изысканий. Цель работы – продолжение исследований экологических условий бассейна Лихоборки с выявлением пространственных и временных закономерностей в состоянии зоопланктона. Задачами работы стали: оценка изученности водной экосистемы Лихоборки; выполнение комплексного экологического обследования с отбором проб планктона и проведением гидробиологических анализов; изучение связи значения показателей качества воды по длине реки с источниками загрязнения. В статье приведены результаты экологического обследования водосбора р. Лихоборка: перечень источников загрязнения, методика рекогносцировки, детального обследования и гидробиологического анализа проб, отобранных в среднем течении в июне 2022 года. Работа является очередным этапом учебного экологического мониторинга водоохраных зон рек Москвы. На всем протяжении обследованного участка, от Головинских прудов до Дмитровского шоссе, степень загрязненности воды по индексу Пантле и Букка – умеренно загрязненная. В Головинских прудах массово размножаются дафнии. По длине участка преобладают коловратки. Общее солесодержание повышается с 185 до 821 мг/л. Наибольший вклад в загрязнение вносят загрязненные воды Лихоборки и Норишки, сосредоточенно поступающие через коллекторы. В коллекторе Лихоборки живые гидробионты практически не встречаются.

Ключевые слова: река Лихоборка, Головинские пруды, малые реки Москвы, инженерно-экологические изыскания, гидробиологические исследования, индекс Пантле-Букка, зоопланктон

Для цитирования: Евграфов А.В., Косов Н.С., Цветкова А.В. Влияние экологических условий на состав зоопланктона в среднем течении реки Лихоборка // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 1. С. 73–79. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-73-79>

© Евграфов А.В., Косов Н.С., Цветкова А.В.

ECOLOGY, SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article
doi: 10.26897/2949-4710-2023-1-73-79

Effect of Environmental Conditions on the Composition of Zooplankton in the Middle Stream of the Likhoborka River

Aleksey V. Evgrafov, Nikita S. Kosov, Aleksandra V. Tsvetkova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Aleksey V. Evgrafov, a.evgrafov@rgau-msha.ru

Abstract. The relevance is due to the paucity of official data on the state of surface water ecosystems in Russia in terms of hydrobiological indicators and the prospects for the development of hydrobiological research as part of engineering and environmental surveys. The aim of the work is to continue the research of the ecological conditions of the Likhoborka basin with the identification of spatial and temporal patterns in the state of zooplankton. The objectives of the work were: to assess the study of the Likhoborka aquatic ecosystem; to perform a comprehensive environmental survey with plankton sampling and hydrobiological analyses; to link the values of water quality indicators along the length of the river to sources of pollution. The article presents the results of an ecological survey of the Likhoborka river watershed: a list of pollution sources, methods of reconnaissance, detailed examination and hydrobiological analysis of samples taken in the middle stream in June 2022. The work is the next stage of the educational environmental monitoring of the water protection zones of the rivers of Moscow. Throughout the surveyed area from the Golovinsky Ponds to Dmitrovskoe Highway, the degree of water pollution according to the Pantle and Buck index is moderate. Daphnia are abundant in Golovinsky ponds. Along the length of the area, rotifers predominate. The total salinity increases from 185 to 821 mg/l. The greatest contribution to pollution is made by polluted waters of the Likhoborka and the Norishka, which are concentrated through the reservoirs. There are practically no living hydrobionts in the Likhoborka reservoir.

Keywords: the Likhoborka River, the Golovinsky ponds, small rivers of Moscow, engineering and environmental surveys, hydrobiological studies, Pantle-Buck index, zooplankton

For citation: Evgrafov A.V., Kosov N.S., Tsvetkova A.V. Effect of Environmental Conditions on the Composition of Zooplankton in the Middle Stream of the Likhoborka River // Timiryazev Biological Journal. 2023;1:73–79. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-73-79>

Введение

Городские реки – это уникальные объекты городской среды, выполняющие культурно-рекреационную (радугоут глаз, являются местами отдыха) и производственно-техническую (принимают сточные, талые и дренажные воды, кое-где являются источниками водоснабжения – по крайней мере резервного) функции и т.д. Ввиду огромного количества источников загрязнения водные экосистемы почти всегда находятся в угнетенном состоянии.

Следует понимать, что экологическое состояние участка реки, которое может быть оценено, в том числе, по присутствию микроорганизмов, зависит не только от расположенных на нем спусков сточных вод, но и от состояния водосборной площади в целом. Склоновый сток, собирающий загрязнения с асфальтированных территорий, газонов и крыш, а также грунтовый сток, извлекающий загрязнения из почвогрунтов, и все сосредоточенные спуски сточных вод, расположенные выше исследуемого участка, в совокупности формируют определенный уровень загрязнения.

Практически все гидробионты (особенно стенобионты) могут что-то «рассказать» о качестве воды или о каком-то процессе, протекающем в водной экосистеме (например, эвтрофикации). Однако развитию биоиндикации, применению ее результатов мешает, по нашему мнению, весьма незначительная густота сети государственного мониторинга по гидробиологическим показателям. Так, в ежегодниках состояния экосистем поверхностных вод России по гидробиологическим показателям в пределах Москвы и Московской области представлен только один пост – на Ивановском водохранилище. Разумеется, исследования гидробионтов проводят и НИИ, и вузы, но эти исследования носят локальный характер и не пополняют государственный фонд данных экомониторинга. Ввиду особенностей парковых водоемов г. Москвы есть потребность не только в сборе фактического материала, но и в совершенствовании методологии оценки состояния прудов в городских агломерациях [1].

Как отмечено, качество природных вод зависит от условий землепользования, формирующих диффузные (площадные) и сосредоточенные источники загрязнения. Актуальными задачами представляются обследование и инвентаризация потенциально-опасных объектов в пределах водоохранных зон (ВОЗ) и прилегающих территорий, изучение состояния водных экосистем и антропогенного влияния на них, оценка вклада конкретных хозяйствующих субъектов в суммарное загрязнение.

Научное значение гидробиологических изысканий заключается в повышении степени изученности сообществ водных организмов, пополнении информационных фондов, а практическая ценность – во встраивании гидробиологических исследований в систему инженерных изысканий, формулировании научно обоснованных рекомендаций по обустройству городских территорий.

Цель исследований – продолжение исследований экологических условий бассейна Лихоборки с выявлением пространственных и временных закономерностей в состоянии зоопланктона.

Задачи исследований:

- 1) оценить изученность водной экосистемы реки Лихоборки;
- 2) выполнить комплексное экологическое обследование с обязательным отбором проб и проведением гидробиологических анализов;
- 3) связать значения показателей качества воды по длине реки с источниками загрязнения.

Методика исследований

Гидробиологические исследования, как и другие виды изысканий, начинаются с анализа литературных и фондовых данных, а также результатов изысканий прошлых лет. В ходе рекогносцировочного обследования уточняют состояние местности (расположение источников загрязнения, мест сброса, зон загрязнения) с оформлением карты-схемы. Кафедрой общей и инженерной экологии (ныне кафедры экологии) была разработана собственная методика проведения рекогносцировочного обследования водоохранных зон (ВОЗ), которую можно использовать для проведения общественного экологического контроля [2] и образовательного мониторинга. Методика основана на категорировании источников загрязнения по степени их потенциальной опасности и обозначении на карте-схеме точками разных цветов. Опасные объекты – красные точки – это места сброса сточных вод с ярко выраженными органолептическими свойствами и загазованные места, идентифицировать которые можно без приборов контроля. Потенциально опасные объекты – желтые точки: автомойки, автозаправки, стройплощадки. Неизвестные объекты – белые точки: сбросы без цвета и запаха (это могут быть просто дренажные воды), огороженные территории, промышленные здания без табличек и информации о них на электронных картах Yandex и Google. В методику входит словесное описание точек по определенной схеме, а также в дополнение к картированию – GPS-привязка и фотодокументирование по единообразной схеме с определенных ракурсов (рис. 1).



Рис. 1. Пример фотодокументирования и описания потенциально опасного объекта (вблизи станции 7): Автомойка. Адрес: г. Москва, САО, Бескудниковский район, Дмитровское шоссе, 62, с. 4; GPS координаты: широта – 55.853514; долгота – 37.565310.

Обозначение на карте-схеме: общий вид предприятия; фрагмент территории с воздействием на ОС – разливы сточных моечных вод (возможность химического загрязнения поверхностного стока и грунтовых вод моющими средствами в результате стекания по уклону асфальтированной площади к реке и просачивания в грунт); потенциально опасный объект на границе ВОЗ

По прошествии времени состояние ВОЗ меняется. Например там, где несколько лет назад была потенциально опасная стройка [3], ныне – законченный обустроенный объект. Еще одна задача второго этапа – выбор точек отбора проб. В соответствии с рекомендациями [4] и целью исследований, а также предварительно определенной по данным литературы конфигурацией гидросистемы станции отбора выбирались как на экологически благополучных (Головинский пруд), так и на экологически напряженных участках – таких, как места слияния водотоков, один из которых сильно загрязнен, за автодорожными мостами для косвенной оценки привносимых загрязнений. Ввиду тяги планктонных организмов к тихим заводям на водотоках по возможности выбирались соответствующие точки отбора.

На третьем этапе осуществляется отбор планктона сетью Апштейна (рис. 2). Объем воды – 50 л. Транспортировка – в чистых бутылках объемом 0,5 л без консервирования, поскольку есть возможность произвести разбор пробы буквально через 1...2 ч.

Одновременно с забором воды определяются общее солесодержание (прибором TDS-3), pH, температура воды и воздуха, уровень шума.

В лаборатории пробы дополнительно концентрируются через сетчатый материал – мельничный газ. Концентрат помещается в чашку Петри. Микроскопирование проводится с помощью бинокулярного микроскопа МБС-9. Гидробионты свободно плавают в чашке Петри. Для идентификации используются определители [5] и настольная книга гидробиологов – Руководство Абакумова [4].

Оценка класса и разряда воды производится по Индексу Пантале и Букка в модификации Сладечека, который вычисляется как

$$\frac{\sum s_i h_i}{\sum}$$

где s_i – сапробность i -го вида, баллы; h_i – обилие i -го вида (частота встречаемости по глазомерной шкале).



Рис. 2. Отбор проб воды на гидробиологический анализ

Результаты и их обсуждение

Лихоборка – река в Северном и Северо-Восточном административных округах Москвы, правый приток Яузы. Длина реки составляет 16 км, водосборная площадь – 70,6 км².

Лихоборка является уникальной рекой (рис. 3). Многие местные жители полагают, что она берет начало из Головинских прудов. На самом деле ее исток – в лесах рядом с бывшим поселком Ново-Архангельское. В районе Коровино она принимает свой правый приток – Бусинку, течет в подземном коллекторе. Выходит на поверхность в районе Лихоборской набережной, пересекает Октябрьское и Савеловское направления Московской железной дороги. Далее по коллектору река следует под депо Серпуховско-Тимирязевской линии метро, течет по северо-восточной окраине Главного ботанического сада РАН и впадает в Язу напротив станции метро «Ботанический сад».

Лихоборка используется для обводнения рек Яузы и Москвы волжской водой, сбрасываемой из Химкинского водохранилища через Головинские пруды, Головинский канал и реку Норишку.

Обследуя Лихоборскую обводнительную систему на участке от Головинских прудов до Яузы, можно видеть ужасающую грязь (насыщенного желтого цвета, словно густая краска), поступающую из упомянутого выше коллектора (точка 4 на рисунке 4). По данным из Интернета, она также бывает сине-фиолетовой.

Рассмотрим, какие источники загрязнения скрываются за водовыпуском.

До этого места – Бусиновская свалка в верховьях Бусиновки, гаражи, промзоны и ДСК на водосборе руч. Коровий Враг, ТЭЦ-21 в районе МКАД и первого коллектора, Трубозаготовительный завод и Брестский мясокомбинат в районе второго коллектора в начале Ижорской улицы. Ниже по течению – Стационарные снегосплавные пункты «Лихоборский» в р-не м. Верхние Лихоборы, «Сигнальный» в районе Сигнального проезда, рядом – стройки, очистные сооружения и мусороперерабатывающий завод.

В Головинских прудах (точка 1), несмотря на илистое дно, вода относительно чистая, массово обнаруживаются дафнии (*Daphnia longispina*, бета-мезосапробный вид, $s_i = 2$, *Daphnia pulex* бета-мезосапробный вид, $s_i = 2,8$). Их доминирование является настолько сильным в теплые июньские дни (6.06.2022), что единичные представители прочих видов буквально теряются в их массе. Индекс Пантле-Букка не рекомендуется вычислять, если видов гидробионтов в пробе менее 10 и сумма частот встречаемости (обилия) h_i составляет менее 30.

Точки 2 и 3 находятся под воздействием вод, привнесенных в Лихоборскую гидросистему Норишкой, разбавленных волжской водой. Формируется сообщество планктонных организмов с преобладанием коловраток. Очень часто встречаются *Keratella cochlearis* и *Keratella quadrata*, олигосапробные и бета-мезосапробные виды с $s_i = 2$.

В пробе, взятой непосредственно из коллектора Лихоборки (точка 4), представители планктона не обнаружены вовсе (за исключением одинокого циклопа) – согласно условиям применимости Индекса Пантле-Букка этот индекс не вычислялся (таб.).

После смешения с водами «истинной» Лихоборки, принесенными коллектором на Лихоборской набережной, картина резко меняется: дафнии практически пропадают, не особенно массово, но стабильно присутствуют циклопы (*Cyclops strenuus*, альфа- мезо- и бета-мезосапробный вид с $s_i = 2,25$). Становится заметно больше детрита (точка 5).

На точке 6 в конце экологического парка Лихоборка, несмотря на его запущенность, восстанавливается сообщество планктонных организмов с преобладанием коловраток (массовое представительство аспланха *Asplanchna priodonta* и упомянутых выше *Keratella cochlearis* и *Keratella quadrata*, но только по одной особи); нередко встречались циклопы (3 шт.) и редко – дафния (2 шт., *Daphnia Magna*). Расчетные значения индекса Пантле-Букка и показатель соленосодержания, хотя и незначительно, но уменьшаются.

Можно сделать вывод о том, что характер водосборной территории влияет на видовой состав и представительство гидробионтов, отсутствие сосредоточенных сбросов способствует самоочищению водной экосистемы, но эффект от ООПТ снижают многочисленные диффузные источники (строительные базы, дороги различного назначения), окружающие экопарк, а также замусоренная территория непосредственного самого парка.

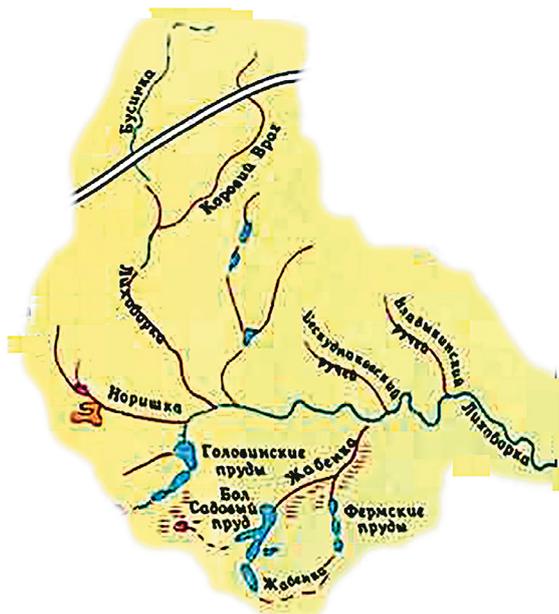


Рис. 3. Водосбор Лихоборки

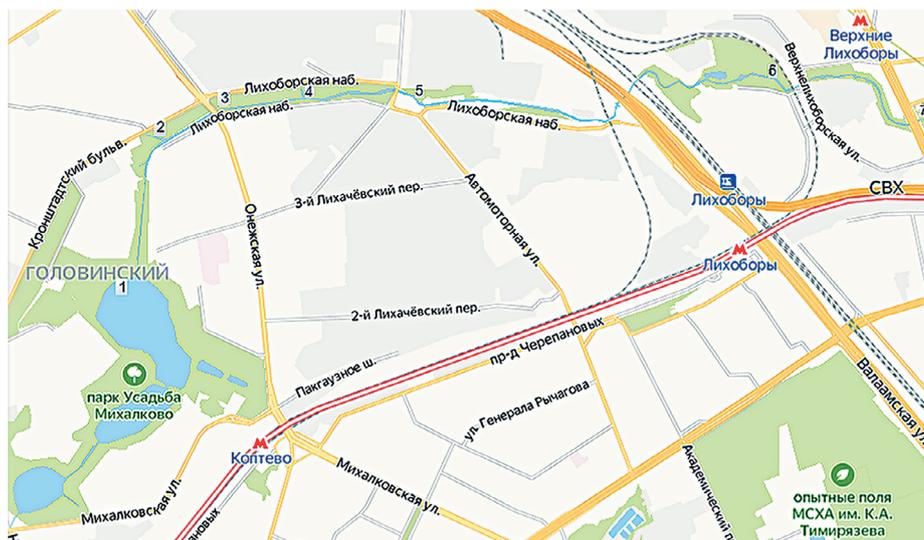


Рис. 4. Места отбора проб (1...7)

Таблица

Частота встречаемости зоопланктонных организмов, оценка степени загрязненности по индексу Пантле-Букка и значения некоторых дополнительных показателей по длине реки (июнь 2022 г.)

№	Водный объект или адрес ближайшего строения	Коловратки, %	Ци-клопы, %	Даф-нии, %	Индекс Пант-ле-Букка	Степень загрязненности воды	Показания TDS-метра, мг/л	pH	Темпе-ратура воздуха	Темпе-ратура воды	Глубина в месте отбора	Уровень шума, Дб
1	Головинский пруд			100			185	8,7	20	18	90	48
2	Выпуск из коллектора. Лихоборская наб., д. 34, к 1	60	30	10	1,88	умеренно загрязненная	263	7,9	19	17	15	51
3	Пересечение Лихоборской наб. и Онежской ул.	80	10	10	1,78	умеренно загрязненная	228	8,1	18	17	40	51 (65 – на мосту)
4	Выпуск из коллектора. Лихоборская наб., д. 5, с. 3		1 шт.				416	7,8	22	20	40	54
5	В 50 м ниже 4-го Лихачевского переулочка	60	38	2	1,85	умеренно загрязненная	346	8,0	20	20	100	49
6	Парк Лихоборка	95	3	2	1,7	умеренно загрязненная	331	7,7	22	21	110	52
7	Под Дмитровским мостом. Дмитровское ш. 60, с. 8	93	2	3	1,67	умеренно загрязненная	821	7,7	22	21	120	56 (на мосту более 70)

На последней точке 7 за мостом, по которому Дмитровское шоссе пересекает Лихоборку, доминировали коловратки самых разных видов (замечены в числе прочих коловратки аспланха – *Asplanchna priodonta* – олиго- и бета-мезосапробный вид с $s_i = 2,25$), встречались личинки земноводного комара и других насекомых, а также их панцири. Обилие насекомых на этом участке отмечалось и в отчетах прошлых лет (2015, 2017).

Солесодержание на участке от точки 6 в экопарке до точки 7 ниже Дмитровского шоссе увеличивается в 2,5 раза (!). Можно с уверенностью сказать, что интенсивное жилищное строительство, строительные базы (в том числе метростроевские), дороги различного назначения, особенно проезды без перехвата загрязненного склонового стока, оказывают существенное антропогенное воздействие на Лихоборку.

Оценивая пространственную неоднородность представительства видов и родов, можно убедиться в том, что частота встречаемости варьирует в широких пределах. Особенно показателен пример дафний: в Головинском пруду наблюдалось их массовое развитие, в районе коллектора Лихоборки не было вообще, да и на конечном участке вблизи Дмитровского шоссе обнаруживались лишь отдельные особи (в среднем 18% особей, обнаруженных в пробе, были дафниями; коэффициент вариации частоты встречаемости по точкам – максимальный, $C_v = 2,0$).

Самая стабильная и массовая на протяжении изученного участка – группа коловраток. Их представительство варьировало от 60 до 95% (в среднем 40% особей, $C_v = 0,73$).

Частота встречаемости циклопов варьировала в наибольшей степени: от штучных экземпляров (представляет интерес то, что лишь они выживали в коллекторных водах) до 38%. В среднем к группе циклопов относилось 12% особей, $C_v = 1,3$.

Несмотря на значительный разброс по точкам представительства зоопланктонных организмов отдельных видов и родов, расчетное значение Индекса Пантле-Букка колеблется по длине изученного участка не столь сильно (среднее – 1,78; диапазон – 1,67...1,88; $C_v = 0,05$). Основу сообщества составляют все-таки представители олиго-, бета-мезосапробной и альфа-мезосапробных зон, и перевес тех или иных приводит к вариациям значения индекса в пределах одного класса качества (III) и степени загрязнения.

Пространственная неоднородность экологических условий, в которых формируется сообщество, по крайней мере в отношении солесодержания, которое можно в первом приближении связать с уровнем химического загрязнения, достаточно велика (среднее – 370 мг/л; диапазон – 185...821 мг/л; $C_v = 0,58$). Коллекторные воды Норишки и Лихоборки, сосредоточенные и рассредоточенные стоки с застраиваемого и частично замусоренного водосбора на участке от Лихоборской набережной до Дмитровского шоссе существенно повышают минерализацию.

При сравнении результатов гидробиологических анализов 2022 г. с данными, полученными за предыдущие годы, значительные изменения в составе зоопланктона не выявлены. Антропогенно нарушенные участки, связанные со строительством станции метро Верхние Лихоборы, обустроены, но зато появились новые многочисленные стройплощадки (возведение многоэтажных жилых домов на границе ВОЗ), локальное замусоривание берегов и акватории на ряде точек маршрута. Можно предположить, что уровень антропогенной нагрузки на экосистему Лихоборки будет повышаться.

В перспективе планируется отдельно изучить самый проблемный участок на Бусинке и Коровьем Враге. Сосредоточенное поступление в гидросистему загрязненных вод Норишки, и особенно Лихоборки, существенно сказывается на представительстве особей различных видов в сообществе планктона. При этом следует учитывать и естественные факторы (прогрев, застои воды или наоборот: течение, в силу которого данное сообщество формируется в движении и дает осредненную оценку по некоему участку водотока).

Выводы

1. В свободном доступе имеется не так много экологически значимой информации по гидробионтам. Однако силами студентов и преподавателей МГУП (ныне – ИМВХС) за более чем 20-летний период накоплен обширный фактический материал об экосистеме Лихоборки.

2. Воды обследованной территории согласно методике Пантле и Букка по содержанию зоопланктона – умеренно загрязненные. Общее солесодержание воды повышается с 185 мг/л на Головинских прудах до 821 мг/л в районе Дмитровского шоссе. В среднем по маршруту, состоявшему из 7 станций, 18% особей в пробах приходилось на дафнии ($C_v = 2,0$), причем в Головинском пруду отмечено их массовое развитие, а в районе коллектора Лихоборки – отсутствие, и лишь единичные экземпляры встретились в пробе за Дмитровским шоссе. Самым стабильным и массовым оказалось представительство коловраток – от 60 до 95% (в среднем 40% особей, $C_v = 0,73$). Частота встречаемости циклопов варьировала от штучных экземпляров (лишь они выживали в коллекторных водах) до 38% (в среднем 12% особей, $C_v = 1,3$).

3. По сравнению с данными гидробиологических исследований, выполненных в предыдущие годы, значительные изменения в составе зоопланктона в 2022 г. не выявлены.

Список источников

1. Бубунец Э.В., Жигин А.В., Бубунец С.О. О методах оценки (бонитировки) состояния прудов парковых зон в городских агломерациях // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 9–15.
2. Евграфов А.В. Общественный экологический контроль: правовое регулирование и практика // Природообустройство. – 2015. – № 4. – С. 27–30.

References

1. Bubunets E.V., Zhigin A.V., Bubunets S.O. O metodakh ot-senki (bonitirovki) sostoyaniya prudov par-kovykh zon v gorodskikh aglomeratsiyakh [On methods for assessing (grading) the condition of park ponds in urban agglomerations]. Rybnoe khozyaystvo. 2019; 1: 9–15. (In Rus.).
2. Evgrafov A.V. Obshchestvenniy ekologicheskiy kontrol': pravovoe re-gulirovanie i praktika [Public environmental control: Legal regulation and practice]. Prirodoobustroystvo. 2015; 4: 27–30. (In Rus.).

3. Лагутина Н.В., Неупокоев Л.П., Новиков А.В., Сумарукова О.В. Мониторинг водосборов р. Яуза и р. Лихоборка в связи с началом строительных работ по СВХ на участке от м. Ботанический сад до м. Владыкино // Доклады ТСХА. – 2020. – С. 149.

4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений: утв. Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды 12 сентября 1982 г. / Ред. В.А. Абакумов. – Л.: Гидрометеоздат, 1983.

5. Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: КМК, 2011.

3. Lagutina N.V., Neupokoev L.P., Novikov A.V., Sumarukova O.V. Monitoring vodosborov r. Yauza i r. Likhoborka v svyazi s nachalom stroitel'nykh rabot po SVKh na uchastke ot m. Botanicheskiy sad do m. Vladykino [Monitoring of the Yauza and the Likhoborka watersheds when starting construction of the TSW between the metro stations Botanicheskiy Sad to Vladykino]. Doklady Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2020: 149. (In Rus.).

4. Abakumov V.A. Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy: utverzhdeno Gosudarstvennym komitetom SSSR po gidrometeorologii i kontrolyu prirodnoy sredy 12 sentyabrya 1982 g. [Manual on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments: approved by the USSR State Committee for Hydrometeorology and Environmental Control on September, 12, 1982.]. L.: Gidrometeoizdat, 1983. (In Rus.).

5. Chertoprud M.V., Chertoprud E.S. Kratkiy opredelitel' bespozvonochnykh presnykh vod tsentra Evropeyskoy. MGU im. M.V. Lomonosova, 4-e izd., ispr. i dop. [A brief identification of freshwater invertebrates of Central European Russia, Lomonosov Moscow State University, 4th edition, revised and supplemented]. M.: KMK, 2011. (In Rus.).

Сведения об авторах

Алексей Викторович Евграфов, доцент кафедры экологии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; канд. техн. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: a.evgrafov@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6306-2266>.

Никита Сергеевич Косов, магистрант кафедры экологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: nikitacosov@yandex.ru

Александра Владимировна Цветкова, магистрант кафедры экологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: sasha.tzvetkova2015@yandex.ru.

About the authors

Aleksey V. Evgrafov, CSc (Eng), Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: a.evgrafov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6306-2266>

Nikita S. Kosov, master's student of the Ecology Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: nikitacosov@yandex.ru

Aleksandra V. Tzvetkova, master's student of the Ecology Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); E-mail: sasha.tzvetkova2015@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

<i>В.И. Трухачев, И.А. Савинов</i> Вступительное слово председателя редакционного совета и главного редактора.....	5	<i>Vladimir I. Trukhachev, Ivan A. Savinov</i> Opening Remarks by the Chairman of the Editorial Board and Editor-In-Chief.....	5
--	---	--	---

БОТАНИКА, БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BOTANY, BIOLOGICAL RESOURCES

<i>А.В. Лебедев, В.В. Гостев</i> Адвентивный компонент флоры Лесной опытной дачи Тимирязевской академии.....	8	<i>Aleksandr V. Lebedev, Vladimir V. Gostev</i> Adventive Component of the Flora of the Forest Experimental Station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy	8
--	---	--	---

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ

GENETICS, BIOTECHNOLOGY

<i>Ю.А. Дудина, Е.А. Калашикова, Р.Н. Киракосян</i> Создание фотобиореактора для эффективного роста хлореллы и изучение влияния спектрального состава света на ее биомассу	15	<i>Yulia A. Dudina, Elena A. Kalashnikova, Rima N. Kirakosyan</i> Creation of a Photobioreactor for the Effective Growth of Chlorella and Study of the Effect of the Spectral Composition of Light on Its Biomass	15
---	----	--	----

ЗООЛОГИЯ,
ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХZOOLOGY,
HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

<i>В.В. Малородов, Н.Г. Черепанова</i> Влияние неравномерности микроклимата в птичниках на респираторную систему сельскохозяйственной птицы	23	<i>Victor V. Malorodov, Nadezhda G. Cherepanova</i> Effect of Uneven Microclimates in Poultry Yards on the Respiratory System of Poultry	23
<i>А.А. Кидов, Т.Э. Кондратова, Р.А. Иволга, А.Д. Соколова</i> Влияние температуры на личиночное развитие зеленой жабы (<i>Bufo viridis</i> , <i>Amphibia</i> , <i>Anura</i> , <i>Bufo</i>) в зоокультуре	29	<i>Artem A. Kidov, Tatyana E. Kondratova, Roman A. Ivolga, Aleksandra D. Sokolova</i> Impact of Temperature on Larval Development of the Green Toad (<i>Bufo viridis</i> , <i>Amphibia</i> , <i>Anura</i> , <i>Bufo</i>) in Captivity.....	29

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

<i>О.В. Селицкая, М.А. Ибраева, А.А. Ванькова, А.В. Козлов</i> Особенности бактериальных сообществ почв разной степени засоленности на примере Шаульдерского массива орошения Туркестанской области Республики Казахстан.....	35	<i>Olga V. Selitskaya, Mariya A. Ibrayeva, Anna A. Vankova, Andrey V. Kozlov</i> Features of Soil Bacterial Communities of Varying Degree of Salinity on the Example of the Shoulder Irrigation Massif of the Turkestan Region of the Republic of Kazakhstan.....	35
<i>А.М. Абдуллаева, Е.А. Колбецкая, Л.П. Блинкова, Р.К. Валитова</i> Исследование эффективности применения методов микроскопии для экспресс-оценки качества охлажденного мяса птицы с различной степенью порчи продукции	46	<i>Asiat M. Abdullaeva, Ekaterina A. Kolbetskaya, Larisa P. Blinkova, Rumiya K. Valitova</i> Investigation of the Efficiency of Microscopy Methods as a Short-Term Test of the Quality of Chilled Poultry Meat with Different Degrees of Product Spoilage	46

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ

MOLECULAR BIOLOGY, BIOCHEMISTRY

<i>В.Г. Вертипрахов, М.И. Селионова, В.В. Малородов</i> Трипсин – новый маркер метаболизма у животных	53	<i>Vladimir G. Vertiprakhov, Marina I. Selionova, Viktor V. Malorodov</i> Trypsin as a New Marker of Metabolism in Animals.....	53
--	----	--	----

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО,
КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬECOLOGY, SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT,
LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

<i>Ф.Н. Лисецкий, С.В. Калугина М.А. Польшина</i> Анализ динамики радиального прироста <i>Pinus nigra</i> <i>subsp. pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe на разных участках профиля склона	59	<i>Fedor N. Lisetskii, Svetlana V. Kalugina, Marina A. Polshina</i> Analysis of Radial Growth Dynamics of <i>Pinus nigra</i> <i>Subsp. Pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe in Different Parts of the Slope Profile.....	59
<i>В.О. Утюк, Н.В. Иванисова</i> Естественное возобновление древостоя после низовых пожаров в Ростовской области.....	68	<i>Veronika O. Utyuk, Nadezhda V. Ivanisova</i> Natural Regeneration of Forest Stands after Ground Fires in the Rostov Region.....	68
<i>А.В. Евграфов, Н.С. Косов, А.В. Цветкова</i> Влияние экологических условий на состав зоопланктона в среднем течении реки Лихоборки.....	73	<i>Aleksey V. Evgrafov, Nikita S. Kosov, Aleksandra V. Tsvetkova</i> Effect of Environmental Conditions on the Composition of Zooplankton in the Middle Stream of the Likhoborka River.....	73

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ / TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

e-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
тел.: +7 (499) 976-07-48 добавочный 2

Адрес редакции:
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 58, каб. 221
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Принято в печать 14.05.2023 г. Формат 60 84/8 5 печ. л.
Гарнитура шрифта «Times New Roman»
