

16+

ISSN 2311-1402

НИЖНЕВАРТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА



БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

3 (63)/2023

В

Е

С

Т

Н

И

К





ВЕСТНИК НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА



Журнал основан в 2008 г.

утвержденный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации от 01.12.2015.

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3>

Учредитель: ФГБОУ ВО «Нижневартровский государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 80105 от 31.12.2020.

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 – 79658 от 27.11.2020.

Подписной индекс АО «Почта России» ПП617

Периодичность издания: 4 раза в год / ежеквартально
Язык издания: русский, английский

Индексируется и размещается: CrossRef, Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), НЭБ КиберЛенинка (CyberLeninka), ЭБС IPRbooks, ЭБС «Лань», DOAJ, ZENODO, OpenAIRE, ZDB, Google Академия, Information Matrix for the Analysis of Journals (MIAR), Open Academic Journals Index (ОАИ), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), Dimensions, AGRIS, Open Ukrainian Citation Index.

Адрес редакции: Россия, 628616, ХМАО-Югра, г. Нижневартовск, ул. Ленина, 56. тел./факс: (3466) 44-39-50, факс: (3466) 45-18-05
e-mail: nvsu@nvsu.ru, red@nvsu.ru

Адрес издательства: Россия, 628616, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Нижневартовск, ул. Маршала Жукова, д. 4.
Тел./факс: (3466) 24-50-51, e-mail: izd@nvsu.ru

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (по состоянию на 20.07.2022 г.) по специальностям: 1.5.15. Экология (биологические науки), 5.6.1. Отечественная история (исторические науки), 5.6.2. Всеобщая история (исторические науки), 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки)



Тип лицензии CC, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Издатель: ФГБОУ ВО «Нижневартровский государственный университет», Россия, 628605, ХМАО-Югра, г. Нижневартовск, ул. Ленина, 56
Исполнитель: Издательство НВГУ, Россия, 628616, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Нижневартовск, ул. Маршала Жукова, д. 4.

ISSN 2311-1402 (Print)
ISSN 2686-8784 (Online)

Подготовлено и отпечатано в изд-ве НВГУ
Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 15.09.2023
Дата выхода 20.09.2023
Формат 60×84 1/8. Гарнитура Times. Усл. печ. листов 8,21.
Тираж 100 экз. Заказ 2291 Цена: бесплатно

Главный редактор: **Горлов С.И.** (г. Нижневартовск, Россия)

Зам. гл. редактора: **Погоньшев Д.А.** (г. Нижневартовск, Россия)

Отв. редактор: **Юмагулова Э.Р.** (г. Нижневартовск, Россия)

Редакционная коллегия:

Аикин В.А. (г. Омск, Россия)

Войтенко А.А. (г. Москва, Россия)

Гбоко С.К. (г. Буаке, Кот-д'Ивуар)

Горшков-Кантакузен В.А. (г. Мидлсекс, Великобритания)

Дайнеко Н.М. (г. Гомель, Беларусь)

Ибрагимова Л.А. (г. Нижневартовск, Россия)

Еманов А.Г. (г. Тюмень, Россия)

Казанский М.М. (г. Париж, Франция)

Кулагин А.Ю. (г. Уфа, Россия)

Лубышева Л.И., (г. Москва, Россия)

Маймерова Г.Ш. (г. Бишкек, Кыргызстан)

Медведев С.С. (г. Санкт-Петербург, Россия)

Нурбеков Б.Ж. (г. Нур-Султан, Казахстан)

Синяевский Н.И. (г. Сургут, Россия)

Солодкин Я.Г. (г. Нижневартовск, Россия)

Суртаева Н.Н. (г. Санкт-Петербург, Россия)

Талыбов Т.Г. (г. Нахчыван, Азербайджан)

Фатуллаев П.У. (г. Нахчыван, Азербайджан)

Цысь В.В. (г. Нижневартовск, Россия)

16 +

Яковлева А.М., выпускающий редактор
Вилявин Д.В., верстка оригинал-макета

© Нижневартовский государственный университет, 2023



BULLETIN

of NIZHNEVARTOVSK
STATE UNIVERSITY



Bulletin of Nizhnevartovsk State University was founded in 2008

Included in the List of peer-reviewed scientific publications,

approved by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 01.12.2015

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3>

The journal is published quarterly by the Publishing House of Nizhnevartovsk State University

Registration certificate PI number FS77-80105 on 31.12.2020.
Registration certificate EL number FS77-79658 on 31.12.2020.

Subscription index in the JSC "Russian post" - PP617.

Quarterly

Language of publication: Russian, English

Indexed: CrossRef, Russian Science Citation Index (RSCI), NES Cyber-Leninka (CyberLeninka), EBS IPRbooks, EBS Lan, DOAJ, ZENODO, OpenAIRE, ZDB, Google Academy, Information Matrix for the Analysis of Journals (MIAR), Open Academic Journals Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), Dimensions, AGRIS, Open Ukrainian Citation Index.

Editorial address: 628616, Russia, Khanty-Mansiysk Autonomous Area – Yugra, Nizhnevartovsk, Lenin Str., 56.
tel./fax: (3466) 44-39-50; (3466) 45-18-05
e-mail: nvsu@nvsu.ru, red@nvsu.ru

Publisher address: 628616, Russia, Khanty-Mansiysk Autonomous Area – Yugra, Nizhnevartovsk, Marshal Zhukov Str., 4, of. 1001. tel.: (3466) 24-50-51,
e-mail: izd@nvsu.ru

Editor-in-Chief: *S.I. Gorlov* (Nizhnevartovsk, Russia)

Deputy Editor: *D.A. Pogonyshv* (Nizhnevartovsk, Russia)

Executive editor: *E.R. Yumagulova* (Nizhnevartovsk, Russia)

Editorial Board:

V.A. Aikin (Omsk, Russia)

A.A. Voitenko (Moscow, Russia)

S.K. Gboko (Bouake, Côte d'Ivoire)

V.A. Gorshkov-Kantakuzen (Middlesex, UK)

N.M. Daineko (Gomel, Belarus)

L.A. Ibragimova (Nizhnevartovsk, Russia)

A.G. Emanov (Tyumen, Russia)

M.M. Kazansky (Paris, France)

A.Yu. Kulagin (Ufa, Russia)

L.I. Lubysheva (Moscow, Russia)

G.Sh. Maymerova (Bishkek, Kyrgyzstan)

S.S. Medvedev (St. Petersburg, Russia)

B.Zh. Nurbekov (Nur-Sultan, Kazakhstan)

N.I. Sinyavsky (Surgut, Russia)

Ya.G. Solodkin (Nizhnevartovsk, Russia)

N.N. Surtaeva (St. Petersburg, Russia)

T.G. Talibov (Nakhchivan, Azerbaijan)

P.U. Fatullayev (Nakhchivan, Azerbaijan)

V.V. Tsys (Nizhnevartovsk, Russia)

16+



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISSN 2311-1402 (Print)
ISSN 2686-8784 (Online)

Prepared and printed in the publishing house of NVGU
Ed. persons. JIP No. 020742. Signed for printing on 15.09.2023
Release date 20.09.2023
Format 60×84 1/8. Times typeface. CONV. print sheets 8.21.
Circulation 100 copies. Order 2291. Free

A.M. Yakovleva, commissioning editor
D.V. Vilyavin, design, publication layout

© Nizhnevartovsk State University, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT

<i>Андреева И.С., Емельянова Е.К., Малинкин А.А., Ребус М.Е., Сафатов А.С.</i> Скрининг бактерий, выделенных из атмосферных аэрозолей Арктики, на способность к нефтедеструкции4	<i>I.S. Andreeva, E.K. Emelyanova, A.A. Malinkin, M.E. Rebus, A.S. Safatov.</i> Screening of Bacteria Isolated from Arctic Atmospheric Aerosols for Oil Degradation Ability4
<i>Арефьев С.П.</i> Дендрохронологический анализ реакции лесообразующих видов деревьев проектируемого Мыстыгыганского заказника (бассейн р. Вах) на изменения климата в XX-XXI столетиях 18	<i>S.P. Arefiev.</i> Dendrochronological Analysis of the Response of Forest-Forming Tree Species of the Projected Mystygygan Reserve (Vakh River Basin) to Climate Change in the XX-XXI Centuries 18
<i>Коренькова О.О.</i> Семенная продуктивность и качество семян <i>Juniperus Deltoides</i> R.P. Adams в горном Крыму35	<i>O.O. Korenkova.</i> Seed Productivity and Seed Quality <i>Juniperus Deltoides</i> R.P. Adams in the Mountainous Crimea35
<i>Битнер М.И., Смолина Н.В.</i> Некоторые цитогенетические особенности популяций <i>Carassius gibelio</i> и <i>Carassius carassius</i> , обитающих в гидрологически разнотипных водоемах бассейна реки Тура47	<i>M.I. Bitner, N.V. Smolina.</i> Some Cytogenetic Features of <i>Carassius gibelio</i> and <i>Carassius carassius</i> , Populations Living in Hydrologically Diverse Reservoirs of the Tura River Basin47
<i>Емцев А.А., Берников К.А., Наконечный Н.В.</i> Обыкновенный светляк <i>Lampyrus noctiluca</i> (Coleoptera, Lampyridae) в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре58	<i>A.A. Emtsev, K.A. Bernikov, N.V. Nakonechnyi.</i> Common Glow-Worm <i>Lampyrus noctiluca</i> (Coleoptera, Lampyridae) in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra58
<i>Янгирова Л.Я., Петухова Г.А.</i> Изменение показателей жизнедеятельности дрозофил нефтеустойчивых линий в зависимости от условий содержания69	<i>L.Y. Yangirova, G.A. Petukhova.</i> Changes in the Vital Signs of <i>Drosophila</i> Oil-Resistant Lines, Depending on the Conditions of Detention69
<i>Погоньшева И.А., Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н., Погоньшев Д.А., Постникова В.В.</i> Психофункциональное состояние мужчин трудоспособного возраста в экстремальных социально-природных условиях.....80	<i>I.A. Pogonysheva, E.Yu. Shalamova, O.N. Ragozin, D.A. Pogonyshev, V.V. Postnikova.</i> Psychofunctional State of Men of Working Age in Extreme Socio-Natural Conditions80
<i>Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., Тарасова С.С.</i> Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации в условиях Западной Сибири90	<i>A.E. Zimnukhova, E.V. Gaevaya, S.S. Tarasova.</i> Ecological Assessment of Drilling Sludge and Development of a Method for their Bioremediation in Western Siberia90
<i>Ржепка Э.А., Соколов С.Н., Ржепка Т.П.</i> К вопросу о твердых коммунальных отходах в Иркутской области101	<i>E.A. Rzhepka, S.N. Sokolov, T.P. Rzhepka.</i> To the Issue of Solid Municipal Waste in the Irkutsk Region101
<i>Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А., Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М.</i> Эффективность применения осадка городских сточных вод при рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы113	<i>A.A. Utombaeva, T.V. Kuznetsova, A.A. Vershinin, E.R. Zainulgabidinov, A.M. Petrov.</i> Efficiency of Application of Municipal Wastewater Sludge During Reclamation of Oily Gray Forest Soil113

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И РАСТЕНИЙ / ECOLOGY OF MICROORGANISMS AND PLANTS

УДК 606:66-911.38(98)+631.4:665.6:
<https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/01>

*Андреева И.С., Емельянова Е.К.,
Малинкин А.А., Ребус М.Е., Сафатов А.С.*

СКРИНИНГ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ АРКТИКИ, НА СПОСОБНОСТЬ К НЕФТЕДЕСТРУКЦИИ

*I.S. Andreeva, E.K. Emelyanova,
A.A. Malinkin, M.E. Rebus, A.S. Safatov*

SCREENING OF BACTERIA ISOLATED FROM ARCTIC ATMOSPHERIC AEROSOLS FOR OIL DEGRADATION ABILITY

Аннотация. В настоящее время существенная часть почвенного покрова в мире подвержена загрязнению, приводящему к его деградации. Среди многочисленных загрязняющих почву веществ значительная роль принадлежит углеводородам нефти. Источниками загрязнения являются предприятия добычи, переработки, транспорта, хранения нефти и нефтепродуктов, при этом ежегодно в мире теряются миллионы тонн. Биологическая рекультивация, основанная на потенциале микроорганизмов трансформировать поллютанты различного происхождения, является наиболее перспективным и экологически безопасным методом восстановления плодородия почв, поэтому поиск новых штаммов для создания и совершенствования таких биопрепаратов является по-прежнему актуальным. Атмосферные аэрозоли являются источником как транзитной, так и эндогенной микробиоты, являющейся метаболически активной по отношению к загрязнителям. Во время комплексной самолетной экспедиции по зондированию атмосферы над акваториями морей Ледовитого океана отобраны образцы аэрозолей для микробиологического анализа. Выделенные культуры микроорганизмов, относящиеся к родам *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Rhodococcus*, тестированы на способность к нефтедеструкции при росте на агаризованной и жидкой среде с добавлением нефти до 2% в качестве единственного источника углерода и инкубировании в течение 10 суток. Биоэмульгирующие и биodeградирующие способности микроорганизмов при росте в жидкой среде оценивали визуально по разрушению поверхностной пленки нефти, помутнению питательной среды за счет увеличения биомассы микроорганизмов, образованию однородной эмульсии нефти в среде, микроскопии культуральных суспензий, а также при их высеве на агаризованную питательную среду для определения

Abstract. Currently, a significant part of the world's soil cover is exposed to negative pollution, leading to its degradation. Oil hydrocarbons play a significant role among numerous soil pollutants. Sources of pollution are enterprises of oil extraction, oil refining, oil and oil products transportation. Every year in the world millions of tons of oil and oil products are lost during extraction, transportation, storage and use. Biological remediation based on the potential of microorganisms to transform pollutants of different origin is the most promising and environmentally safe method of restoring soil fertility, so the search for new strains to create and improve such biological preparations is still relevant. Atmospheric aerosols are a source of both transient and endogenous microbiota, which are metabolically active in relation to pollutants. During a complex airborne expedition on atmospheric sounding over the Arctic Ocean seas samples of aerosols were collected for microbiological analysis. The isolated cultures of microorganisms belonging to the genera *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Rhodococcus* were tested for the ability to oil destruction when growing on agarized and liquid medium with the addition of oil to 2% as the only source of carbon and incubation for 10 days. The bioemulsifying and biodegrading abilities of microorganisms during growth in liquid medium were estimated visually by destruction of the surface film of oil, turbidity of the nutrient medium due to an increase in the biomass of microorganisms, formation of a uniform emulsion of oil in the medium, microscopy of cultural suspensions, and by their seeding on agarized nutrient medium to determine the titer of viable cells. Highly effective mesophilic and

титра жизнеспособных клеток. Из северных атмосферных аэрозолей выделены высокоэффективные мезофильные и психротолерантные бактерии-нефтедеструкторы, которые могут быть применены для создания комплексных биопрепаратов, способных ассимилировать более широкий спектр углеводородов нефти для рекультивации загрязненных почв и грунтов холодных территорий Сибири и Арктики.

Ключевые слова: атмосферные аэрозоли; Арктика; самолетное зондирование; микроорганизмы-нефтедеструкторы; биопрепараты для рекультивации.

Сведения об авторах: Андреева Ирина Сергеевна, ORCID: 0000-0002-3966-3763, канд. биол. наук, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия, andreeva_is@vector.nsc.ru; Емельянова Елена Константиновна, ORCID: 0000-0003-0970-1447, канд. биол. наук, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора; Новосибирский государственный медицинский университет, г. Новосибирск, Россия, emelen1@yandex.ru; Малинкин Артем Алексеевич, ORCID: 0009-0008-1732-2803, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия, malinkin_aa@vector.nsc.ru; Ребус Максим Евгеньевич, ORCID: 0009-0008-1732-2803, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия, rebus_me@vector.nsc.ru; Сафатов Александр Сергеевич, ORCID:0000-0002-9161-6438, д-р тех. наук, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия, safatov@vector.nsc.ru

psychrotolerant oil destructor bacteria were isolated from northern atmospheric aerosols, which can be used to create complex biopreparations capable of assimilating a wider range of oil hydrocarbons for remediation of polluted soils and grounds in cold territories of Siberia and the Arctic.

Keywords: atmospheric aerosols; Arctic; airborne sounding; oil-destroying microorganisms; biopreparations for reclamation.

About the authors: Irina S. Andreeva, ORCID: 0000-0002-3966-3763, Candidate of Biological Sciences, State Research Center of Virology and Biotechnology *Vector* Rospotrebnadzor, Novosibirsk, Russia, andreeva_is@vector.nsc.ru; Elena K. Emelyanova, ORCID: 0000-0003-0970-1447, Candidate of Biological Sciences, State Research Center of Virology and Biotechnology *Vector*, Rospotrebnadzor; Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia, emelen1@yandex.ru; Artem A. Malinkin, ORCID: 0009-0008-1732-2803, State Research Center of Virology and Biotechnology *Vector*, Rospotrebnadzor, Novosibirsk, Russia, malinkin_aa@vector.nsc.ru; Maxim E. Rebus, ORCID: 0009-0008-1732-2803, State Research Center of Virology and Biotechnology *Vector*, Rospotrebnadzor, Novosibirsk, Russia, rebus_me@vector.nsc.ru; Alexander S. Safatov, ORCID: 0000-0002-9161-6438, Doctor of Technical Sciences, State Research Center of Virology and Biotechnology *Vector*, Rospotrebnadzor, Novosibirsk, Russia, safatov@vector.nsc.ru

Андреева И.С., Емельянова Е.К., Малинкин А.А., Ребус М.Е., Сафатов А.С. Скрининг бактерий, выделенных из атмосферных аэрозолей Арктики, на способность к нефтедеструкции // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2022. № 3(63). С. 4–17. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/01>

Andreeva, I.S., Emelyanova, E.K., Malinkin, A.A., Rebus, M.E., & Safatov, A.S. (2023). Screening of Bacteria Isolated from Arctic Atmospheric Aerosols for Oil Degradation Ability. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 4-17. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/01>

Нефть и нефтепродукты являются основными загрязнителями окружающей среды [5; 23], что особенно актуально для Сибири – основного нефтегазоносного района России, отличающегося масштабностью распространения загрязнений во всех отраслях нефтегазового комплекса и хозяйственной деятельности, следствием чего является деградация лесных, сельскохозяйственных и водно-болотных угодий, изъятие из хозяйственного землепользования плодородных земель, уничтожение естественных

кормовых ресурсов для диких и домашних животных, токсическое воздействие на человека и все живое [1; 9].

Для ликвидации нефтезагрязнений почвенных и водных экосистем разработаны многочисленные методы и технологии – от сбора разлившейся нефти различными механизмами и приспособлениями до использования сорбентов и фиторемедиации [4; 7; 14; 16]. Применение микроорганизмов-деструкторов нефтепродуктов является экологически приемлемым и эффективным способом очистки почвы и воды в случае загрязнений [2], но имеет определенные ограничения, связанные с масштабом нагрузки загрязнителя на природные экосистемы. При ликвидации на месте аварийного разлива нефти или нефтепродуктов биологические методы малоэффективны, но доочистка экосистемы после удаления основной массы нефтяного загрязнителя механическим или другим путем может быть проведена уже с использованием биотехнологии [17]. Наиболее часто в состав биопрепаратов входят культуры бактерий родов *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter* [6; 10; 11; 12].

Отмечена высокая эффективность применения комплексных препаратов, содержащих более одной культуры, объясняемая тем, что консорциум микроорганизмов ассимилирует широкий спектр углеводов нефти, а также способен использовать промежуточные продукты, образующиеся при ее биодеструкции [27]. Следует также отметить, что биопрепараты на основе аборигенных микроорганизмов, выделенных непосредственно из нефтезагрязненной почвы, уже адаптированы к фракционному составу нефтепродуктов, загрязняющих среду их обитания [8; 18; 25]. При применении аборигенных культур, свойственных для сформировавшихся микробиоценозов, исключается внедрение чужеродных штаммов, способных нарушить его исходную структуру. Для регионов с коротким вегетационным периодом особенно важно применение для очистки загрязненных территорий психротолерантных микроорганизмов, способных сохранять жизнедеятельность и деструктивные способности при пониженных температурах [15; 21]. Поскольку проблема ликвидации нефтезагрязнений в настоящее время стоит исключительно остро, поиск новых штаммов-деструкторов для создания биопрепаратов является по-прежнему актуальным. В данной статье в качестве перспективного источника ценных нефтеутилизирующих микроорганизмов рассмотрены аэрозоли Арктики, сформировавшиеся непосредственно над северными территориями, в том числе местами нефтедобычи [3]. Атмосферные аэрозоли являются источником как транзитной, так и эндогенной микробиоты, являющейся метаболически активной по отношению к загрязнителям.

Цель исследования: скрининг микроорганизмов, выделенных из аэрозолей воздуха Арктики в ходе самолетного зондирования атмосферы, на способность к утилизации нефтепродуктов.

Пробы атмосферных аэрозолей с применением УНУ самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик» отобраны в сентябре 2020 г. во время комплексной экспедиции по зондированию атмосферы на высотах от 200 и до 10000 м над акваториями морей Ледовитого океана: Баренцевым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским, Чукотским и Беринговым. Отбор 24

образцов атмосферных аэрозолей для микробиологического анализа выполняли с использованием импинджеров МЦ-50, содержащих среду Хенкса объемом 50 мл.

Полученные таким образом суспензии аэрозолей высевали на стандартные жидкие и агаризованные питательные среды (ФБУН «ГНЦ ПМБ» Роспотребнадзора, РФ). Инкубировали емкости с посевами в течение 3–14 суток при температурах 28–30 и 6–10°C. Культуры микроорганизмов, изолированные из аэрозолей Арктики, относящиеся к родам *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Yarrowia* тестировали на способность к нефтедеструкции при высеве на агаризованную и жидкую среду 8E с добавлением по весу (до 1–5%) высоковязкой нефти Усинского месторождения (республика Коми, РФ) со средней плотностью в пределах 0,920–0,986 г/см³ в качестве единственного источника углерода. Состав среды 8E (г/л): (NH₄)₂HPO₄ – 1,5; KH₂PO₄ – 0,7; MgSO₄ × 7H₂O – 0,8; NaCl – 0,5; pH – 7,2.

Инкубирование культур в жидкой среде 8E с добавлением нефти до 2% проводили при принудительной аэрации на качалке (165 об/мин, температура 20–22°C) в течение 10 суток. Биоэмульгирующие и биодеградирующие способности микроорганизмов при росте в жидкой среде оценивали визуально по разрушению поверхностной пленки нефти, помутнению питательной среды за счет увеличения биомассы микроорганизмов, образованию однородной эмульсии нефти в среде, фазово-контрастной микроскопии культуральных суспензий (микроскоп Axioskop 40, «Carl Zeiss», Германия), при их высеве на агаризованную среду для определения титра жизнеспособных клеток. Биоэмульгирующую активность изолированных бактерий по отношению к бензину и керосину определяли методом Д. Купера с модификациями [20].

Выделенные штаммы микроорганизмов хранили при низкотемпературном замораживании в коллекции природных изолятов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

Историю движения воздушных масс, из которых осуществлялся отбор проб, определяли при построении 10-дневных обратных траекторий с помощью программы HYSPLIT.

Анализ обратных траекторий движения воздушных масс, из которых осуществлялся отбор проб, показывает, что они не являлись трансокеаническими или трансконтинентальными, их формирование проходило непосредственно над северными территориями суши с дальнейшим продвижением на север. В связи с этим предполагается, что микроорганизмы, захваченные восходящими ветровыми потоками с поверхности грунта в бесснежный период сентября, являлись эндогенными обитателями экосистем севера Сибири, возможно, из мест нефтедобычи.

При тестировании штаммов на способность к росту на агаризованной среде 8E с нефтью показано, что в условиях проведенного опыта большая часть из 42 испытуемых штаммов с разной интенсивностью проявила способность к утилизации нефти при ее концентрации в среде 1–2%. При большей концентрации (5%) способны к росту были только

несколько штаммов, наиболее активно – штамм *Rhodococcus sp.* Sp-116 (табл. 1), для остальных штаммов такая концентрация нефти оказалась токсичной.

Наиболее активные штаммы, отобранные по интенсивности роста на агаризованной среде с нефтью, использованы в опытах при их высеве на жидкую среду 8Е с концентрацией нефти до 2% и инкубировании при принудительной аэрации на качалке в течение 10 суток (рис. 1а).

Таблица 1

**Способность к росту испытываемых штаммов
на агаризованной среде 8Е с нефтью в разной концентрации**

Штамм	Концентрация нефти (%), активность роста		Штамм	Концентрация нефти (%), активность роста		Штамм	Концентрация нефти (%), активность роста	
	2	5		2	5		2	5
Контроль	-	-	Sp-64	+	-	Sp-105	+	-
Sp-1	++	±	Sp-67	+	±	Sp-106	±	-
Sp-2	+	-	Sp-69	±	-	Sp-107	±	-
Sp-12	±	-	Sp-70	±	-	Sp-109	+	-
Sp-16	++	+	Sp-71	+	±	Sp-110	+	-
Sp-17	±	-	Sp-73	+	±	Sp-116	+++	++
Sp-18	+++	+	Sp-75	+	-	Sp-117	+	±
Sp-22	++	+	Sp-76-1	±	-	Sp-118	+	±
Sp-22-1	++	±	Sp-80	+	-	Sp-119	+	±
Sp-29	±	-	Sp-81	±	-	Sp-120	+	-
Sp-38-1	+	±	Sp-83	+	±	Sp-126	+	+
Sp-47	+	±	Sp-90	+	±	Sp-138	+	±
Sp-54	+	-	Sp-91	+	±	Sp-139	+	-
Sp-56	+	-	Sp-94	+	-	Sp-140	±	±
Sp-59	+	-	Sp-100	-	-	Sp-138-1	+	-
Sp-60	+	±	Sp-104	+	-	Sp-138	+	-

Обозначения: «+++» – обильный рост, «++» – активный рост, «+» – умеренный рост, «±» – следовой рост; «-» – отсутствие роста.

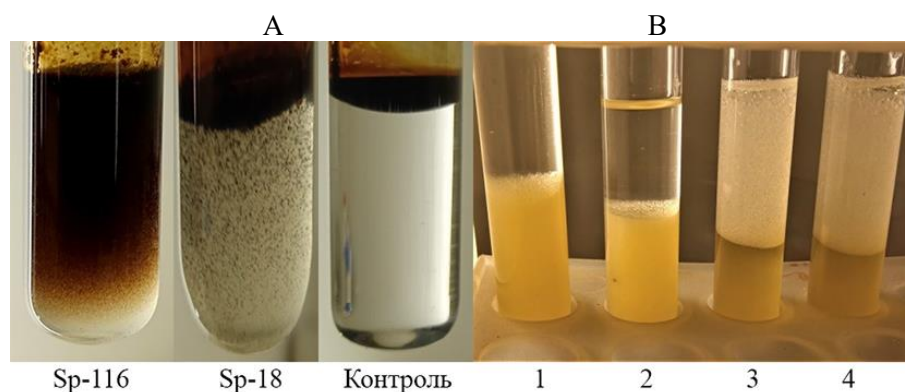


Рис. 1. А – Диспергирование нефти, разрушение поверхностной нефтяной пленки штаммами бактерий *Rhodococcus sp.* Sp-116 и *Acinetobacter sp.* Sp-18; В – Биоэмульгирующая активность штаммов-деструкторов *Rhodococcus sp.* Sp-116 (с бензином 1, керосином 2), *Acinetobacter sp.* Sp-18 (с бензином 3, керосином 4)

Первый этап деградации углеводородов заключается в их окислении с помощью мембран-связанных оксигеназ, обеспечивающий адсорбцию клеток на поверхности нефти и возможность ее утилизации. Кроме того, бактерии-деструкторы способны выделять в

окружающую среду поверхностно-активные соединения (БиоПАВ). Они способствуют расщеплению углеводородной составляющей нефти, образованию мицелл, повышению подвижности, биодоступности для бактерий, тем самым способствуя биоразложению углеводородов [26].

Секреция различных по воздействию на высоковязкую нефть БиоПАВ и, как следствие, формирование разной по структуре эмульсии продемонстрировано на рисунке 1. Выделяют два основных класса БиоПАВ: низкомолекулярные – биосурфактанты (липопептиды, гликолипиды, пептиды) и высокомолекулярные полимеры – биоэмульгаторы (полисахариды, протеины, липополисахариды, липопротеины или комплекс этих биополимеров). Биосурфактанты снижают поверхностное и межфазное натяжение, а биоэмульгаторы (к которым относятся амфифильные и полифильные полимеры) стабилизируют нефтяную эмульсию [13]. Биосурфактанты и биоэмульгаторы синтезируются микроорганизмами родов *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Yarrowia* и другими [19; 22; 24].

Биоэмульгирующая активность в эксперименте с бензином и керосином по методу Купера для штаммов-деструкторов оценена в пределах от 59 до 69%. Полученная эмульсия стабильно сохранялась на протяжении всего срока наблюдения в течение 1 недели. Для высокоактивного штамма *Rhodococcus sp.* Sp-116, быстро разрушающего пленку нефти и преобразующую ее в микроэмульсию, вспененная часть располагалась нетипично в нижней части раствора в пробирке (рис. 1b), в отличие от всех остальных деструкторов, у которых эмульсия располагалась типично в верхней части раствора, что свидетельствует о разном характере физического воздействия на нефть, секреции различных по химическому составу метаболитов.

Микроскопия суспензий исследуемых микроорганизмов наглядно показала процесс разрушения нефти и ее ассимиляции бактериями, в то время как в контроле без внесения клеток бактерий биодеградация нефти не происходила. На рисунке 2 представлены планктонные и сорбированные клетки штаммов на микрокаплях нефтяной эмульсии на разных этапах деструкции нефти. Наиболее выраженной эмульгирующей способностью обладали штаммы бактерий Sp-1, Sp-2, Sp-16, Sp-18, Sp-67, Sp-80, Sp-90, Sp-109, Sp-116, дрожжей Sp-71, Sp-73, Sp-91. Штамм *Rhodococcus sp.* Sp-116 эффективно трансформировал нефть в устойчивую мелкодисперсную эмульсию уже на третьи сутки культивирования, обладал выраженной сорбирующей способностью по отношению к поверхности нефтяных капель. Штамм *Acinetobacter sp.* Sp-18 был близок по активности, отличался высокой концентрацией планктонных клеток, что может быть связано с особенностями механизма утилизации нефти микроорганизмами этого вида. Среди дрожжей аналогичную, но менее выраженную эмульгацию, демонстрировали штаммы Sp-73, Sp-91.

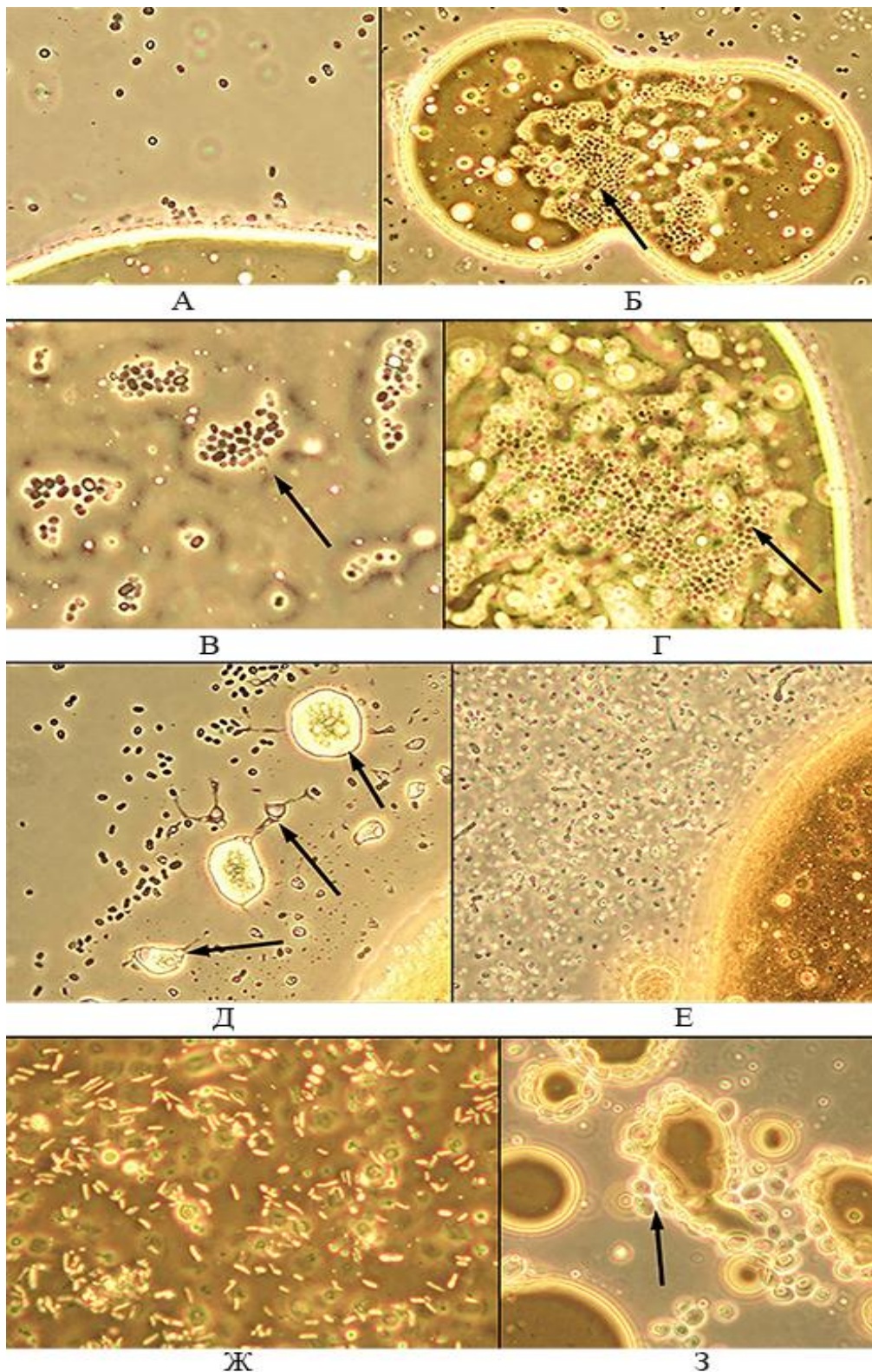


Рис. 2. Планктонные и сорбированные клетки нефтедеструкторов на поверхности микрокапель нефтяной эмульсии при культивировании в жидкой среде 8Е с нефтью (фазовый контраст, $\times 2500$)

В результате адгезии гидрофобные клетки микроорганизмов способны связываться с капельками нефти и подниматься с ними вверх к границе раздела фаз «вода – воздух», после чего нижний слой культуральной жидкости становится, практически, прозрачным, и лишь при встряхивании наблюдается равномерное распределение эмульсии. Разрушение

сплошности нефтяной пленки и ее утилизация микроорганизмами может осуществляться как за счет контакта в результате сорбции клеток на поверхности капель нефти, так и за счет поглощения сольоблизированных капель, сформированных в результате синтеза биосурфактантов, которые, в свою очередь, могут как продуцироваться в окружающую среду, так и фиксироваться на поверхности клеточных стенок или располагаться внутриклеточно. Для биодegradации нефти микроорганизмами эмульгирование имеет решающее значение, поскольку оно увеличивает площадь раздела фаз «нефть – вода» и скорость растворения нефтяных соединений: по мере уменьшения размера капель увеличивается скорость биодеструкции. Биомасса бактерий *Rhodococcus sp.* Sp-116 и *Acinetobacter sp.* Sp-18 или их биоэмульгирующие агенты, демонстрирующие различные типы эмульгации нефти, могут быть использованы как для целей биоремедиации, очистки нефтезагрязненного оборудования, удаления нефти из загрязненных сорбентов для их вторичного применения, так и для повышения нефтеотдачи пластов в результате десорбции от породы, поскольку являются биосовместимыми, безвредными, биоразлагаемыми.

Важно, что в результате выполненной работы обнаружены штаммы, способные к деструкции трудно утилизируемой высоковязкой нефти тяжелого типа, пригодные для совместного взаимодополняющего применения при создании комплексных бактериальных препаратов.

Сделана попытка учета концентрации клеток в суспензиях при культивировании штаммов-деструкторов в жидкой среде 8Е. К сожалению, по причине объединения большого количества клеток, утилизирующих нефть, в сорбированном виде в конгломераты, этот учет не может быть точным, будет заниженным, и, в основном, относится к клеткам планктонным, находящимся в суспензии в свободном состоянии. Тем не менее, полученные данные (табл. 2) позволяют в некотором приближении оценить количество жизнеспособных клеток в полученных суспензиях на разных этапах культивирования.

Пояснения к рисунку 2: А – сорбция клеток деструктора на поверхности микрокапли нефти; Б, В, Г – развитие биопленки клеток деструкторов на каплях нефтяной суспензии; Д – активная утилизация нефти, стрелками указаны уменьшающиеся капли эмульсии и их остатки; Е – резко возросшая концентрация планктонных клеток штамма *Acinetobacter sp.* Sp-18 к окончанию срока культивирования; Ж – клетки нефтедеструктора *Rhodococcus sp.* Sp-116, сорбированные на поверхности микрокапли нефтяной суспензии; З – клетки нефтедеструктора *Yarrowia lipolytica* Y-979, утилизирующие нефтяную суспензию.

Снижение титра клеток к концу культивирования (10 сут.) может быть связано с исчерпанием необходимых компонентов питательной среды и легкоутилизируемых компонентов нефти, накоплением собственных метаболитов, угнетающих дальнейший рост культуры. Для наиболее активных штаммов титр жизнеспособных планктонных клеток к концу длительного культивирования в ограниченном объеме оказался достаточно высоким, достигая $1-5 \times 10^{7-8}$ КОЕ/мл суспензии (табл. 2).

Таблица 2

**Титр жизнеспособных клеток при культивировании штаммов-деструкторов
в жидкой среде 8E с нефтью**

Штамм	Время культивирования (сут.) / титр клеток (КОЕ/мл)		Штамм	Время культивирования (сут.) / титр клеток (КОЕ/мл)	
	5	10		5	10
Sp-1	$5,0 \times 10^6$	$4,3 \times 10^7$	Sp-90	$3,0 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$
Sp-16	$5,6 \times 10^6$	$3,7 \times 10^7$	Sp-109	$2,5 \times 10^5$	$4,0 \times 10^3$
Sp-18	$2,3 \times 10^6$	$2,2 \times 10^8$	Sp-116	$4,3 \times 10^6$	$8,2 \times 10^7$
Sp-22	$5,6 \times 10^6$	$3,3 \times 10^7$	Sp-126	нет данных	$2,0 \times 10^3$
Sp-67	$3,1 \times 10^6$	$2,3 \times 10^7$	Sp-138-1	$2,3 \times 10^4$	$5,3 \times 10^4$

Следует отметить, что часть штаммов нефтеструкторов Sp-1, Sp-2, Sp-16, Sp-18, Sp-109, Sp-116 и др. (табл. 3), являются психротолерантными бактериями, способными к росту при пониженных температурах, что исключительно важно для применения в северных регионах при биорекультивации нефтезагрязненных территорий.

Таблица 3

Способность исследуемых штаммов к росту при разном температурном режиме

Штамм	Температура культивирования, °C			Штамм	Температура культивирования, °C		
	6-9	20-22	37		6-9	20-22	37
Sp-1	++	++	++	Sp-73	-	+++	+
Sp-2	++	++	++	Sp-90	-	++++	++++
Sp-16	++	++++	+++	Sp-104	-	++++	++++
Sp-18	++	++++	+++	Sp-109	++	++++	++++
Sp-22	++	++++	++++	Sp-110	++	++++	++++
Sp-38	-	++	-	Sp-116	++	++++	±
Sp-56	-	++++	+++	Sp-120	-	++++	++++
Sp-59	-	++++	++++	Sp-126	-	+++	++
Sp-60	-	++++	+++	Sp-138	++	+++	+++
Sp-67	-	++++	+++	Sp-138-1	++	++++	+++

Обозначение: «++++» – обильный рост культуры, «+++» – активный рост, «++» – умеренный рост, «+» – слабый рост, «±» – следовый рост, «-» – отсутствие роста.

Использование в биопрепаратах аборигенных культур, свойственных для экосистем данного географического района и адаптированных к существующим климатическим условиям в целях рекультивации позволяет исключить интродукцию посторонних штаммов, нарушающих структуру данного биоценоза.

Из аэрозолей Арктики изолированы высокоэффективные бактерии и дрожжи, утилизирующие трудно усвояемую вязкую нефть с различным механизмом биоэмульгации за короткий период времени. Источником формирования аэрозолей являлись территории севера Западной Сибири. Исследуемые в настоящей работе микроорганизмы, выделенные из арктических атмосферных аэрозолей, могут быть применены для создания консорциумов микроорганизмов, способных ассимилировать более широкий спектр углеводов нефти для применения на проблемных территориях Сибири и Арктики. Применение аборигенных

микробных культур для биоремедиации обеспечивает сохранность северных биогеоценозов от интродукции посторонними штаммами, которые могут нарушить их структуру.

Работа выполнена в рамках ГЗ 11/21.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: организаторам арктической экспедиции и команде УНУ самолета-лаборатория Ту-134 «Оптик» – за возможность участия в уникальном эксперименте; Буряк Г.А. – за расчет обратных траекторий движения атмосферного воздуха; Охлопковой О.В. – за отбор проб арктических атмосферных аэрозолей для микробиологического анализа.

Литература

1. Аветов Н.А., Шишконокова Е.А. Загрязнение нефтью почв таежной зоны Западной Сибири // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2011. №68. С. 45–55. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2011-68-45-55>
2. Андреева И.С., Емельянова Е.К., Олькин С.Е., Резникова И.К., Загребельный С.Н., Репин В.Е. Утилизация углеводов психротолерантными штаммами-деструкторами // Прикладная биохимия и микробиология. 2007. Т. 43. №2. С. 223–228.
3. Андреева И.С., Сафатов А.С., Пучкова Л.И., Емельянова Е.К., Буряк Г.А., Олькин С.Е., Резникова И.К., Охлопкова О.В. Культивируемые микроорганизмы в высотных пробах аэрозолей воздуха севера Сибири в ходе самолетного зондирования атмосферы // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2019. №2. С. 3–11.
4. Борисова Е.А., Красноперова С.А. Разработка предложений по рекультивации шламовых амбаров на предприятии ОАО «Сургутнефтегаз» // Нефтяная провинция. 2019. №4(20). С. 352–367. <https://doi.org/10.25689/NP.2019.4.352-367>
5. Быкова М.В., Пашкевич М.А. Проблема промышленного загрязнения почв нефтепродуктами // Тенденции развития науки и образования. 2020. №67-1. С. 82–86. <https://doi.org/10.18411/lj-11-2020-22>
6. Горбаев А.В. Применение бактерий *Rhodococcus erythropolis* для получения из нефтешламов искусственного грунта технического в условиях Восточной Сибири // Вестник Евразийской науки. 2021. Т. 13. №6. URL: <https://esj.today/PDF/39NZVN621.pdf>
7. Запелалов В.Н. Содержание рекультивационных работ при строительстве и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса (на примере Самотлорского месторождения нефти в Ханты-мансийском автономном округе Тюменской области) // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. №1. С. 88–99. https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_1_41
8. Калюжин В.А. Использование аборигенных видов микроорганизмов при комплексных работах по очистке территорий от последствий разливов нефти // Вестник Томского государственного университета. 2009. №327. С. 200–201.
9. Климов О.В., Казьмин С.П. Экологический мониторинг загрязнения природной среды в районах разработки нефтяных месторождений Западной Сибири // Труды

Сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института. 2021. №107. С. 147–160.

10. Коршунова Т.Ю., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Логинов О.Н. Бактерии рода *Pseudomonas* для очистки окружающей среды от нефтяного загрязнения // Экобиотех. 2020. Т. 3. №1. С. 18–32. <http://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-1-18-32>

11. Логинова О.О., Данг Т.Т., Белоусова Е.В., Грабович М.Ю. Использование штаммов рода *Acinetobacter* для биоремедиации нефтезагрязненных почв на территории Воронежской области // Вестник ВГУ. 2011. №2. С. 127–133.

12. Лыонг Т.М., Нечаева И.А., Петриков К.В., Пунтус И.Ф., Понаморев О.Н. Бактерии нефтедеструкторы рода *Rhodococcus* – потенциальные продуценты биосурфактантов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2016. №1. С. 50–60.

13. Лыонг Т.М., Нечаева И.А., Понаморев О.Н. Методы скрининга биосурфактант-продуцирующих бактерий (мини обзор) // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2019. С. 98–111. <https://doi.org/10.24411/2071-6176-2019-10405>

14. Окмянская В.М. К вопросу о рекультивации нарушенных земель на примере месторождения Ямало-ненецкого автономного округа // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65. №6. С. 1068–1083. https://doi.org/10.55186/25876740_2023_7_2_14

15. Пырченкова И.А., Гафаров А.Б., Пунтус И.Ф., Филонов А.Е., Боронин А.М. Выбор и характеристика активных психротрофных микроорганизмов-деструкторов нефти // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42. №3. С. 298–305.

16. Рогова Н.С. Причины неэффективности рекультивации нефтезагрязненных земель в Западной Сибири // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. №1. С. 82–85. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010172>

17. Рогозина Е.А., Андреева О.А., Жаркова С.И., Мартынова Д.А. Сравнительная характеристика отечественных биопрепаратов, предлагаемых для очистки почв и грунтов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5. №3. С. 1–18.

18. Яппаров А.Х., Дегтярева И.А., Хидиятуллина А.Я. Использование эффективных аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов при биологической рекультивации нефтезагрязненных территорий РТ // Ученые записки КГАНМ им. Н.Э. Баумана. 2009. Т. 199. С. 218–222.

19. Cappelletti M., Presentato A., Piacenza E., Firrincieli A., Turner R.J., Zannoni D. Biotechnology of *Rhodococcus* for the production of valuable compounds // Applied Microbiology and Biotechnology. 2020. Vol. 104. P. 8567–8594. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10861-z>

20. Cooper D.G., Goldenberg B.G. Surface active agents from two *Bacillus* species // Appl. Environ. Microbiol. 1987. Vol. 53. №2. P. 224–229.

21. Emelyanova E., Andreeva I., Zagrebel'ny S., Repin V. Psychrotolerant oil-degrading microorganisms for Bioremediation // Environmental Engineering and Management Journal. 2006. Vol. 5. №2. P. 169–179. <https://doi.org/10.30638/eemj.2006.013>

22. Kumari B. Singh S.N., Singh D.P. Characterization of two biosurfactant producing strains in crude oil degradation // *Process Biochemistry*. 2012. №47. P. 2463–2471. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.10.010>
23. Robertson L.W., Hansen L.G. PCBs: Recent advances in environmental toxicology and health effects. University press of Kentucky, 2015. 496 p.
24. Toren A., Navon-Venezia S., Ron E.Z., Rosenberg E. Emulsifying activities of purified Alasan proteins from *Acinetobacter radioresistens* KA53 // *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. 2001. Vol. 67(3). P. 1102–1106. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.3.1102-1106.2001>
25. Tuo B.-H. Biodegradation characteristics and bioaugmentation potential of a novel quinoline-degrading strain of *Bacillus* sp. isolated from petroleum-contaminated soil // *Bioresource Technology*. 2012. №107. P. 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.114>
26. Varjani S.J., Upasani V.N. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017. Vol. 120. P. 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.006>
27. Vinothini C., Sudhakar S., Ravikumar R. Biodegradation of petroleum and crude oil by *Pseudomonas putida* and *Bacillus cereus* // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015. Vol. 4. №1. P. 318–329.

References

1. Avetov, N.A., & Shishkonakova, E.A. (2011). Zagriaznenie neft'iu poch v taezhnoizony Zapadnoi Sibiri. *Biulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, (68), 45-55. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2011-68-45-55> (in Russ.).
2. Andreeva, I.S., Emel'ianova, E.K., Ol'kin, S.E., Reznikova, I.K., Zagrebel'nyi, S.N., & Repin, V.E. (2007). Utilizatsiia uglevodorodov psikhrotolerantnymi shtammami-destruktorami. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiya*, 43(2), 223-228. (in Russ.).
3. Andreeva, I.S., Safatov, A.S., Puchkova, L.I., Emel'ianova, E.K., Buriak, G.A., Ol'kin, S.E., Reznikova, I.K., & Okhlopko, O.V. (2019). Kul'tiviruemye mikroorganizmy v vysotnykh probakh aerorozolei vozdukh severa Sibiri v khode samoletnogo zondirovaniia atmosfery. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta*, (2), 3-11. (in Russ.).
4. Borisova, E.A., & Krasnoperova, S.A. (2019). Razrabotka predlozhenii po rekul'tivatsii shlamovykh ambarov na predpriatii OAO "Surgutneftegaz". *Neftianaiia provintsiiia*, 4(20), 352-367. <https://doi.org/10.25689/NP.2019.4.352-367> (in Russ.).
5. Bykova, M.V., & Pashkevich, M.A. (2020). Problema promyshlennogo zagriazneniia pochv nefteproduktami. *Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia*, (67-1), 82-86. <https://doi.org/10.18411/lj-11-2020-22> (in Russ.).
6. Gorbaev, A.V. (2021). Primenenie bakterii *Rhodococcus erythopolis* dlia polucheniia iz nefteshlamov iskusstvennogo grunta tekhnicheskogo v usloviakh Vostochnoi Sibiri. *Vestnik Evraziiskoi nauki*, 13(6). URL: <https://esj.today/PDF/39NZVN621.pdf> (in Russ.).
7. Zapevalov, V.N. (2022). Soderzhanie rekul'tivatsionnykh rabot pri stroitel'stve i ekspluatatsii ob"ektov neftegazovogo kompleksa (na primere Samotlorskogo mestorozhdeniia nefti

v Khanty-mansiiskom avtonomnom okruge Tiimenskoi oblasti). *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal*, 7(1), 88-99. https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_1_41 (in Russ.).

8. Kaliuzhin, V.A. (2009). Ispol'zovanie aborigennykh vidov mikroorganizmov pri kompleksnykh rabotakh po ochildke territorii ot posledstviia razlivov nefii. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, (327), 200-201. (in Russ.).

9. Klimov, O.V., & Kaz'min, S.P. (2021). Ekologicheskii monitoring zagriazneniia prirodnoi sredy v raionakh razrabotki nefiianyykh mestorozhdenii Zapadnoi Sibiri. *Trudy Sibirskogo regional'nogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta*, (107), 147-160. (in Russ.).

10. Korshunova, T.Iu., Kuzina, E.V., Rafikova, G.F., & Loginov, O.N. (2020). Bakterii roda *Pseudomonas* dlia ochildki okruzhaiushchei sredy ot nefiianogo zagriazneniia. *Ekobiotekh*, 3(1), 18-32. <http://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-1-18-32> (in Russ.).

11. Loginova, O.O., Dang, T.T., Belousova, E.V., & Grabovich, M.Iu. (2011). Ispol'zovanie shtammov roda *Acinetobacter* dlia bioremediatsii neftezagriaznennykh pochv na territorii Voronezhskoi oblasti. *Vestnik VGU*, (2), 127-133. (in Russ.).

12. Lyong T.M., Nechaeva I.A., Petrikov K.V., Puntus I.F., & Ponamoreva O.N. (2016). Bakterii neftestruktorov roda *Rhodococcus* – potentsial'nye produksenty biosurfaktantov. *Izvestiia vuzov. Prikladnaia khimiia i biotekhnologii*, (1), 50-60. (in Russ.).

13. Lyong, T.M., Nechaeva, I.A., & Ponamoreva, O.N. (2019). Metody skrininga biosurfaktant-produksiruiushchikh bakterii (mini obzor). *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*, 98-111. <https://doi.org/10.24411/2071-6176-2019-10405>. (in Russ.).

14. Okmianskaia, V.M. (2022). K voprosu o rekul'tivatsii narushennykh zemel' na primere mestorozhdeniia Iamalno-nenetskogo avtonomnogo okruga. *International Agricultural Journal*, 65(6), 1068-1083. https://doi.org/10.55186/25876740_2023_7_2_14. (in Russ.).

15. Pyrchenkova, I.A., Gafarov, A.B., Puntus, I.F., Filonov, A.E., & Boronin, A.M. (2006). Vybor i kharakteristika aktivnykh psikhrotrofnykh mikroorganizmov-destruktorov nefii. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologii*, 42(3), 298-305. (in Russ.).

16. Rogova, N.S. (2020). Prichiny neeffektivnosti rekul'tivatsii neftezagriaznennykh zemel' v Zapadnoi Sibiri. *Geoekologii. Inzhenernaia geologii, gidrogeologii, geokriologii*, (1), 82-85. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010172>. (in Russ.).

17. Rogozina, E.A., Andreeva, O.A., Zharkova, S.I., & Martynova, D.A. (2010). Sravnitel'naiia kharakteristika otechestvennykh biopreparatov, predlagaemykh dlia ochildki pochv i gruntov ot zagriazneniia nefi'iu nefteproduktami. *Neftegazovaia geologii. Teorii i praktika*, 5(3), 1-18. (in Russ.).

18. Iapparov, A.Kh., Degtiareva, I.A., & Khidiiatullina, A.Ia. (2009). Ispol'zovanie effektivnykh aborigennykh uglevodorodokisliaiushchikh mikroorganizmov pri biologicheskoi rekul'tivatsii neftezagriaznennykh territorii RT. *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Baumana*, (199), 218-222. (in Russ.).

19. Cappelletti, M., Presentato, A., Piacenza, E., Firrincieli, A., Turner, R.J., & Zannoni, D. (2020). Biotechnology of *Rhodococcus* for the production of valuable compounds. *Applied Microbiology and Biotechnology*, (104), 8567–8594. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10861-z>
20. Cooper, D.G., Goldenberg, B.G. (1987). Surface active agents from two *Bacillus* species. *Appl. Environ. Microbiol*, 53(2), 224-229.
21. Emelyanova, E., Andreeva, I., Zagrebel'ny, S., & Repin, V. (2006). Psychrotolerant oil-degrading microorganisms for Bioremediation. *Environmental Engineering and Management Journal*, 5(2), 169-179. <https://doi.org/10.30638/eemj.2006.013>
22. Kumari, B. Singh, S.N., & Singh, D.P. (2012). Characterization of two biosurfactant producing strains in crude oil degradation. *Process Biochemistry*, (47), 2463-2471. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.10.010>
23. Robertson, L.W., & Hansen, L.G. (2015). PCBs: Recent advances in environmental toxicology and health effects. University press of Kentucky, 496 p.
24. Toren, A., Navon-Venezia, S., Ron, E.Z., & Rosenberg, E. (2001). Emulsifying activities of purified Alasan proteins from *Acinetobacter radioresistens* KA53. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 67(3). 1102-1106. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.3.1102-1106.2001>
25. Tuo, B.-H. (2012). Biodegradation characteristics and bioaugmentation potential of a novel quinoline-degrading strain of *Bacillus* sp. isolated from petroleum-contaminated soil. *Bioresource Technology*, (107), 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.114>
26. Varjani, S.J., & Upasani ,V.N. (2017). A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, (120), 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.006>
27. Vinothini, C., Sudhakar, S., & Ravikumar, R. (2015). Biodegradation of petroleum and crude oil by *Pseudomonas putida* and *Bacillus cereus*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(1), 318-329.

Дата поступления: 31.05.2023

Дата принятия: 05.09.2023

© Андреева И.С., Емельянова Е.К., Малинкин А.А., Ребус М.Е., Сафатов А.С., 2023

УДК 551.583.4:502.72(571.122)
<https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/02>

Арефьев С.П.

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИИ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ ДЕРЕВЬЕВ ПРОЕКТИРУЕМОГО МЫСТЫГЪЕГАНСКОГО ЗАКАЗНИКА (БАССЕЙН р. ВАХ) НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XX-XXI СТОЛЕТИЯХ

S.P. Arefiev

DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS OF THE RESPONSE OF FOREST-FORMING TREE SPECIES OF THE PROJECTED MYSTYGYEGAN RESERVE (THE VAKH RIVER BASIN) TO CLIMATE CHANGE IN THE XX-XXI CENTURIES

Аннотация. Целью настоящего исследования было выявление вековой дендроклиматической динамики состояния лесов Местыгъеганского заказника, как репрезентативного эталона зональных среднетаежных лесов бассейна р. Вах, в условиях глобального потепления. Основные задачи работы – анализ древесно-кольцевых хронологий важнейших лесообразователей этой территории (сосны сибирской, сосны обыкновенной, березы повислой) с выявлением откликов радиального прироста деревьев на среднемесячные температуры воздуха и месячные суммы осадков сезона вегетации и предыдущего периода (всего 18 месяцев), его трендов и закономерностей. Придерживались принятых в дендроклиматологии методов отбора образцов древесины, перекрестной датировки, стандартизации рядов ширины колец (радиального прироста), расчета функции откликов прироста. За период 1937–2021 гг. выявлены тренды к усилению дефицита/избытка тепла и осадков в отдельные месяцы, в частности с признаками летней засухи в последние годы. Отмечено смещение изолиний откликов прироста на более раннее время весной и более позднее – осенью, показывающее удлинение вегетационного периода. Происходит сдвиг проявления дендроклиматических откликов с прироста текущего года на прирост следующего года, что может свидетельствовать как о возросших возможностях накопления и перераспределения пластических ресурсов деревьями, так и о влиянии патогенов. Низовые пожары усиливают отмеченные тренды. Картины дендроклиматических откликов разных видов деревьев имеют как сходства, так и различия. Наименьшая реакция на изменения климата у березы, наибольшая – у сосны сибирской, что требует наибольших мер охраны и защиты кедровников. В перспективе дальнейших исследований – большая детализация полученных результатов по таксационным характеристикам леса и учет антропогенных факторов.

Ключевые слова: глобальное потепление; лесные экосистемы; древесно-кольцевые хронологии;

Abstract. The purpose of this study is to identify the age-old dendroclimatic dynamics of the state of the forests of the Mestygyegan reserve, as a representative standard of zonal middle-taiga forests of the Vakh river basin under global warming conditions. The main tasks of the work: analysis of tree-ring chronologies of the most important forest growers of this territory (*Pinus sibirica*, *P. sylvestris*, *Betula pendula*), identification of responses of radial growth of trees to average monthly air temperatures and monthly precipitation of the growing season and the previous period (only 18 months), identification of trends and patterns of dendroclimatic responses. They adhered to the methods of wood sampling, cross-dating, standardization of ring width rows (radial gain), and calculation of the function of growth responses adopted in dendroclimatology. For the period 1937–2021, trends were revealed to increase the deficit/excess of heat and precipitation in certain months, in particular with signs of summer drought in recent years. There was a shift in the isolines of the growth responses to an earlier time in spring and later in autumn, showing an elongation of the growing season. There is a shift in the manifestation of dendroclimatic responses from the growth of the current year to the growth of the next year, which may indicate both increased opportunities for the accumulation and redistribution of plastic resources by trees and the influence of pathogens. Grass-roots fires amplify the marked trends. Dendroclimatic response patterns of different tree species have both similarities and differences. The smallest response to climate change in birch, the largest in Siberian pine, which requires the greatest measures to protect and protect cedar trees. In the future of further research – a great detail of the results obtained on the taxational characteristics of the forest and accounting for anthropogenic factors.

дендроклиматология; отклик прироста деревьев; лесные пожары; Западная Сибирь.

Сведение об авторе: Арефьев Станислав Павлович, ORCID 0000-0002-8621-9884, д-р биол. наук, Федеральное государственное учреждение науки федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (структурное подразделение Институт проблем освоения Севера), Тюмень, Россия, sp_arefyev@mail.ru

Keywords: global warming; forest ecosystems; tree-ring chronologies; dendroclimatology; tree growth response; forest fires; Western Siberia.

About the author: Stanislav P. Arefiev, ORCID 0000-0002-8621-9884, Doctor of Biological Sciences, Institute of the Problems of Northern Development (Federal Research Centre «Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences»), Tyumen, Russia, sp_arefyev@mail.ru

Арефьев С.П. Дендрохронологический анализ реакции лесообразующих видов деревьев проектируемого Мыстыгыганского заказника (бассейн р. Вах) на изменения климата в XX-XXI столетиях // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 18–34. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/02>

Arefiev, S.P. (2023). Dendrochronological Analysis of the Response of Forest-Forming Tree Species of the Projected Mystygygan Reserve (Vakh River Basin) to Climate Change in the XX-XXI Centuries. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 18-34. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/02>

Продолжающееся глобальное потепление становится причиной существенных ландшафтно-экологических подвижек, особенно в северных регионах [4; 13; 29; 35; 38]. В Западной Сибири оно проявляется в лесных пожарах, распространении вредителей и болезней леса, изменении структуры и состава лесов и, в целом, в смещении лесной зоны и ее широтных подразделений в северном направлении [1; 9; 19; 31]. Такого рода явления характерны и для Нижневартковского района ХМАО – Югры, на территории которого в среднетаежных лесах бассейна Ваха проектируется организация Местыгыганского государственного природного заказника регионального значения площадью 279300 га.

Судя по наблюдениям ближайшей метеостанции Ларьяк [15], в данном районе глобальное потепление проявляется очень отчетливо (рис. 1). В период 1936–2021 гг. темп роста среднегодовой температуры воздуха (в расчете на столетие) составил +2,3 °С, особенно он усилился в последние годы и в период 2000–2021 гг. достиг 8,3°С. Темп роста температуры воздуха бесснежного сезона с июня по октябрь был несколько ниже (+1,7°С). Годовое количество осадков росло почти пропорционально росту температуры воздуха (+131 мм на столетие). Для бесснежного сезона увеличение количества осадков на вековом фоне было выражено слабо, но в период 2000–2021 гг. его темпы значительно возросли (до 500 мм в расчете на столетие).

В результате крупнейших лесных пожаров 1988–1989 гг. на 1.01.1995 г. по Нижневартковскому лесхозу числилось более 170 тыс. га горельников [12]. На территории будущего заказника в тот период леса сохранились, в основном, в силу их удаленности от населенных пунктов, объектов промышленности и инфраструктуры. За период 2016–2019 гг. на территории района произошло 199 пожаров, 93 из них пришлись на 2016 г. с аномально сухим жарким летом. В 2016 г. в Ларьякском участковом лесничестве большинство лесных пожаров (12 из 13) произошло по природным причинам; площадь одного пожара составила от 0,9 до 346 га [5].

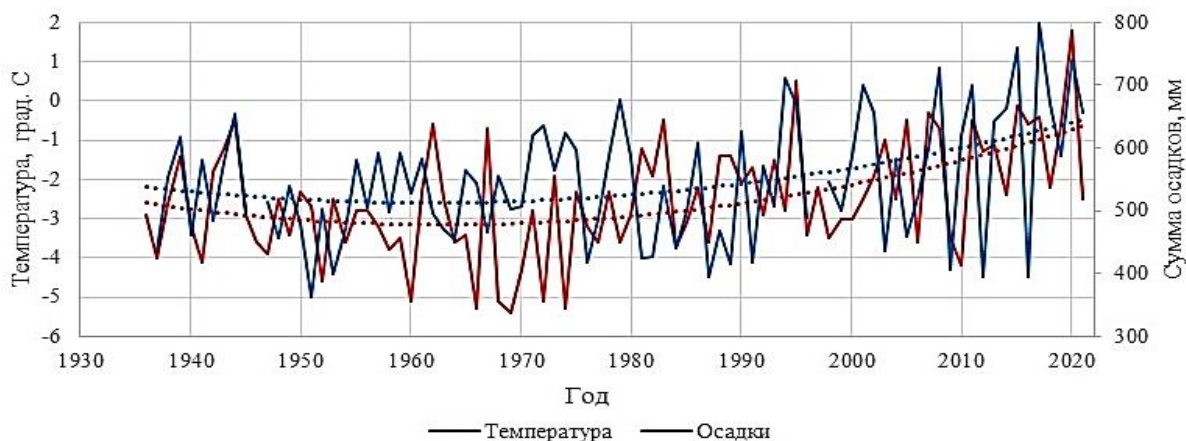


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры воздуха и годового количества осадков в районе исследований по данным наблюдений метеостанции Ларьяк (с полиномиальным трендом)

Площадные изменения лесного покрова в ходе потепления сопровождаются изменениями состава, биологической продуктивности, санитарно-физиологического состояния и фенологии лесообразователей [1; 3; 7; 18]. Незаменимым методом оценки многолетней динамики состояния лесов является анализ древесно-кольцевых хронологий. Хотя на севере Западной Сибири дендроклиматические исследования довольно масштабны [6], территория Нижневартовского района затронута слабо [1; 21]. Целью настоящего исследования было выявление вековой дендроклиматической динамики состояния лесов Местыгъеганского заказника, как репрезентативного эталона зональных среднетаежных лесов района в условиях глобального потепления.

Отбор дендрохронологического материала (кernов) проводили на трех тест-полигонах территории заказника и его охранной зоны, находящихся поблизости друг от друга (рис. 2). Kernы из сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica* Du Tour) возраста 90–120 лет взяты 09.07.2022 г. в приречном мелкотравно-зеленомошном темнохвойном лесу III бонитета с составом древостоя 5ЕЗБ2К+П, с густым подлеском (61°11'318" с. ш., 81°22'08" в. д.). Kernы из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) возраста 90–180 лет взяты 21.07.2021 г. в приречной полосе (70–80 м) бруснично-зеленомошного сосняка II бонитета, пройденного низовым пожаром в 2016 г. (61°10'47" с. ш., 81°19'37" в. д.); сохранность древостоя мозаичная, местами кроме сосны сохранился кедр, на участках с погибшим древостоем имелось возобновление березы высотой 1,5–2 м. Kernы из березы повислой (*Betula pendula* Roth) возрастом 90–150 лет взяты 19.07.2021 г. на пониженном приречном участке мелкотравно-зеленомошного березняка III бонитета с выходящей в верхний ярус елью (61°10'11" с. ш., 81°21'33" в. д.). Kernы брали из доминирующих деревьев на высоте около 0,5 м, придерживаясь общепринятой методики [19]. Каждое дерево бурили по одному диаметру с получением kernов по двум радиусам. Всего взято по 10 деревьев (20 радиусов) кедра, сосны и березы.

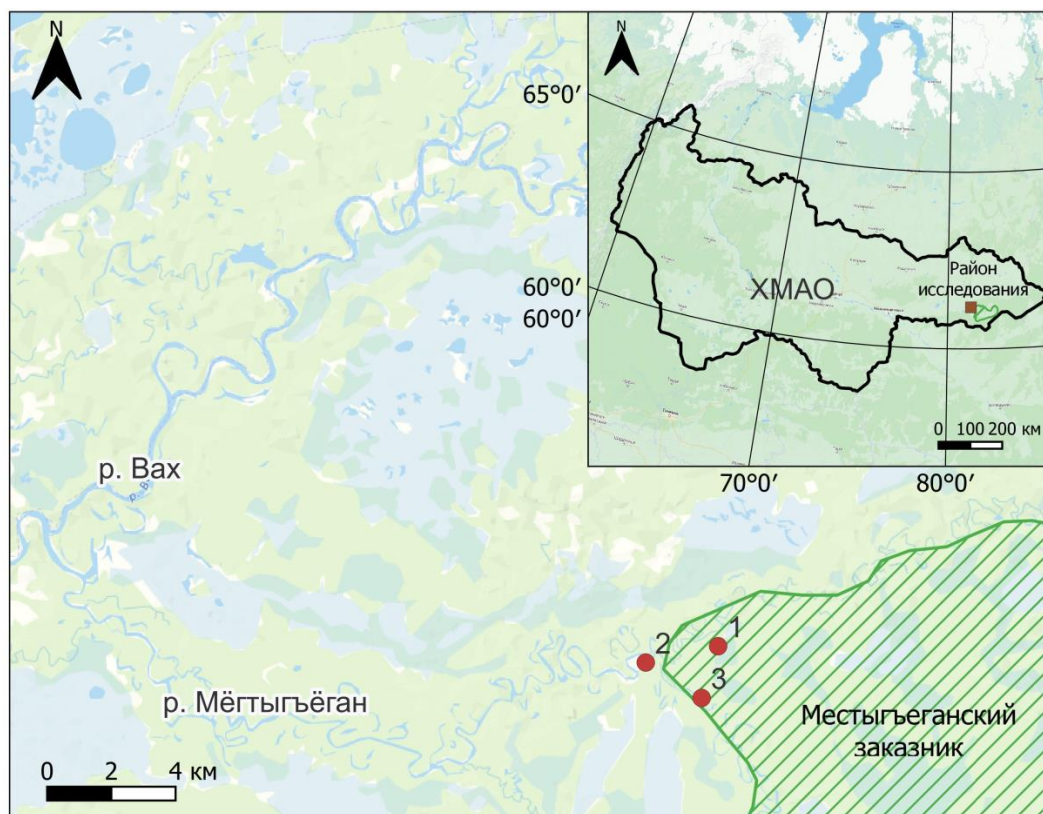


Рис. 2. Район исследований с пунктами отбора кернов (1 – кедр, 2 – сосна, 3 – береза)

После зачистки поверхности кернов лезвием и контрастирования ее зубным порошком ширину годичных колец на них измеряли под микроскопом МБС–10 (8×4). Полученные по радиусам ряды проверяли перекрестной датировкой [26], сначала радиусы одного дерева, затем радиусы разных деревьев по каждой породе. Стандартизацию (индексацию) ширины колец по каждому радиусу проводили методом двойного экспоненциального сплайна с равными весами [2; 4; 24; 30]. Для оценки качества обобщенных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) рассчитывали средний межсерийный коэффициент корреляции (Пирсона), на его основе – единый популяционный сигнал *EPS*, пороговый уровень $EPS \geq 0.85$ [37].

Отклик ширины колец (радиального прироста) на среднемесячные температуры воздуха и месячные суммы осадков рассчитывали как коэффициент корреляции (Пирсона) *R* между индексированной ДКХ и рядом метеоданных по метеостанции Ларьяк с 1936 г. [15]. Положительные значения *R* при $p < 0.05$ и соответствующем критическом значении $R_{0.05}$ свидетельствуют о дефиците фактора (тепла, осадков), отрицательные значения – о его избытке [22; 33]. Положительная или отрицательная корреляция, не достигающая этого – принятого за стандартный – уровня достоверности, может свидетельствовать о недостатке или избытке фактора с меньшей вероятностью. Для отслеживания характера изменения и периодизации отклика прироста деревьев на месячные метеофакторы рассчитывали скользящий коэффициент корреляции с окном 21 год [17; 18]; например, значение скользящего *R*, рассчитанное на 2021 г., соответствует отклику прироста на временном отрезке с 2001 по 2021 гг. Для расчета откликов прироста брали как месяцы, приходящиеся

на год образования колец (с января по август), так и месяцы предыдущего года (с марта по декабрь), условия которых также могут влиять на ширину колец. Характер изменения откликов прироста для 18 месяцев – с марта предыдущего года по август года образования колец за период с 1937(1957) до 2020–2021 гг. – показан на сезонно-хронологических развертках, выполненных в программе MS Excel.

По критериям межсерийного коэффициента корреляции ($R_{0.05} = 0,213$) и EPS полученные обобщенные стандартизованные ДКХ кедр ($R = 0,40$; $EPS = 0,93$), сосны (0,38; 0,92) и березы (0,43; 0,94) отвечают существующим требованиям. Автокорреляция ДКХ первого порядка составляет, соответственно, 0,35; 0,22 и 0,02, т. е. для кедр она сравнительно высока, однако она соответствует уровню автокорреляции рядов метеоданных (для среднемесячных температур воздуха до 0,36 в июне, для месячных сумм осадков до 0,23 в марте).

Отклики прироста деревьев на месячные метеофакторы, рассчитанные для периода с 1937 по 2020–2021 гг. в целом для некоторых месяцев достоверны ($p < 0,05$; $R_{0.05} = 0,213$), но всегда имеют низкий уровень. Так, для кедр за этот период слабый недостаток тепла в ноябре ($R = 0,28$) и осадков в июле (0,27), августе (0,33) и сентябре (0,23) проявляется в приросте следующего года, а недостаток осадков в июне – в приросте текущего года (0,23). Для сосны недостаток тепла в июле проявляется в приросте текущего года (0,38), его избыток в этом месяце – в приросте следующего года (-0,34), недостаток тепла в октябре – в приросте следующего года (0,33). Кроме этого, в июне для сосны отмечен недостаток осадков, проявляющийся в приросте как текущего (0,23), так и следующего года (0,213); избыток осадков в августе проявляется в приросте текущего года (-0,30), а его недостаток в этом месяце – в приросте следующего года (0,29). Для березы выявлен только очень слабый избыток осадков в марте перед образованием колец (-0,22). Таким образом, расчет откликов прироста деревьев на рассмотренные месячные метеофакторы за весь период наблюдений, в целом, не показывает биоклиматическую динамику и не имеет прогностического значения.

Более показательную картину рисуют скользящие отклики прироста деревьев (рис. 3–5). Судя по преобладанию положительных скользящих откликов прироста кедр на месячные температуры воздуха (как достоверных при $p < 0,05$; $R_{0.05} = 0,433$, так и не достигающих этого стандартного уровня достоверности), на протяжении 1937–2021 гг. кедр в среднем испытывал некоторый недостаток тепла (рис. 3А). Особенно заметно это до 1980-х гг., когда дефицит тепла приходился на снежный период, чаще на декабрь (R до 0,54), иногда на апрель-май (до 0,61) до начала роста годовых колец, а достоверного при $p < 0,05$ избытка тепла не было совсем. После засушливо-жаркого лета 1982 г. (то есть, начиная с отрезка 1962–1982 гг., далее указывается только последний год 21-летнего окна скользящего) отмечается избыток тепла в марте и июне (до -0,50 в 1990-х гг.), проявляющийся в приросте текущего года, при этом, в мае наблюдался дефицит тепла (до 0,52). С холодного вегетационного сезона 1996 г. по 2019 г. кедр испытывал наиболее сильный и длительный дефицит тепла в октябре, а затем в ноябре (до 0,70), проявляющийся в приросте следующего года.

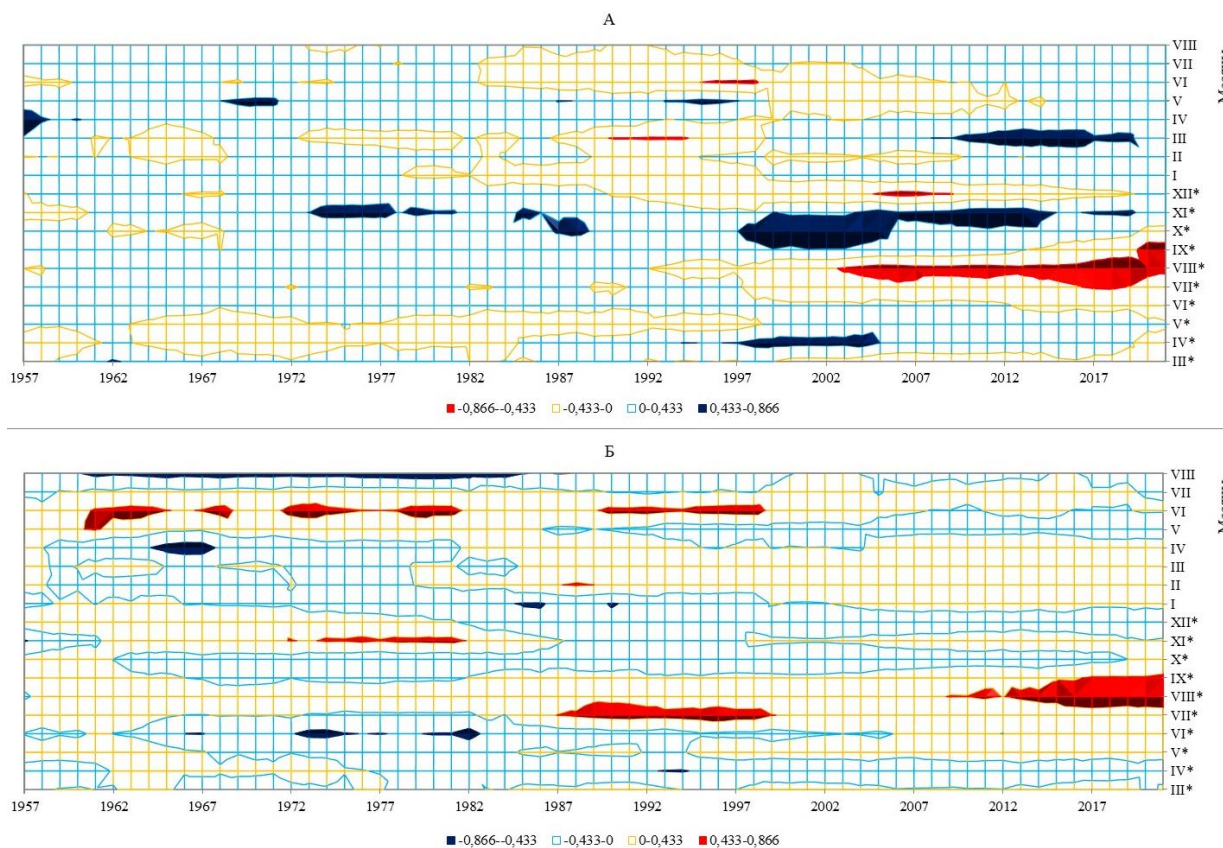


Рис. 3. Скользящие отклики ($R_{0,05} = 0,433$) стандартизированной хронологии радиального прироста кедр на климатические показатели месяцев в год прироста и предыдущий* год. А – среднемесячные температуры воздуха, Б – месячные суммы осадков

Такой сдвиг изолиний «отложенного» отклика прироста кедр на более поздний осенний месяц прослеживается на рисунке 3А и в других случаях и может свидетельствовать об устойчивой фенологической тенденции. Для откликов, проявляющихся в год прироста, судя по изолиниям, заметен фенологический сдвиг на более ранние весенние месяцы; в частности, если до 2008 г. дефицит тепла наблюдался в апреле–мае, то после – в марте (до 0,74), при этом ранее в марте был избыток тепла (до -0,46 до конца 1990-х годов). С 2008 г. самым примечательным моментом на фоне «потепления климата» является устойчивый избыток тепла для кедр в августе (до -0,68), проявляющийся в приросте следующего года, с 2020 г. этот избыток тепла распространился и на сентябрь (до -0,66). Таким образом, по мере «потепления климата» в 2000-х годах характер отклика прироста кедр на месячные температуры воздуха сменяется с текущего на отложенный на следующий год, что может показывать возросшие возможности накопления и перераспределения пластических ресурсов деревьями [18]. С другой стороны, в последние годы впервые обнаруживается сильный избыток тепла в конце лета (до -0,68), контрастирующий с его дефицитом в октябре-ноябре (до 0,66) и в марте (до 0.74), что создает эколого-климатические риски для кедр. Подобного рода усиление лимитирования прироста деревьев климатическими факторами с 1980-х гг. отмечается А.В. Кирдяновым [10] на севере Средней Сибири.

Картина откликов прироста кедр на месячные суммы осадков (рис. 3Б) накладывается на предыдущую в том ключевом моменте, что с 2000-х годов виден достоверный дефицит

осадков в августе-сентябре (до 0,65), проявляющийся в приросте следующего года и сопровождающийся избытком тепла, т.е. появляется сезонная засуха, чреватая ухудшением санитарно-физиологического состояния этого, в целом влаголюбивого, лесообразователя. Надо заметить, что дефицит осадков в данном суходольном кедровнике достоверно фиксировался и ранее: после грандиозных лесных пожаров в Нижневартовском районе 1988–1989 гг. – в августе (до 0,61), еще ранее до 1998 г. – в июне (до 0,57), в холодные 1970-е годы – в ноябре (до 0,53). В целом, на рассмотренной сезонно-хронологической развертке тенденция к дефициту осадков для кедра преобладает, а зоны, очерченные изолиниями положительных откликов, обнаруживают тенденцию к расширению и фенологическому смещению на более ранние весенне-зимние месяцы или более поздние осенние.

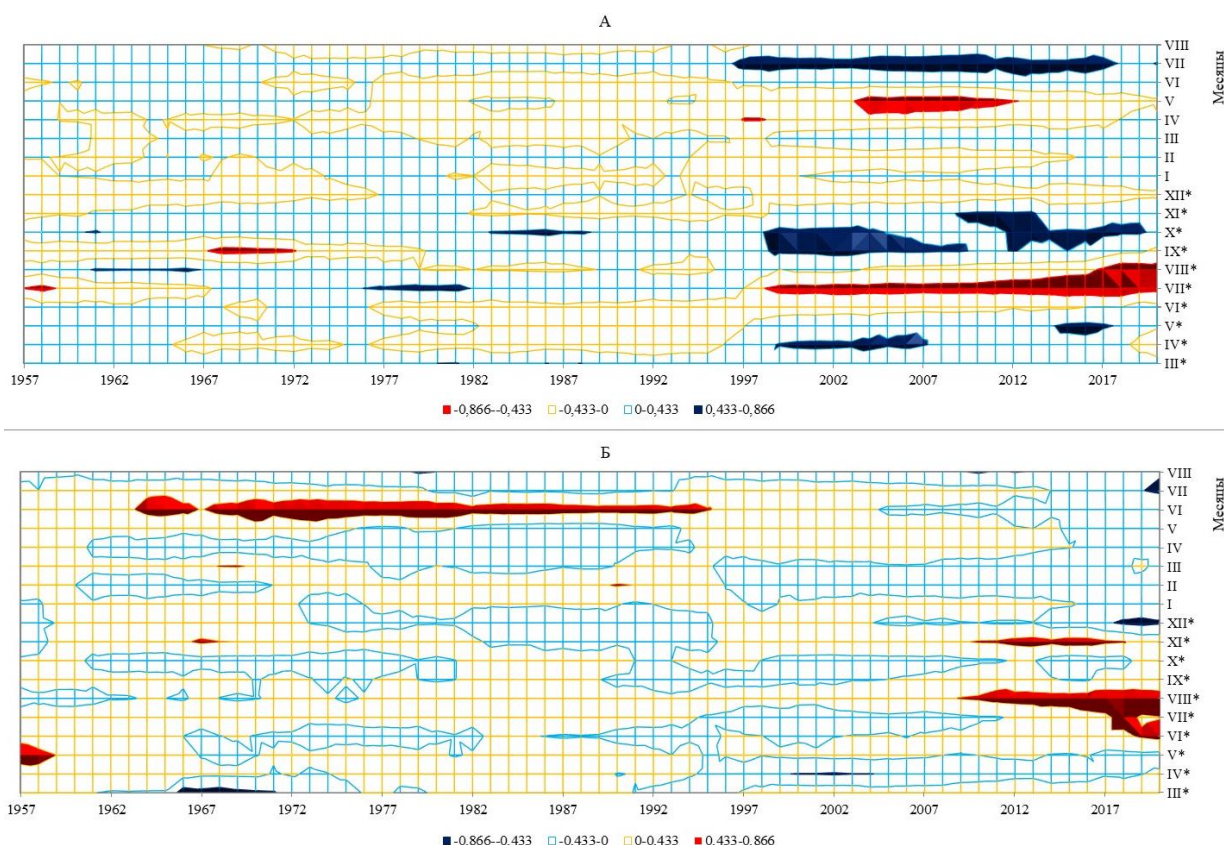


Рис. 4. Скользящие отклики ($R_{0.05} = 0.433$) стандартизированной хронологии радиального прироста сосны на климатические показатели месяцев в год прироста и предыдущий* год. А – среднемесячные температуры воздуха, Б – месячные суммы осадков

Картина откликов прироста сосны на месячные температуры воздуха (рис. 4А) в значительной степени сходна с таковой для кедра. Смена общей тенденции к некоторому избытку тепла намечается к 1980-м годам. С ослабления сосны после холодного 1996 г. наблюдается чередование в течение года месяцев с достоверным ($p < 0,05$) дефицитом или избытком тепла, чреватое ухудшением состояния сосняков. Устойчивый отклик на избыток тепла летом отмечен на месяц раньше, чем у кедра, – в июле (до -0,77), а после низового пожара 2016 г. и в августе (до -0,71), проявляется он в приросте следующего года. Вместе с тем отклик прироста текущего года на июльские температуры воздуха достоверно положительный (до 0,63). Такой кажущийся парадокс предположительно можно объяснить

патогенными факторами (вредители, болезни), инициируемыми в своем развитии июльской жарой еще при высоком приросте сосны, но наносящими ей существенный вред только на следующий год. Заметим, что в последние годы (2018–2020) с возрастанием абсолютной величины отложенного отклика прироста на летние температуры воздуха, текущий отклик прироста на них упал ниже стандартного достоверного уровня ($p < 0,05$), что также хронологически связывается с низовым пожаром. Примечательно, что в 2000-е годы летний избыток тепла (до $-0,77$) сменяется его осенним дефицитом (до $0,55$), который также проявляется в приросте следующего года. Избыток тепла для сосны, зафиксированный в мае 2004–2012 гг. (до $-0,63$), проявился в текущем приросте.

Картина откликов прироста сосны на месячные суммы осадков (рис. 4Б) демонстрирует, что их дефицит в период с 1964 г. до холодного 1996 г. достигал высокого уровня в июне (до $0,72$) и проявлялся в текущем приросте. С 2008 г. дефицит осадков сместился на август (до $0,69$) и проявляется в приросте следующего года, а после низового пожара 2016 г. такой дефицит осадков распространился на весь летний сезон с июня по август. То есть в 2000-х годах, как и в случае с кедром, для сосны произошло длительное наложение избытка тепла и дефицита осадков, чреватое ухудшением санитарно-физиологического состояния сосняка, но в более ранние месяцы лета. Существенный дефицит осадков, отмеченный с 2009 г. в ноябре (до $0,60$) и также проявившийся в приросте следующего года, в 2019–2020 гг. не выявлен, при этом отмечено негативное влияние осадков с декабря (до $-0,55$) по август на текущий прирост сосны.

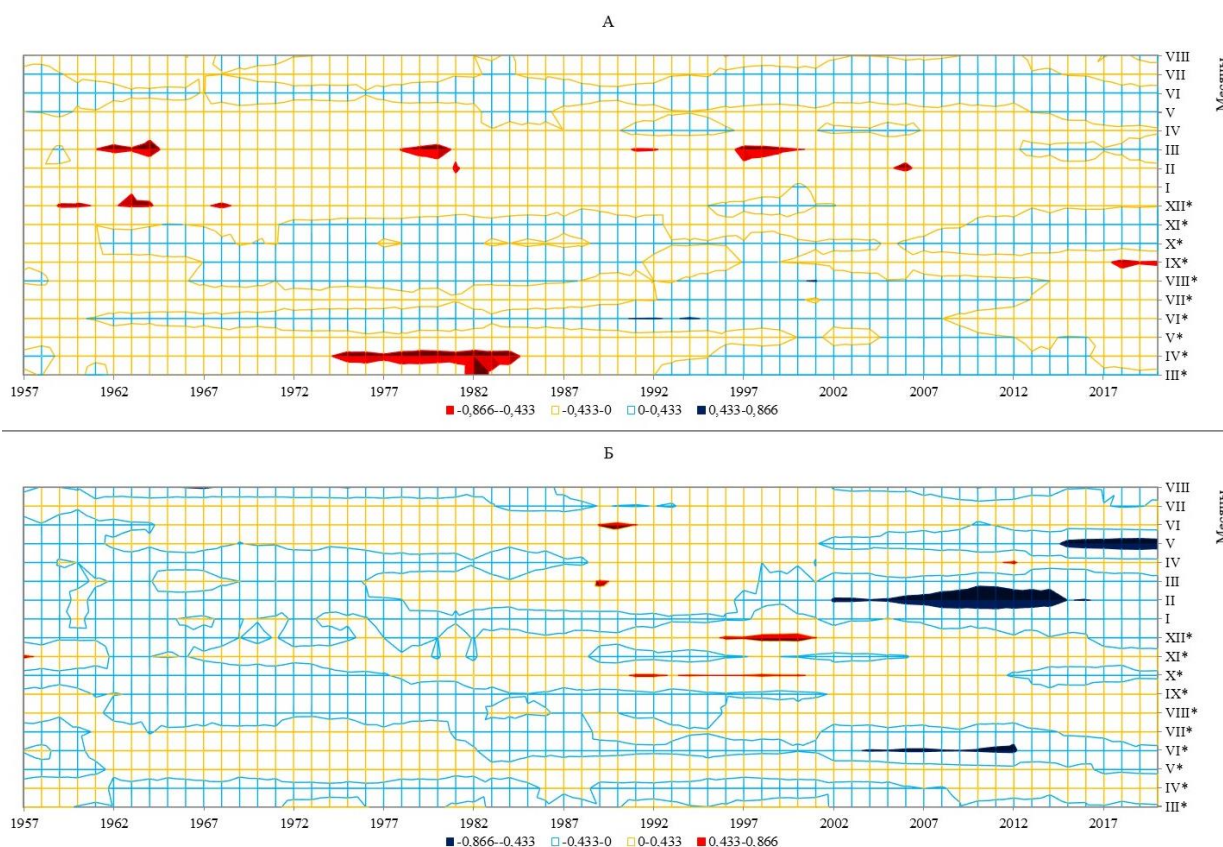


Рис. 5. Скользящие отклики ($R_{0,05} = 0,433$) стандартизированной хронологии радиального прироста березы на климатические показатели месяцев в год прироста и предыдущий* год. А – среднемесячные температуры воздуха, Б – месячные суммы осадков

Картина откликов прироста березы на месячные температуры воздуха иная, чем у рассмотренных выше хвойных (рис. 5А). В среднем за годы наблюдений виден некоторый избыток тепла, периоды с небольшим ($p < 0,05$) дефицитом летнего тепла на рубеже столетий невелики. Существенный избыток тепла (до 0,52) наблюдался в некоторые годы в марте и проявлялся в текущем приросте, избыток тепла в апреле на рубеже 1970–1980 гг. (до 0,56) проявился в приросте следующего года, а в засушливый 1982 г. (т. е. на отрезке 1962–1982 гг.) такой отложенный положительный отклик проявился и на мартовскую температуру. В Средней Сибири избыток тепла для березы в апреле проявляется в текущем приросте, а характерное для северной части Средней Сибири положительное влияние июньских температур воздуха на прирост березы [18], в данном случае, очень слабо прослеживается с отложенным на год откликом до 1990-х гг. В последние годы (2018–2020) достоверный избыток тепла для березы (как и для кедра) впервые выявлен в сентябре (до -0,51).

В целом на сезонно-хронологической развертке для березы виден некоторый избыток осадков (рис. 5Б), но до грандиозных пожаров, прошедших по Нижневартовскому району в 1988–1989 гг., достоверного ($p < 0,05$) избытка или дефицита осадков практически не было, т. е. режим увлажнения для березы был тогда наиболее благоприятен. После этих пожаров в течение полутора десятилетий временами отмечался небольшой достоверный дефицит осадков в октябре, декабре, мае, июне. С 2002 г. длительно фиксируется избыток осадков в феврале (до -0,72), далее в апреле (до -0,49, проявляется в приросте следующего года) и далее по 2020 г. в мае (до -0,69, проявляется в текущем приросте). Это может быть связано с относительно низким положением березняка на рельефе и скоплением верховодки при ускоренном режиме таяния снега при «потеплении климата» в годы с большим количеством осадков в мае.

Полученные нами результаты, в целом, соответствуют последним данным о характере влияния «потепления климата» на состояние древесных растений: например, на севере Германии [27], где среднегодовая температура воздуха с 1900 г. увеличилась почти на 2°C, а годовое количество осадков – более чем на 50 мм, причем эти изменения были более значительны зимой, нежели летом и произошли большей частью после 1975 г. Согласно этим исследованиям, корреляция (отклик) ДКХ сосны обыкновенной, ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) и псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) с рядами месячных показателей температуры и осадков за весь период с 1900 г. не превышала по модулю 0,4, но скользящая корреляция с окном 30 лет на некоторых временных отрезках достигала 0,6. При этом, как в первом, так и во втором случае характер дендроклиматических связей был специфичным для каждого из видов деревьев, а во времени он был изменчивым вплоть до перемены знака связи. Прирост светлохвойных (сосны и псевдотсуги) в основном стимулировался высокими температурами воздуха с января по март текущего года. Это было отмечено и в других исследованиях, показавшим, что в суровые зимы низкие температуры приводят к глубокому промерзанию грунта, результате которого наступает физиологическая засуха, угрожающая деревьям [36]. Высокие температуры в июне текущего года препятствовали росту псевдотсуги в Германии, но обильные осадки в июне

предыдущего года и июле текущего года обычно, напротив, стимулировали его. Однако, применение метода скользящей корреляции высветило снижение чувствительности прироста псевдотсуги к осадкам в последние годы. Для сосны достоверных корреляций ширины годичных колец с количеством осадков не выявлено. Прирост темнохвойного вида (ели) обычно стимулировался, главным образом, обильными осадками с мая по июль и высокой температурой в марте текущего года. Однако метод скользящей корреляции показал, что влияние майских осадков на прирост ели к настоящему времени сильно уменьшилось, влияние июньских и июльских осадков также угасает [27].

«Потепление климата» повысило продуктивность лесов Северной Европы [28]. Полагают, что связанное с ним увеличение продолжительности вегетационного периода способствует постепенным изменениям параметров лесов Европы и, несмотря на некоторый риск засухи, это увеличит площадные и продуктивные показатели лесов, расположенных на больших высотах [34]. Обнаруженное на севере Германии увеличение прироста деревьев в предзимний сезон подтверждает это мнение, однако указывается, что изменение климата, скорее всего, увеличит риск длительного дефицита осадков вплоть до засух. Установлено значительное снижение роста колец деревьев всех трех исследованных на севере Германии видов деревьев в годы с дефицитом осадков [27]. В последние годы в Европе такие экстремальные явления, как жара, засухи и опустошительные наводнения участились [23]. Изменения климата могут изменить частоту и интенсивность различных нарушений леса, которые могут взаимодействовать между собой и усиливать риски для существования лесов. Засухи способствуют увеличению масштабов и интенсивности лесных пожаров, а также снижению уровня вод, питающих корни деревьев; такие условия ослабляют устойчивость деревьев к вредителям и патогенам [25]. В результате засух 2003, 2018 и 2019 годов наблюдалась беспрецедентная гибель многих древесных пород в центральной Европе, вплоть до Норвегии [32].

В актуальном перечне опасных вредителей леса на территории ХМАО-Югры числится 18 видов стволовых, хвое- и листогрызущих энтомовредителей [16]. Наиболее распространенным и опасным из них является сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) – бич сибирской тайги, крупная вспышка которого была отмечена после пожаров 1988–1989 гг. и в острой фазе продолжалась до 1992–1993 гг. Аномально жаркая сухая погода 2012 г. спровоцировала рост численности этого вредителя на большей части Западной Сибири, в том числе в среднетаежных районах соседней Томской области, где площадь очагов на конец 2016 г. была на 45% выше среднегодовой за период 1962–2015 гг. [8]. Кроме него А.А. Мирзоева [13] указывает в качестве обычных для Нижневартовского района непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* (L.)) короеда-типографа (*Ips typographus* L.).

Исследования М.В. Фонти [18], проводившей комплексные дендроклиматические исследования на Среднеевропейском и Среднесибирском трансектах, показали на первом из них результаты, в целом близкие к рассмотренным выше на примере Германии [27]. При этом от Италии до Швеции большой вклад в изменчивость прироста деревьев вносила температура воздуха, нежели осадки. Особенно на севере, где «потепление климата»

проявляется сильнее. В северной части Средней Сибири до зоны средней тайги основным фактором, определяющим прирост деревьев, выступала температура воздуха, однако южнее таким фактором становились осадки. В связи с «потеплением климата» отмечены признаки смещения этой разделительной полосы в северном направлении, а также удлинения фенологических сроков функционирования камбия деревьев, увеличения их продуктивности. Отклики деревьев на месячные метеофакторы в Средней Сибири были видоспецифичны и менялись в зависимости от широты и лесорастительных условий, при этом в большинстве случаев было отмечено существенное влияние июньской температуры воздуха, которое в нашем исследовании почти не прослеживается. По исследованиям С.Е. Кучерова [11], на Южном Урале критичным для роста сосны и лиственницы является дефицит осадков мая, июня, июля текущего года; в 2003–2004 гг. зафиксированы наименьшие за последние 315 лет значения индексированной ширины колец дуба черешчатого в результате дефолиации непарным шелкопрядом, что связывается с «потеплением климата» и ужесточением засух.

По исследованиям А.В. Кирдянова [10], в Средней Сибири за период с 1890–2008 гг. обнаружено увеличение скользящего среднего коэффициента межсерияльной корреляции по 35 индексированным ДКХ хвойных видов, взятым на протяжении от Нижней Тунгуски до северного предела распространения лесов, что свидетельствует о нарастании внешнего лимитирующего влияния на прирост деревьев и накладывается на ход «потепления климата» в регионе. Наиболее сильно этот эффект проявился с 1980-х гг., причем у ели в большей степени, чем у лиственницы, что указывает на большую чувствительность темнохвойных к происходящим климатическим изменениям. Вместе с тем, скользящий коэффициент корреляции генерализованной ДКХ по хвойным данного региона со средними температурами воздуха в июне-июле падает с 1980-х гг. от 0,8 до 0,55. То есть дефицит тепла в эти месяцы уменьшается, и летние температуры в условиях потепления перестают жестко лимитировать прирост деревьев; в это же время нарастает избыток тепла в апреле (скользящий коэффициент корреляции увеличивается по модулю от 0 до -0,51). На территории Местыгъеганского заказника, расположенного юго-западнее изученного А.В. Кирдяновым [10] района в среднетаежной зоне Западной Сибири, в летние месяцы с 2000-х гг. для хвойных отмечается уже не дефицит тепла, а его достоверный избыток, происходят изменения других откликов прироста деревьев на изменения климата, соответствующие их видовой принадлежности и эколого-географическому положению.

Таким образом, в типичных суходольных лесах проектируемого Местыгъеганского заказника за период с 1937 по 2021 г. отмечено существенное изменение реакции древостоев на месячные температуры воздуха и суммы осадков. В целом они соответствуют известной тенденции «потепления климата» региона и происходят по трем основным направлениям.

Во-первых, усиливаются до высоких достоверных ($p < 0,05$) значений дендроклиматические отклики деревьев, как отрицательные, свидетельствующие о избытке тепла или осадков в отдельные месяцы, так и положительные, свидетельствующие о их дефиците. Показательно в этом плане усиление избытка тепла и дефицита осадков в теплое время года, особенно в июле-сентябре, свидетельствующее о засухе и ухудшении санитарно-

физиологического состояния деревьев. Это усугубляется дефицитом тепла для хвойных в позднесеннее время и избытком влаги для березы в мае. Во-вторых, отмечается сдвиг фенологических изолиний дендроклиматических откликов на более ранние весенние месяцы и на более поздние осенние месяцы, что свидетельствует об удлинении периода вегетации деревьев. В-третьих, происходит сдвиг проявления дендроклиматических откликов с прироста текущего года на прирост следующего года. Такие отложенные отклики могут свидетельствовать о возросших возможностях накопления и перераспределения пластических ресурсов деревьями в условиях более продолжительного и теплого вегетационного сезона. Но они могут указывать и на развитие патогенов (например, сибирского шелкопряда), которое инициируется из латентной фазы в аномальный по климатическим параметрам год, но оказывает негативное влияние на прирост деревьев в следующем году при наибольшей их активности.

В аномально теплые и сухие годы – 1982, 1988–1989, 2016 – наиболее вероятны пожары, влияние которых, а также их последствий, судя по дендроклиматическим откликам, усиливает избыток тепла и дефицит осадков для сохранившихся деревьев в летнее время. Ослабление деревьев в аномально холодные годы (с 1996 г.), также обостряет их негативную реакцию на «потепление климата» в последующие годы.

Влияние происходящих изменений климата на деревья зависит от их видовой принадлежности. Из трех рассмотренных лесообразователей наиболее сходную дендроклиматическую динамику демонстрируют хвойные – кедр и сосна, причем отклики прироста кедра, показывающие дефицит или избыток климатических факторов, проявляются в ненарушенном кедровнике, у сосны же они обнаружены в пройденном низовыми пожарами древостое. Береза проявляет наибольшую устойчивость к происходящим на территории заказника эколого-климатическим изменениям, кедр проявляет наименьшую устойчивость к ним и требует наибольших мер охраны и защиты.

Автор приносит благодарность Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкину за помощь в сборе материала.

Работа выполнена по госзаданию, проект № 121041600045-8.

Литература

1. Арефьев С.П. Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // Экология. 1997. №3. С. 175–183.
2. Арефьев С.П., Зах В.А. Сравнительный анализ кольцевых хронологий современной и археологической древесины Тоболо-Ишимского междуречья и перспективы построения региональных дендроархеологических шкал // Теория и практика археологических исследований. 2022. Т. 34. №2. С. 147–171.
3. Арефьев С.П., Казанцева М.Н. Периодичность пожаров и естественное возобновление светлохвойных лесов и редколесий в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа // Сибирский лесной журнал. 2020. №1. С. 3–15.

4. Арефьев С.П., Хомутов А.В., Ермохина К.А., Лейбман М.О. Дендрохронологическая реконструкция процесса формирования газового бугра на месте Ямальской воронки // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI, №5. С. 107–119.
5. Бубенщикова В.Г. Анализ состояния пирогенных опасностей в условиях лесотаежной зоны Нижневартовского района // Научные труды магистрантов и аспирантов: Сб. науч. тр. Нижневартовск, Изд-во: Нижневартовский гос. ун-т, 2020. С. 200–203.
6. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендрохронологические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
7. Гребенюк Г.Н., Кузнецова В.П. Современная динамика климата и фенологическая изменчивость северных территорий // Фундаментальные исследования. 2012. №11 (ч. 5). С. 1063–1077.
8. Денисова Н.Б., Соболев А.А., Шапинская У.С. Результаты обследования очагов сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) на территории Васюганского лесничества Томской области // Лесной вестник. 2020. Т. 24. №6. С. 65–72.
9. Касимов Н.С., Кислов А.В., Чернышев А.В., Семин В.Н., Аляутдинов А.Р. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
10. Кирдянов А.В. Радиальный прирост хвойных в лесотундре и северной тайге Средней Сибири. Роль факторов внешней среды: Дисс. ... докт. биол. наук. Красноярск, 2017. 284 с.
11. Кучеров С.Е. Влияние климатических факторов и дефолиации непарным шелкопрядом на радиальный прирост деревьев и состояние древостоев на Южном Урале : Дисс. ... докт. биол. наук. Уфа, 2018. 245 с.
12. Лесные пожары. <https://clck.ru/35fFfH>
13. МГЭИК. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Женева: МГЭИК, 2014. 163 с.
14. Мирзоева А.А. Насекомые-вредители хвойных пород деревьев Нижневартовского района // Лес и человек: сб. науч. тр. Мегион: Мега Ойл, 1998. С. 38–45.
15. Погода и климат. <https://clck.ru/33GoRh>
16. Сведения о повреждении и гибели лесов // Департамент недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. 2016. <https://clck.ru/35fG42>
17. Симанько В.В., Бенькова А.В., Шашкин А.В. Применение метода «скользящих функций отклика» для выявления влияния климатических факторов на радиальный рост деревьев // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. №7. С. 188–194.
18. Фонти М.В. Климатический сигнал в параметрах годичных колец (плотности древесины, анатомической структуре и изотопном составе) хвойных и лиственных видов

деревьев в различных природно-климатических зонах Евразии: Дисс. ... докт. биол. наук. Красноярск, 2020. 318 с.

19. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2009. 216 с.

20. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Ч. I. Красноярск : Крас. гос. ун-т, 2000. 80 с.

21. Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Горячев В.М., Агафонов Л.И., Гурская М.А. Дендрохронологические датировки археологических, исторических и этнографических памятников Западной Сибири // Археология и естественнонаучные методы. М.: Языки славянской культуры, 2005. С. 43–57.

22. Babst F., Poulter B., Trouet V., Tan K., Neuwirth B., Wilson R., Carrer M., Grabner M., Tegel W., Levanic T., Panayotov M., Urbinati C., Bouriaud O., Ciais P., Frank D. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent // *Global Ecology and Biogeography*. 2013. Vol. 22. №6. P. 706–717.

23. Buras A., Rammig A., Zang C.S. Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003 // *Biogeosciences*. 2020. №17. P. 1655–1672.

24. Cook E., Peters K. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies // *Tree-Ring Bulletin*. 1981. Vol. 41. P. 45–53.

25. Destatis statistisches bundesamt. Forest damage: logging of timber damaged by insect infestation grew more than tenfold within five years. Available online: <https://clck.ru/35fHbi>

26. Douglass A.E. Climatic cycles and tree-growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie Inst., 1919. Vol. 1. 127 p.

27. Gauli A., Neupane P.R., Mundhenk P., Köhl M. Effect of climate change on the growth of tree species: dendroclimatological analysis // *Forests*. 2022. 13. P. 496.

28. Henttonen H.M., Nöjd P., Mäkinen H. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010 – An analysis based on National Forest Inventory // *For. Ecol. Manag.* 2017. №386. P. 22–36.

29. IPCC, 2013: Summary for Policymakers. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York : Cambridge University Press, 2013. 29 p.

30. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

31. Moskovchenko D.V., Arefev S.P., Moskovchenko M.D., Yurtaev A.A. Spatiotemporal analysis of wildfires in the forest tundra of Western Siberia // *Contemporary Problems of Ecology*. 2020. Vol. 13. №2. P. 193–203.

32. Schuldt B., Buras A., Arend M., Vitasse Y., Beierkuhnlein C., Damm A., Gharun M., Grams T.E.E., Hauck M., Hajek P., et al. A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests // *Basic Appl. Ecol.* 2020. №45. P. 86–103.

33. Schweingruber F.H. Tree ring: Basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: Reidel. Publ., 1988. 276 p.
34. Sperlich D., Nadal-Sala D., Gracia C., Kreuzwieser J., Hanewinkel M., Yousefpour R. Gains or losses in forest productivity under climate change? The uncertainty of CO₂ fertilization and climate effects // *Climate*. 2020. №8. P. 141.
35. Vannoppen A., Kint V., Ponette Q., Verheyen K., Muys B. Tree species diversity impacts average radial growth of beech and oak trees in Belgium, not their long-term growth trend // *Forest Ecosystems*. 2019. Vol. 6. №10. 12 p. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0169-z>
36. Vejpustková M., Čihák T. Climate response of Douglas fir reveals recently increased sensitivity to drought stress in Central Europe // *Forests*. 2019. №10. P. 97.
37. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 1984. №23. P. 201–213.

References

1. Arefev, S.P. (1997). Ocenka ustojchivosti kedrovy`x lesov Zapadno-Sibirskoj ravniny`. *E`kologiya*, 3, 175-183. (in Russ.).
2. Arefev, S.P., & Zax, V.A. (2022). Sravnitel`ny`j analiz kol`cevny`x xronologij sovremennoj i arxeologicheskoj drevesiny` Tobolo-Ishimskogo mezhdurech`ya i perspektivy` postroeniya regional`ny`x dendroarxeologicheskix shkal. *Teoriya i praktika arxeologicheskix issledovanij*, 34(2), 147-171. (in Russ.).
3. Arefev, S.P., & Kazanceva, M.N. (2020). Periodichnost` pozharov i estestvennoe vozobnovlenie svetloxvojny`x lesov i redkolesij v Nady`mskom rajone Yamalo-Neneczskogo avtonomnogo okruga. *Sibirskij lesnoj zhurnal*, (1), 3-15. (in Russ.).
4. Arefev, S.P., Xomutov, A.V., Ermoxina, K.A., & Lejbman, M.O. (2017). Dendroxronologicheskaya rekonstrukciya processa formirovaniya gazovogo bugra na meste Yamal`skoj voronki. *Kriosfera Zemli*, 21(5), 107-119. (in Russ.).
5. Bubenshnikova, V.G. (2020). Analiz sostoyaniya pirogenny`x opasnostej v usloviyax lesotaezhnoj zony` Nizhnevartovskogo rajona. *In Nauchny`e trudy` magistrantov i aspirantov*, 200-203. (in Russ.).
6. Vaganov, E.A., Shiyatov, S.G., & Mazepa, V.S. (1996). Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoj subarktike. Novosibirsk: Nauka, 246. (in Russ.).
7. Grebenyuk, G.N., & Kuzneczova, V.P. (2012). Sovremennaya dinamika klimata i fenologicheskaya izmenchivost` severny`x territorij. *Fundamental`ny`e issledovaniya*, 11(5), 1063-1077. (in Russ.).
8. Denisova, N.B., Sobolev, A.A., & Shipinskaya, U.S. (2020). Rezul`taty` obsledovaniya ochagov sibirskogo shelkopryada (*Dendrolimus sibiricus* Tschetw.) na territorii Vasyuganskogo lesnichestva Tomskoj oblasti. *Lesnoj vestnik*, 24(6), 65-72. (in Russ.).

9. Kasimov, N.S., Kislov, A.V., Cherny`shev, A.V., Semin, V.N., & Alyautdinov, A.R. (2011). E`kologo-geograficheskie posledstviya global`nogo potepleniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri. M.: MAKS Press, 496. (in Russ.).
10. Kirdeyanov, A.V. (2017). Radial`ny`j prirost xvojn`x v lesotundre i severnoj tajge Srednej Sibiri. Rol` faktorov vneshnej sredy`: Diss. ... dokt. biol. nauk. Krasnoyarsk. 284. (in Russ.).
11. Kucherov, S.E. (2018). Vliyanie klimaticeskix faktorov i defoliacii neparny`m shelkopryadom na radial`ny`j prirost derev`ev i sostoyanie drevostoev na Yuzhnom Urale : Diss. ... dokt. biol. nauk. Ufa. 245. (in Russ.).
12. Lesny`e pozhary`. <https://clck.ru/35fFfH> (in Russ.).
13. MGE`IK (2014). Izmenenie klimata, 2014 g.: Obobshhayushhij doklad. Vklad Rabochix grupp I, II i III v Pyaty`j ocenochny`j doklad Mezhpriavitel`stvennoj gruppy` e`kspertov po izmeneniyu klimata. Zheneva: MGE`IK, 163 s. (in Russ.).
14. Mirzoeva, A.A. (1998). Nasekomy`e-vrediteli xvojn`x porod derev`ev Nizhnevartovskogo rajona // Les i chelovek: sb. nauch. tr. Megion: Mega Ojl, 38-45. (in Russ.).
15. Pogoda i klimat. <https://clck.ru/33GoRh> (in Russ.).
16. Svedeniya o povrezhdenii i gibeli lesov // Departament nedropol`zovaniya i prirodny`x resursov Xanty`-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Yugry`. 2016. <https://clck.ru/35fG42> (in Russ.).
17. Siman`ko, V.V., Ben`kova, A.V., & Shashkin, A.V. (2013). Primenenie metoda «skol`zyashhix funkcij otklika» dlya vy`avleniya vliyaniya klimaticeskix faktorov na radial`ny`j rost derev`ev. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (7), 188-194. (in Russ.).
18. Fonti, M.V. (2020). Klimaticeskij signal v parametrah godichny`x kolecz (plotnosti drevesiny`, anatomicheskoy strukture i izotopnom sostave) xvojn`x i listvenny`x vidov derev`ev v razlichny`x prirodno-klimaticeskix zonax Evrazii: Diss. ... dokt. biol. nauk. Krasnoyarsk, 318. (in Russ.).
19. Shiyatov, S.G. (2009). Dinamika drevesnoj i kustarnikovoj rastitel`nosti v gorax Polyarnogo Urala pod vliyaniem sovremenny`x izmenenij klimata. 216. (in Russ.).
20. Shiyatov, S.G., Vaganov, E.A., Kirdeyanov, A.V., Kruglov, V.B., Mazepa, V.S., Naurzbaev, M.M., & Xantemirov, R.M. (2000). Metody` dendroxnologii. Osnovy` dendroxnologii. *Sbor i poluchenie drevesno-kol`cevoj informacii*. Ch. I. Krasnoyarsk: Kras. gos. un-t, 80. (in Russ.).
21. Shiyatov, S.G., Xantemirov, R.M., Goryachev, V.M., Agafonov, L.I., & Gurskaya, M.A. (2005). Dendroxnologicheskie datirovki arxeologicheskix, istoricheskix i e`tnograficheskix pamyatnikov Zapadnoj Sibiri. *In Arxeologiya i estestvennonauchny`e metody`*, 43-57. (in Russ.).
22. Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanić, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., & Frank, D. (2013). Site-and species-specific responses of forest growth to climate across the E uropean continent. *Global Ecology and Biogeography*, 22(6), 706-717.

23. Buras, A., Rammig, A., & Zang, C.S. (2020). Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003. *Biogeosciences*, (17), 1655-1672.
24. Cook, E., & Peters, K. (1981). The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin*, vol. 41, 45-53.
25. Destatis statistisches bundesamt. Forest damage: logging of timber damaged by insect infestation grew more than tenfold within five years. Available online: <https://clck.ru/35fHbi>
27. Gauli, A., Neupane, P.R., Mundhenk, P., & Köhl, M. (2022). Effect of climate change on the growth of tree species: dendroclimatological analysis. *Forests*, (13), 496.
28. Henttonen, H.M., Nöjd, P., & Mäkinen, H. (2017). Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971-2010 – An analysis based on National Forest Inventory. *For. Ecol. Manag.*, 386, 22-36.
29. IPCC, 2013: Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York : Cambridge University Press, 2013. 29 p.
30. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
31. Moskovchenko, D.V., Arefev, S.P., Moskovchenko, M.D., & Yurtaev, A.A. (2020). Spatiotemporal analysis of wildfires in the forest tundra of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 13(2), 193-203.
32. Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T.E.E., Hauck, M., & Hajek, P., et al. (2020). A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic Appl. Ecol.*, 45, 86-103.
33. Schweingruber, F.H. (1988). Tree ring: Basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: Reidel. Publ. 276 p.
34. Sperlich, D., Nadal-Sala, D., Gracia, C., Kreuzwieser, J., Hanewinkel, M., & Yousefpour, R. (2020). Gains or losses in forest productivity under climate change? The uncertainty of CO₂ fertilization and climate effects. *Climate*, 8, 141.
35. Vannoppen, A., Kint, V., Ponette, Q., Verheyen, K., & Muys, B. (2019). Tree species diversity impacts average radial growth of beech and oak trees in Belgium, not their long-term growth trend. *Forest Ecosystems*, 6 (10), 12 p. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0169-z>
36. Vejpustková, M., & Čihák, T. (2019). Climate response of Douglas fir reveals recently increased sensitivity to drought stress in Central Europe. *Forests*, 10, 97.
37. Wigley, T.M.L., Briffa, K.R., & Jones, P.D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 201-213.

Дата поступления: 09.05.2023

Дата принятия: 11.08.2023

© Арефьев С.П., 2023



УДК 582.477.6; 581.48; 58.02

https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/03

Коренькова О.О.

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН *JUNIPERUS DELTOIDES* R.P. ADAMS В ГОРНОМ КРЫМУ

О.О. Korenkova

SEED PRODUCTIVITY AND SEED QUALITY *JUNIPERUS DELTOIDES* R.P. ADAMS IN THE MOUNTAINOUS CRIMEA

Аннотация. *Juniperus deltoides* – это реликтовый средиземноморский вид третичного периода, включен в Красную книгу Республики Крым в статусе – вид сокращающийся в численности. В основе разработки мероприятий по поддержанию и сохранению популяций редких и исчезающих видов лежит изучение их семенной продуктивности. Целью работы является определение уровня семенной продуктивности и качества семян *J. deltoides* в Горном Крыму. Задачи исследования: выявить уровень семенной продуктивности; установить долю полнозернистых семян и оценить степень воздействия абиотических и антропогенных факторов на изучаемые параметры генеративной сферы. Согласно общепринятым в лесоводстве и геоботанике методикам, в пределах древостоев *J. deltoides* заложено 17 пробных площадей. Кроме того, выделяли 3 редины *J. deltoides* с целью определения влияния инбридинга на полнозернистость семян. Посредством однофакторного дисперсионного анализа, выявляли степень влияния абиотических и антропогенных факторов на семенную продуктивность и качество семян. В результате проведенных исследований, установлено, что практически половина (47,53%) всех особей *J. deltoides* характеризуется низкой семенной продуктивностью. 10,18% в период исследований вообще не образовали шишкоягод. Отмечено, что одним из факторов, влияющих на семенную продуктивность *J. deltoides* в Горном Крыму является географическая приуроченность мест произрастания вида. Кроме того, установлено, что крымская популяция *J. deltoides* характеризуется низкой долей полнозернистых семян, которая составляет 1,32–26,92%. Наибольшее влияние на выполненность семян *J. deltoides* в Горном Крыму оказывает степень антропогенной нагрузки исследуемых территорий.

Ключевые слова: *Juniperus deltoides*; семенная продуктивность; полнозернистость семян; инбридинг; абиотические факторы; антропогенный фактор; Горный Крым.

Сведения об авторе: Коренькова Олеся Олеговна, ORCID 0000-0001-6482-7312, канд. биол. наук, Национальный исследовательский Московский

Abstract. *Juniperus deltoides* is a relic Mediterranean species of the Tertiary period, included in the Red Book of the Republic of Crimea in the status of a species declining in numbers. The development of measures to maintain and preserve populations of rare and endangered species is based on the study of their seed productivity. The aim of the work is to determine the level of seed productivity and seed quality of *J. deltoides* in the Crimean Mountains. Research objectives: to identify the level of seed productivity, establish the proportion of full-grained seeds and assess the degree of impact of abiotic and anthropogenic factors on the studied parameters of the generative sphere. According to the methods generally accepted in forestry and geobotany, 17 trial plots were established within *J. deltoides* forest stands. In addition, 3 *J. deltoides* radishes were isolated to determine the effect of inbreeding on seed fullness. By means of one-way analysis of variance, the degree of influence of abiotic and anthropogenic factors on seed productivity and seed quality was revealed. As a result of the research, it was found that almost half (47.53%) of all individuals of *J. deltoides* are characterized by low seed productivity. 10.18% during the research period did not form cones at all. It is noted that one of the factors affecting the seed productivity of *J. deltoides* in the Crimean Mountains is the geographic confinement of the habitats of the species. In addition, it was found that the Crimean population of *J. deltoides* is characterized by a low proportion of full-grained seeds, which is 1.32–26.92%. The degree of anthropogenic load of the studied territories has the greatest influence on the fulfillment of *J. deltoides* seeds in the Crimean Mountains.

Keywords: *Juniperus deltoides*; seed productivity; full-grained seeds; inbreeding; abiotic factors; anthropogenic factor; the Mountainous Crimea.

About the author: Olesya O. Korenkova, ORCID 0000-0001-6482-7312, Candidate of Biological Sciences, Moscow State University of

государственный строительный университет, г. Civil Engineering (National Research
Москва, Россия, o.o.korenkova@mail.ru University), Moscow, Russia,
o.o.korenkova@mail.ru

Коренькова О.О. Семенная продуктивность и качество семян *Juniperus Deltooides* R.P. Adams в горном Крыму // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 35–46. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/03>

Korenkova, O.O. (2023). Seed Productivity and Seed Quality *Juniperus Deltooides* R.P. Adams in the Mountainous Crimea. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 35-46. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/03>

Семенная продуктивность – это один из важнейших показателей жизнеспособности популяции и ее адаптации к условиям места обитания. Известно, что процессы плодоношения наиболее сложно протекают у реликтовых видов, которые зародились в условиях, отличных от современных. Кроме того, особого внимания требуют виды, численность популяций которых в последнее время сокращается, в результате чего возникает угроза их исчезновения. Изучение семенной продуктивности редких и исчезающих видов лежит в основе разработки мероприятий по поддержанию и сохранению их популяций [1; 3; 5; 30-32].

Juniperus deltooides R.P. Adams – это реликтовый средиземноморский вид третичного периода. Является одним из доминантов древесно-кустарникового яруса реликтовых высокоможжевеловых редколесий Крыма, произрастающий на северной границе своего ареала [7; 8; 22; 28; 29]. В настоящее время находится в статусе «вид, сокращающийся в численности» и включен в Красные книги Республики Крым и города Севастополя [11; 12].

J. deltooides имеет важное экологическое значение для крымского полуострова, участвуя в облесении крупных и скалистых горных склонов [24]. Среди крымских можжевеловиков, *J. deltooides* занимает второе место по численности популяции. По последним данным площадь его насаждений составляет 4843 га [20; 22]. При этом, в горах Крыма отмечается низкий уровень естественного возобновления вида. Среди причин, приведших к дигрессии популяции, ряд авторов относит интенсивную антропогенную нагрузку и бессистемную вырубку, а также низкий уровень семенной продуктивности [7; 8; 14; 22]. Однако детальных исследований по установлению причин, приведших к низкой семенной продуктивности крымской популяции *J. deltooides*, практически не проводилось. Кроме того, изучение семенной продуктивности и качества семян *J. deltooides* на северной границе его ареала имеет важное научное и практическое значение, так как позволяет определить особенности развития вида за пределами его оптимума произрастания и разработать мероприятия по поддержанию и возобновлению площади его популяций.

Целью проведенных исследований явилось определение уровня семенной продуктивности и качества семян *J. deltooides* в Горном Крыму. Исходя из заявленной цели, были поставлены следующие задачи: выявить уровень семенной продуктивности; установить долю полнозернистых семян и оценить степень воздействия ряда факторов, как

абиотических, так и антропогенных на изучаемые параметры генеративной сферы крымской популяции *J. deltoides*.

Для определения уровня семенной продуктивности и качества семян древостоев *J. deltoides* на территории Горного Крыма было заложено 17 пробных площадей (ПП) размером по 0,2 га (рис. 1). Располагаются пробные площади в высотном диапазоне от 40 до 620 м н.у.м., в различных эдафо-орографических условиях. Кроме того, с целью выявления влияния близкородственного скрещивания на семенную продуктивность и полнозернистость семян, исследовали насаждения *J. deltoides*, полнота которых менее 0,3. Данные насаждения, согласно «Учению о лесе» Г.Ф. Морозова (1949) [18], можно характеризовать как редины (на рис. 1 обозначены синим цветом).

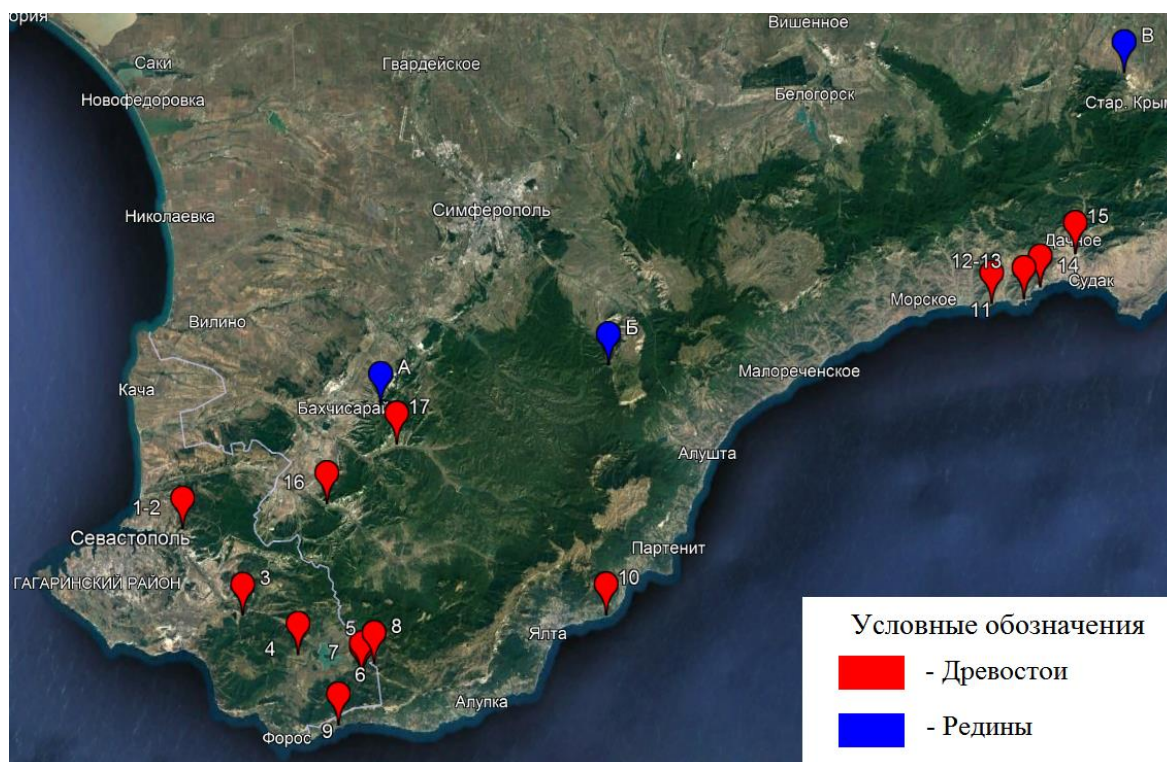


Рис. 1 Схема расположения исследуемых территорий в Горном Крыму
(Древостои: 1-2 – окрестности г. Инкерман; 3 – г. Чирка-Каясы; 4 – г. Самналых; 5 – г. Толака-Баир; 6–8 – г. Кара-Даг; 9 – г. Дракон; 10 – м. Мартьян; 11 – г. Папая-Кая; 12–13 – г. Коба-Кая; 14 – г. Сокол; 15 – г. Каршигерс; 16 – ск. Куллю-Кая; 17 – окрестности с. Кудрино. Редины: А – г. Беш-Кош; Б – г. Чатыр-Даг; В – г. Лысый Агармыш)

На каждой пробной площади, согласно общепринятым в лесоводстве и геоботанике методикам, выделяли по 10 модельных деревьев [17]. Семенную продуктивность определяли глазомерно, путем осмотра особей. Для оценки степени обилия шишкочегод использовали шестибалльную шкалу О.Г. Каппера [6; 10].

Для каждого модельного дерева отбирали по 30 шишкочегод генерации текущего года и оценивали качество находящихся в них семян. Семена извлекали из шишкочегод путем разрезания ее мякоти и дальнейшего их очищения, и подсчета. Полнозернистость семян определяли в результате их взрезывания [15]. Все семена разделяли на три группы: полнозернистые (с зародышем и эндоспермом светло-желтого цвета, плотно прилегающим к

оболочке); пустые (зародыш погибает на ранних этапах развития, эндосперм лизирован); дегенеративные (зародыш погибает на более поздних этапах развития, эндосперм усыхает). Качество семян оценивали по продуктивности полнозернистых семян, которую рассчитывали как их соотношение к общему количеству семян, выражая в процентах [8]. Полученные данные обрабатывали методами математической статистики [13]. Уровень изменчивости признаков оценивали по величине коэффициента вариации согласно классификации С.А. Мамаева (1973) [16].

Для определения степени влияния абиотических факторов на развитие генеративной сферы *J. deltoides* пробные площади были разделены на четыре географические группы: западную, южнобережную, восточную и северную. В западную группу вошли пробные площади №1–8; в южнобережную – №9–10; в восточную – №11–15; в северную – №16–17. По методике П.С. Погребняка (1968 г.) определяли типы условий местопроизрастания [21]. Всего на территории произрастания *J. deltoides* в Горном Крыму выделено 4 типа леса: сухой можжевельновый бор (ПП №3, №16), очень сухая можжевельовая суборь (ПП №6–8 и №12–13), сухая можжевельовая суборь (ПП №4–6 и №11), сухой можжевельовый сугрудок (ПП №1–2, №9–10, №14–15, №17).

В ходе исследований, используя шестибалльную шкалу О.Г. Каппера, анализировали величину урожая семян *J. deltoides* в Горном Крыму. Установлено, что практически половина всех исследованных особей (47,53%) характеризуется низкой семенной продуктивностью (рис. 2). В данную группу были выделены деревья со слабым и очень плохим урожаем, а также особи, не образовавшие шишкочагод. В период наблюдений, на долю последних приходится 10,18%. По данным А.А. Корчагина [10], важным фактором, влияющим на урожай семян, является жизненное состояние особей популяции, и по жизненному состоянию дерева можно судить об интенсивности его репродуктивной способности. Все особи, не образовавшие шишкочагод, характеризовались неудовлетворительным жизненным состоянием. У них отмечалось усыхание кроны, повреждение ветвей и опадание хвои. На участках с высокой антропогенной нагрузкой встречались деревья со следами спила скелетных ветвей.

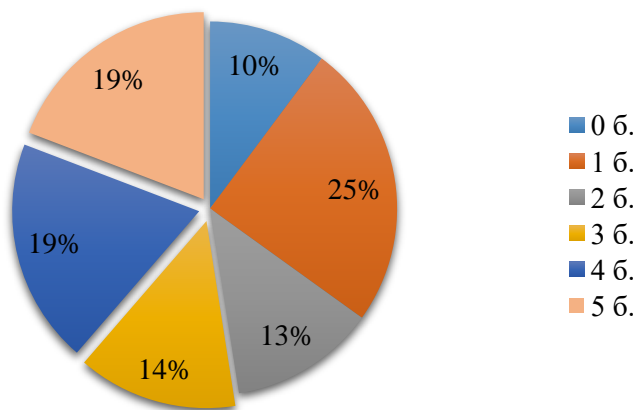


Рис. 2. Соотношение числа деревьев *J. deltoides* в зависимости от величины урожая семян

Почти четверть всех особей крымской популяции *J. deltoides* (24,75%) характеризуется очень плохим урожаем (шишкотягоды в ничтожном количестве). 12,60% составляют особи со слабым урожаем. С целью выявления причин, приведших к значительной доли особей с низким уровнем семенной продуктивности, все исследованные территории разделяли на группы в зависимости от действующих на них абиотических и антропогенных факторов. При определении влияния климатических условий установлено, что в восточной и северной группах доля низкоурожайных особей равна и составляет около 56%. В западной и южнобережной группах отмечается обратная ситуация. Низкая урожайность на данных территориях составляет меньше половины – 39,41% (западная группа) и 48,76% – южнобережная группа. Подобное отличие можно объяснить различием в гидро-термическом режиме регионов. Для восточной и северной территорий характерны возвратные заморозки в период формирования микроспор, что негативно влияет на качество пыльцы, и как следствие, снижает урожайность шишкотягод. Кроме того, в период вылета пыльцы, в регионах с низкой семенной продуктивностью отмечается не стабильная среднесуточная температура. Известно, что апикальные клетки нуцеллуса секретируют жидкость только при определенных гидро-термических условиях: температура воздуха выше +16°C и его относительная влажность более 50%. В противном случае процесс опыления не происходит [7; 22].

Немаловажным является тот факт, что древостои *J. deltoides*, попавшие в восточную и северную группы находятся в непосредственной близости к густонаселенным территориям, с высоким атмосферным загрязнением [27]. Согласно данным И.А. Ругузова и Л.У. Склонной (1982) [23], при высоком содержании в воздухе оксидов серы, углерода и азота происходит подкисление опылительной капли и, как следствие, пыльцевые зерна не могут освободиться от экзины, не формируют пыльцевую трубку и не участвуют в оплодотворении [22; 27].

При определении влияния высоты произрастания древостоев *J. deltoides* над уровнем моря установлено, что большей семенной продуктивностью характеризуются особи в высотном диапазоне от 400 до 650 м н.у.м. – верхняя граница произрастания *J. deltoides* в Горном Крыму, на их долю приходится от 60,17% до 74,30% особей, в зависимости от высотного пояса. В данных условиях пыление микростробил наступает позже и совпадает с периодом относительно стабильного температурного режима и повышенной влажности воздуха.

В ходе выявления особенностей влияния, на семенную продуктивность, экспозиции склонов и эдафических условий мест произрастания *J. deltoides*, установлено, что данные факторы не оказывают существенного воздействия на величину урожая шишкотягод. Совокупная доля особей с низкой и высокой семенной продуктивностью, при данном распределении, представлена практически в равном соотношении, с небольшим преобладанием высокоурожайных древостоев.

Можно предположить, что практически равное количество особей с высокой и низкой семенной продуктивностью, а также их равномерное распределение по площади популяции, свидетельствует о благоприятных, для *J. deltoides*, условиях произрастания на территории

Горного Крыма. Ряд ученых считает, что такой уровень семенной продуктивности способствует поддержанию численности вида в регионе [22–24]. Однако, в настоящее время, наблюдается низкий уровень естественного возобновления крымской популяции *J. deltoides*. На основании чего, возникает необходимость в оценке не только уровня его семенной продуктивности, но и качества семян.

Шишкотягоды крымской популяции *J. deltoides* содержат от 1 до 4 семян. Показатели количества семян в шишкотягодах характеризуются низким и средним уровнем изменчивости (коэффициент вариации – от 8% до 20%). При этом, доля выполненных семян в древостоях *J. deltoides* весьма незначительная (рис. 3), варьирует в широких пределах от 1,32% (ПП №13) до 26,92% (ПП №9). Ранние следования показывают, что в 2006 году доля полнотельных семян составляла до 42,66% [22]. Исходя из чего, можно сделать вывод, что за последние почти два десятилетия качество семян *J. deltoides* снизилось больше чем в 1,5 раза, что, в конечном счете, негативно сказывается на его естественном возобновлении и требует в кратчайшие сроки разработки мероприятий по поддержанию и восстановлению численности *J. deltoides* в Горном Крыму.

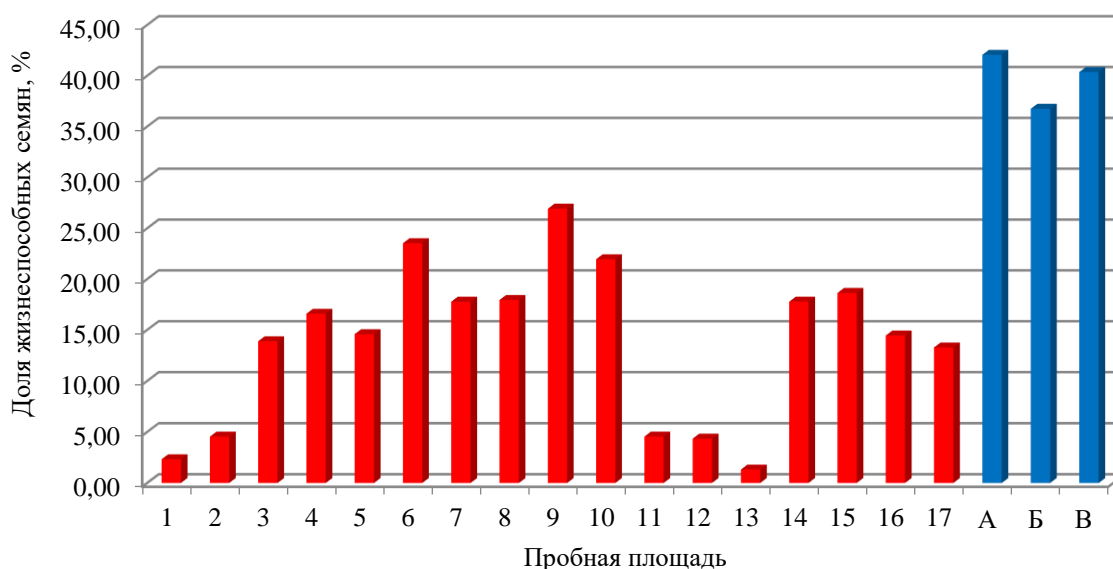


Рис. 3. Доля жизнеспособных семян *J. deltoides* в пределах пробных площадей (красный цвет – древостой; синий – редины)

Для выявления внешних причин, приведших к низкой доле полнотельных семян исследуемого вида, проводили однофакторный дисперсионный анализ. В результате выполненной работы, установлено, что на качество семян *J. deltoides* в горах Крыма максимальное влияние оказывают два фактора: регион произрастания особей и величина антропогенного воздействия. Сила влияния данных факторов проявляется практически одинаково и составляет 60,97% и 66,37% соответственно. Наибольшим числом полнотельных семян характеризуются пробные площади западной и югобережной групп. При этом, необходимо отметить, что на пробных площадях №1 и №2 (входящих в западную группу), крайне низкий процент выполненных семян. Именно эти территории, наряду с ПП №11–13

подвержены значительному антропогенному воздействию. Подобное явление связано, как с механическим повреждением исследуемых особей, так и с общим атмосферным загрязнением.

В ходе исследований, выявлено, что экспозиция склона и эдафические условия мест произрастания *J. deltoides* не оказывают достоверного влияния на полнозернистость семян. При этом установлено, что на участках с южной экспозицией развивается большее число дегенеративных семян, общее число таких семян в популяции не велико и составляет 1,24%. Подобное явление можно объяснить разницей в нагреве поверхности [2; 4; 19; 25]. Так, шишкочагоды на участках с южной и юго-западной экспозициями склона в летние периоды подвергаются значительному перегреву. Они имеют достаточно темный цвет, что усиливает влияние на них температуры. Семена в таких шишкочагодах погибают на поздних этапах развития, а эндосперм усыхает.

Согласно литературным источникам [8; 22; 24; 26], кроме внешних факторов на полнозернистость семян значительное влияние оказывает близкородственное скрещивание. Для оценки данного фактора закладывали пробные площади в редицах *J. deltoides* (полнота насаждений менее 0,3) с небольшим уклоном рельефа. Так, при величине уклона в 30° максимальный раскат семян составляет не более 10 м [9]. При этом расстояние между деревьями в редицах составляло от 15 до 20 м. Известно, что пыльца можжевельников может распространяться на 20 м [22]. В подобных условиях вероятность инбридинга значительно снижается. Исходя из рисунка 3, видно, что изреженные насаждения *J. deltoides* характеризуются значительно большим количеством выполненных семян (от 36,75% до 42,06%). Подобная закономерность в полной мере подтверждает влияние близкородственного скрещивания на качество семян. Таким образом, именно редицы *J. deltoides* можно использовать при отборе шишкочагод с большей долей выполненных семян, с целью искусственного восстановления можжевельниковых лесов Крымского полуострова.

При проведении корреляционного анализа установлена обратная зависимость (коэффициент корреляции – $r = -0,37$) выполненности семян от их количества в шишкочагоде (рис. 4). Так, семена, развивающиеся в шишкочагоде по одному, с большей долей вероятности будут выполненными нежели семена, образующиеся по 3 или 4 в шишкочагоде.

Из рисунка 4 видно, что в подавляющем большинстве случаев в шишкочагодах образуется одно полноценное семя, на долю которых приходится от 6,62% (в шишкочагодах с четырьмя семенами) до 23,53% в односемянных шишкочагодах. Данную закономерность необходимо учитывать при подсчете необходимого количества шишкочагод при искусственном восстановлении можжевельниковых насаждений в Горном Крыму.

При рассмотрении шишкочагод с четырьмя семенами, установлено, что вероятность всех выполненных семян ничтожно мала и составляет 0,49%. Четвертое семя в шишкочагоде практически всегда недоразвито. Подобное явление объясняется тем, что наиболее характерным для *J. deltoides* является развитие трех семян, а закладка большего количества семян, можно рассматривать, скорее, как отклонение в развитии генеративной сферы.

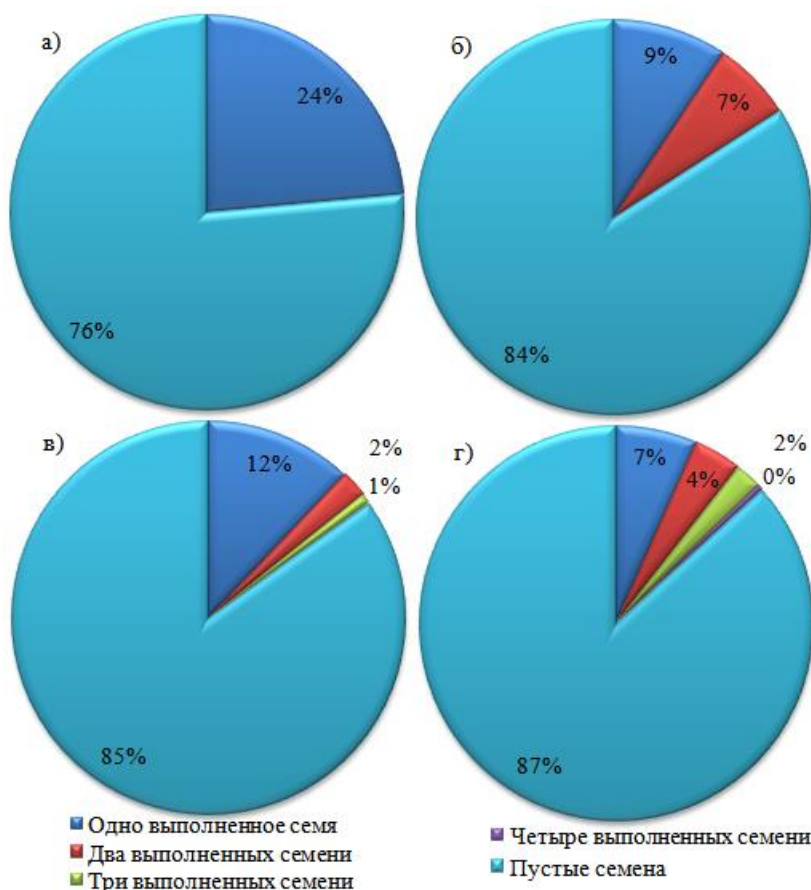


Рис. 4. Зависимость количества выполненных семян от их общего числа в шишкоягоде (а) – шишкоягоды с одним семенем; б) – шишкоягоды с двумя семенами; в) – шишкоягоды с тремя семенами; г) – шишкоягоды с четырьмя семенами)

На основании проведенных исследований установлено, что практически половина (47,53%) всех исследованных особей характеризуется низкой семенной продуктивностью, при этом, 10,18% в период исследований вообще не образовали шишкоягод. Одним из факторов, влияющих на семенную продуктивность *J. deltoides* в Горном Крыму является географическая приуроченность мест произрастания вида. Установлено, что наибольшей продуктивностью характеризуются насаждения западной и южнобережной группы. Доля высокоурожайных особей на этих территориях составляет 60,59% и 51,24% соответственно.

Установлено, что крымская популяция *J. deltoides* характеризуется низкой долей полнозернистых семян, которая составляет 1,32–26,92%, что свидетельствует о том, что, за последние почти два десятилетия, качество семян *J. deltoides* в Крыму снизилось почти в 1,5 раза. Среди внешних причин, приведших к низкой доле полнозернистых семян вида, выявлено, что наибольшее влияние оказывает степень антропогенной нагрузки исследуемой территории. На данных пробных площадях доля выполненных семян не превышала 4,55%. Кроме того, установлено, что в редицах *J. deltoides* отмечается значительно большее количество полнозернистых семян (от 36,75% до 42,06%), что подтверждает негативное влияние инбридинга на процессы репродукции крымской популяции *J. deltoides*.

Кроме того, определено, что в подавляющем большинстве случаев в шишкоягоде содержится по одному полноценному семени, при этом максимальное число шишкоягод

(80,72%) содержат по три семени. Это необходимо учитывать при разработке мероприятий по восстановлению и поддержанию численности популяции *J. deltoides* в Горном Крыму.

Литература

1. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. 1974. Т. 59. № 6. С. 826–831.
2. Габибуллаева Л.А. Влияние экспозиции склона на семенную продуктивность *Nigella sativa* L. в условиях Дагестана // Известия Горского государственного аграрного университета. 2021. Т. 58-1. С. 125–132.
3. Горошкевич С.Н. Метеорологическая обусловленность семеношения кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. №2. С. 56–69.
4. Горышина Т.К. Экология растений. М.: Высшая школа, 1979, 368 с.
5. Зубаирова Ш.М. Особенности семенной продуктивности *Hedysarum daghestanicum* Boiss. ex Rurp. в природных популяциях // Фундаментальные исследования. 2013. №6-2. С. 352–355.
6. Исигов В.П., Плугатарь Ю.В., Коба В.П. Методы исследований лесных экосистем Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2014. 252 с.
7. Корсакова С.П., Корсаков П.Б., Багрикова Н.А. Биология опыления *Juniperus excelsa* и *J. deltoides* (*Cupressaceae*) на Южном берегу Крыма // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, №10. С. 1574–1587. <https://doi.org/10.1134/S0006813619100077>
8. Калафат Л.А., Николаева А.В., Егорова А.В. Семенная продуктивность видов рода *Juniperus* L. в Крыму // Промышленная ботаника. 2013. Т. 13. С. 163–168.
9. Коренькова О.О. Биолого-экологические особенности роста и развития *Juniperus foetidissima* Willd. в горном Крыму: дисс. канд. биол. наук. Ялта, 2017. 169 с.
10. Корчагин А.А. Методы учета семеношения древесных пород и лесных сообществ // Полевая геоботаника. 1960. Т. II. С. 41–132.
11. Красная книга города Севастополя. Калининград; Севастополь: ИД «РОСТ-ДООАФК», 2018. 432 с.
12. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы. Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. 480 с.
13. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 350 с.
14. Лантушенко А.О., Коренькова О.О., Сыровец А.А., Мегер Я.В., Кореньков П.А., Шевчук О.М. Морфологические и филогенетические особенности крымской популяции *Juniperus deltoides* R.P. Adams. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 27(4). С. 306–315.
15. Лесная энциклопедия: В 2-х т. Т. 2. М.: Сов. энциклопедия, 1986. 631 с.
16. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1973. 284 с.
17. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
18. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. 455 с.

19. Пинской В.Н., Идрисов И.А., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Потапов А.В., Борисов А.В. Влияние экспозиции склона на химические и биологические свойства почв земледельческих террас Восточного Кавказа // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. №2(91). С. 113–121.
20. Плугатарь Ю.В. Леса Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. 385 с.
21. Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Колос, 1968. 440 с.
22. Ругузова А.И. Биологические особенности можжевельника красного (*Juniper oxycedrus* L.) в Крыму в связи с его охраной: дисс. канд. биол. наук. Ялта, 2006. 163 с.
23. Склонная Л.У., Ругузов И.А. Методические рекомендации по элитному семеноводству тиса ягодного и можжевельника высокого. Ялта: ГНБС, 1982. 13 с.
24. Склонная Л.У., Ругузов И.А., Костина В.П. Закономерности формирования семян у древовидных можжевельников в Крыму // Эмбриологические и цитогенетические аспекты высших растений. 1992. С. 64–77.
25. Ха Д.Т.Т., Жигунов А.В., Бондаренко А.С. Влияние орографических факторов и почвенного плодородия на рост плантаций *Manglietia conifera* Blume в провинции Туенкуанг Республики Вьетнам // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2019. №1. С. 55–67.
26. Шодиева О.М., Мамарахимов Б.И., Халикова М.Б. Влияние инбридинга на генетическую однородность популяции хлопчатника // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. № 2. С. 25–29.
27. Щербатюк Л.К. Определение уровня загрязнения атмосферы диоксидом серы с целью прогноза повреждений лесных экосистем // Бюллетень Никитского ботанического сада. 1987. Вып. 62. С. 14–18.
28. Adams R.P. Morphological comparison and key to *Juniperus deltooides* and *J. oxycedrus* // Phytologia. 2014. Vol. 96(2). P. 58–62.
29. Adams R.P., Morris A.J., Pandey R.N., Schwarzbach A.E. Cryptic speciation between *Juniperus deltooides* and *Juniperus oxycedrus* (*Cupressaceae*) in the Mediterranean // Biochemical Systematics and Ecolog. 2005. Vol. 33(8). P. 771–787. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2005.01.001>
30. Kafi I., Calvão T., Yah, N. What happens to species at the rear-edge of their distribution in arid regions? The case of *Juniperus thurifera* L. in the Aurès Mountains (Algeria) // Land Degradation & Development. 2022. Vol. 33(13). P. 2231–2245.
31. Rajcevic N., Dodos T., Novakovic J. Epicuticular wax variability of *Juniperus deltooides* R.P. Adams from the central Balkan // Ecology and chemophenetics. 2020. Vol. 89. P. 104008.
32. Yousefi S., Avand M., Yariyan P. Identification of the most suitable afforestation sites by *Juniperus excels* specie using machine learning models: Firuzkuh semi-arid region, Iran // Ecological Informatics. 2021. Vol. 65. P. 101427.

References

1. Vajntagij, I.V. (1974). O metodike izucheniya semennoj produktivnosti rastenij. *Botanicheskij zhurnal*, 59(6), 826-831. (in Russ.).

2. Gabibullaeva, L.A. (2021). Vliyanie e`kspozicii sklona na semennuyu produktivnost` *Nigella sativa* L. v usloviyax Dagestana. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 58(1), 125-132. (in Russ.).
3. Goroshkevich, S.N. (2021). Meteorologicheskaya obuslovlennost` semenosheniya kedra sibirskogo (*Pinus sibirica* Du Tour). *Izvestiya vuzov. Lesnoj zhurnal*, 2, 56-69. (in Russ.).
4. Gory`shina, T.K. (1979). E`kologiya rastenij. M.: Vy`sshaya shkola, 368. (in Russ.).
5. Zubairova, Sh.M. (2013). Osobennosti semennoj produktivnosti *Hedysarum daghestanicum* Boiss. ex Rupr. v prirodny`x populyaciyax. *Fundamental`ny`e issledovaniya*, 6-2, 352-355. (in Russ.).
6. Isikov, V.P., Plugatar`, Yu.V., & Koba, V.P. (2014). Metody` issledovaniy lesny`x e`kosistem Kry`ma. Simferopol`: IT «ARIAL», 252. (in Russ.).
7. Korsakova, S.P., Korsakov, P.B., & Bagrikova, N.A. (2019). Pollination biology of *Juniperus excelsa* and *J. deltoides* (*Cupressaceae*) on the southern coast of Crimea. *Botanical journal*, 104(10), 1574-1587. <https://doi.org/10.1134/S0006813619100077> (in Russ.).
8. Kalafat, L.A., Nikolaeva, A.V., & Egorova, A.V. (2013). Semennaya produktivnost` vidov roda *Juniperus* L. v Kry`mu. *Promy`shlennaya botanika*, 13, 163-168. (in Russ.).
9. Koren`kova, O.O. (2017). Biologo-e`kologicheskie osobennosti rosta i razvitiya *Juniperus foetidissima* Willd. v gornom Kry`mu: diss. kand. biol. nauk. Yalta, 169. (in Russ.).
10. Korchagin, A.A. (1960). Methods for accounting seed production of tree species and forest communities. *Field geobotany*, II, 41-132. (in Russ.).
11. Krasnaya kniga goroda Sevastopolya. Kaliningrad; Sevastopol`: ID «ROST-DOAFK», 2018. 432 s. (in Russ.).
12. Krasnaya kniga Respubliki Kry`m. Rasteniya, vodorosli i griby`. Simferopol`: OOO «IT «ARIAL», 2015. 480 s. (in Russ.).
13. Lakin, G.F. (1990). Biometriya. M.: Vy`sshaya shkola, 350. (in Russ.).
14. Lantushenko, A.O., Koren`kova, O.O., Sy`rovecz, A.A., Meger, Ya.V., Koren`kov, P.A., & Shevchuk, O.M. (2023). Morfologicheskie i filogeneticheskie osobennosti kry`mskoj populyacii *Juniperus deltoides* R.P. Adams. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 27(4), 306-315. (in Russ.).
15. Lesnaya e`nciklopediya: V 2-x t. T. 2. M.: Sov. e`nciklopediya, 1986. 631 s. (in Russ.).
16. Mamaev, S.A. (1973). Formy` vnutrividovoj izmenchivosti drevesny`x rastenij (na primere *Pinaceae* na Urale). M., Nauka, 284 s. (in Russ.).
17. Metody` izucheniya lesny`x soobshhestv. SPb.: NIIXimii SPbGU, 2002. 240. (in Russ.).
18. Morozov, G.F. (1949). Uchenie o lese. M.-L.: Goslesbumizdat, 455. (in Russ.).
19. Pinskiy, V.N., Idrisov, I.A., Kashirskaya, N.N., El`czov, M.V., Potapov, A.V., & Borisov, A.V. (2022). Vliyanie e`kspozicii sklona na ximicheskie i biologicheskie svojstva pochv zemledel`cheskix terras Vostochnogo Kavkaza. *Aridny`e e`kosistemy*, 28, 2(91), 113-121. (in Russ.).
20. Plugatar`, Yu.V. (2015). Lesa Kry`ma. Simferopol`: IT «ARIAL», 385. (in Russ.).
21. Pogrebnyak, P.S. (1968). Obshee lesovodstvo. M.: Kolos, 440. (in Russ.).

22. Ruguzova, A.I. (2006). Biologicheskie osobennosti mozhzhevel`nika krasnogo (*Juniper oxycedrus* L.) v Kry`mu v svyazi s ego ohranoj: diss. kand. biol. nauk. Yalta, 163. (in Russ.).
23. Sklonnaya, L.U., & Ruguzov, I.A. (1982). Metodicheskie rekomendacii po e`litnomu semenovodstvu tisa yagodnogo i mozhzhevel`nika vy`sokogo. Yalta: GNBS, 13. (in Russ.).
24. Sklonnaya, L.U., Ruguzov, I.A., & Kostina, V.P. (1992). Zakonomernosti formirovaniya semyan u drevovidny`x mozhzhevel`nikov v Kry`mu. *E`mbriologicheskie i citogeneticheskie aspekty` vy`sshix rastenij*, 64-77. (in Russ.).
25. Ха, D.T.T., Zhigunov, A.V., Bondarenko, A.S. (2019). Vliyanie orograficheskix faktorov i pochvennogo plodorodiya na rost plantacij *Manglietia conifera* Blume v provincii Tuenkuang Respubliki V`etnam. *Trudy` Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel`skogo instituta lesnogo khozyajstva*, (1), 55-67. (in Russ.).
26. Shodieva, O.M., Mamaraximov, B.I., Xalikova, M.B. (2020). Vliyanie inbridinga na geneticheskuyu odnorodnost` populyacii xlopchatnika. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*, (2), 25-29. (in Russ.).
27. Shherbatyuk, L.K. (1987). Opredelenie urovnya zagryazneniya atmosfery` dioksidom sery` s cel`yu prognoza povrezhdenij lesny`x e`kosistem. *Byulleten` Nikitskogo botanicheskogo sada*. Vy`p, 62, 14-18. (in Russ.).
28. Adams, R.P. (2014). Morphological comparison and key to *Juniperus deltoides* and *J. oxycedrus*. *Phytologia*, 96(2), 58-62.
29. Adams, R.P., Morris, A.J., Pandey, R.N., & Schwarzbach, A.E. (2005). Cryptic speciation between *Juniperus deltoides* and *Juniperus oxycedrus* (*Cupressaceae*) in the Mediterranean. *Biochemical Systematics and Ecology*, 33(8), 771-787. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2005.01.001>
30. Kafı, I., Calvão, T., & Yahi, N. (2022). What happens to species at the rear-edge of their distribution in arid regions? The case of *Juniperus thurifera* L. in the Aurès Mountains (Algeria). *Land Degradation & Development*, 33(13), 2231-2245.
31. Rajcevic, N., Dodos, T., & Novakovic, J. (2020). Epicuticular wax variability of *Juniperus deltoides* R.P. Adams from the central Balkan. *Ecology and chemophenetics*, 89, 104008.
32. Yousefi, S., Avand, M., & Yariyan, P. (2021). Identification of the most suitable afforestation sites by *Juniperus excels* specie using machine learning models: Firuzkuh semi-arid region, Iran. *Ecological Informatics*, 65, 101427.

Дата поступления: 24.03.2023

Дата принятия: 05.09.2023

© Коренькова О.О., 2023

НЕКОТОРЫЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ *CARASSIUS GIBELIO* И *CARASSIUS CARASSIUS*, ОБИТАЮЩИХ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИ РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БАССЕЙНА РЕКИ ТУРА

M.I. Bitner, N.V. Smolina

SOME CYTOGENETIC FEATURES OF *CARASSIUS GIBELIO* AND *CARASSIUS CARASSIUS*, POPULATIONS LIVING IN HYDROLOGICALLY DIVERSE RESERVOIRS OF THE TURA RIVER BASIN

Аннотация. В статье приведены результаты анализа генетической структуры популяций *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) и *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758) цитометрическим методом по размеру площади ядер эритроцитов. Актуальность работы обусловлена дискуссией в вопросах формирования серебряного карася как одного вида или нескольких экологических форм и исчезновением золотого карася как вида в естественном ареале. Сравнили карасей из разнотипных водных объектов: река Тура, река Ница (левый приток Туры), озеро Кривое (старица Туры, периодически с ней сообщающаяся), озеро Среднее (изолировано, более 70 лет не имеет связи Турой). Во всех исследованных водоемах доминирует диплоидная форма серебряного карася. Доля триплоидов в реке Ница и оз. Кривое не превысила 5%, в оз. Среднее была равна 20%, и максимум (30%) отмечен в Туре. Соотношение цитометрически определённых диплоидов и триплоидов составило: в р. Тура – 2:1, в р. Ница – 19:1, в оз. Кривое – 17:1, в оз. Среднее 3:1. При этом не определены по пloidности от 5 до 18% особей, наибольшее их число отмечено в выборке из оз. Среднее. При сравнении площади ядер эритроцитов у серебряного и золотого карасей из оз. Среднее выявлена зона перекрытия на уровне 45–54 мкм², что позволяет предположить естественную гибридизацию популяций этих видов.

Ключевые слова: цитогенетическая структура популяций; *Carassius gibelio*; *Carassius carassius*; бассейн реки Тура.

Сведения об авторах: Битнер Мария Ивановна, SPIN-код 5062-9728, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия, m.i.sid@yandex.ru; Смолина Наталья Васильевна, SPIN-код 3216-4590, канд. биол. наук, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия, natan11@mail.ru

Abstract. The article presents the results of the analysis of the genetic structure of the populations of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) and *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758) by the cytometric method by the size of the area of erythrocyte nuclei. The relevance of the work is due to the discussion on the formation of crucian as one species or several ecological forms and the disappearance of crucian as a species in its natural habitat. We compared crucian carp from different types of water bodies: the Tura river, the Nica river (the left tributary of the Tura), Lake Krivoe (the Tura oxbow lake, periodically communicating with it), Lake Srednee (isolated, not connected with the Tura for more than 70 years). In all studied water bodies, the diploid form of silver crucian dominates. The proportion of triploids in the Nica river and Lake Krivoe did not exceed 5%, in the lake. The average was equal to 20%, and the maximum (30%) was noted in the Tura. The ratio of cytometrically determined diploids and triploids was: in the river Tura - 2: 1, in the river Nica – 19:1, in Lake Krivoe – 17:1, in Lake Srednee 3:1. At the same time, from 5 to 18% of individuals were not determined by ploidy, their largest number was noted in the sample from Lake Srednee. When comparing the area of erythrocyte nuclei in silver and gold crucian from the lake. The average overlap zone was found at the level of 45–54 μm², which suggests natural hybridization of the populations of these species.

Keywords: cytogenetic structure of populations; *Carassius gibelio*; *Carassius carassius*; the Tura river basin.

About the authors: Maria I. Bitner, SPIN-code 5062-9728, State Agrarian University of the Northern Urals, Tyumen, Russia, m.i.sid@yandex.ru; Natalia V. Smolina, SPIN-code 3216-4590, Candidate of Biological Sciences, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia, natan11@mail.ru

Битнер М.И., Смолина Н.В. Некоторые цитогенетические особенности популяций *Carassius gibelio* и *Carassius carassius*, обитающих в гидрологически разнотипных водоемах бассейна реки Тура // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 47–57. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/04>

Bitner, M.I., & Smolina, N.V. (2023). Some Cytogenetic Features of *Carassius gibelio* and *Carassius carassius*, Populations Living in Hydrologically Diverse Reservoirs of the Tura River Basin. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 47-57. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/04>

Известно, что серебряный карась *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) из-за гиногенетического способа размножения некоторой доли самок в популяции, может иметь сложную диплоидно-триплоидную и полиплоидную генетическую структуру [5; 7; 8; 14; 15], в связи с этим он также обладает возможностью к естественной гибридизации и трансгрессии генов с другими карповыми видами, в частности, с золотым карасем *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758) [11; 12; 16–20].

В настоящее время наблюдается смещение ранее устойчивого соотношения естественных популяций серебряного карася и золотого карася в Сибири и других регионах в сторону снижения численности золотого, вероятно, в связи с расселением амурской формы серебряного карася и гибридизацией с ней. Есть сведения о распространении амурской формы серебряного карася по Обь-Иртышской речной системе вследствие искусственного зарыбления с целью повышения рыбопродуктивности водоемов Западной Сибири во второй половине XX века [3; 8]. На сегодняшний момент амурская форма серебряного карася занесена в перечень опасных инвазивных видов [9].

В действительности существует недостаток количества работ, где бы определялась ploidy серебряного карася, тип размножения, величина гибридизации у совместно обитающих видов карповых рыб. Также нехватка данных касается и относительно современного ареала серебряного карася, его численности и разнообразия возможных биотипов и путей их появления. Таким образом, общая картина разнообразия биотипов *C. gibelio*, их распределения в ареале, возможности взаимных переходов между ними и роли в экосистемах только начинает вырисовываться. Соответственно необходимо проводить исследования для адекватного представления о таксономической подразделённости карасей и изучению внутренней структуры их популяций [6; 8].

Географически все места проведения исследования располагаются в Свердловской области, Слободо-Туринском районе, вблизи села Туринская Слобода (рис. 1).

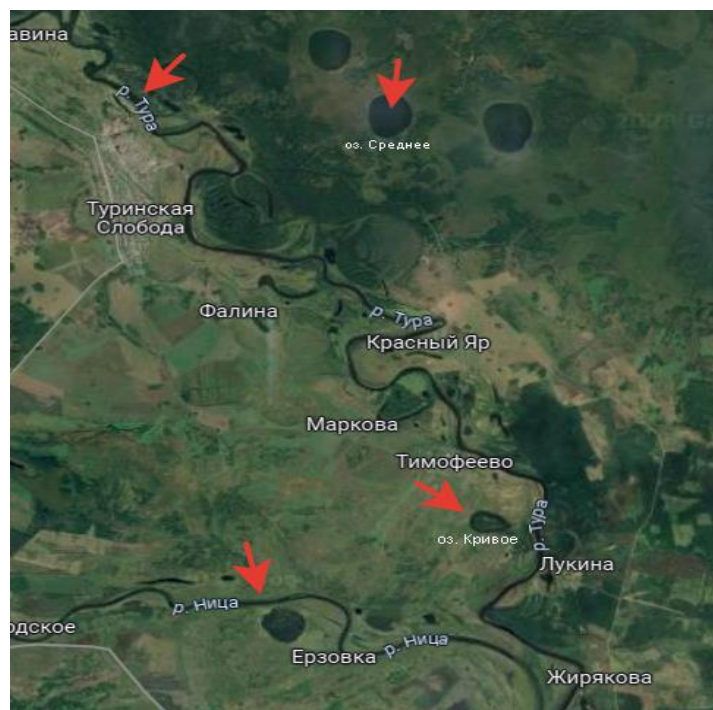


Рис. 1. Карта-схема мест расположения сбора выборок популяций серебряного карася из гидрологически различающихся водоемов бассейна р. Тура

Для проведения исследования популяций серебряного карася в бассейне реки Тура, были взяты разнотипные по гидрологии водоемы: река Тура, река Ница (левый приток р. Туры), озеро Кривое (старица р. Тура, периодически сообщающаяся с ней), озеро Среднее (обособленное, более 70 лет не соединенного с р. Тура). Географические координаты мест сбора ихтиологического материала, следующие: р. Тура – 57°65'82.1"N, 64°36'06.9"E; р. Ница – 57°51'93.6"N, 64°43'51.7"E; оз. Кривое – 57°53'87.7"N, 64°51'20.2"E оз. Среднее – 57°38'15.9"N, 64°28'50.9"E.

Река Тура. Река в Свердловской и Тюменской областях России, левый приток Тобола (бассейн Иртыша). Протекает по Туринской равнине. Длина – 1030 км, площадь бассейна – 80 400 км². Сплавная. Судоходна на 635 км от устья. Высота устья – 42 м над уровнем моря. Средний расход воды составляет – 202,7 м³/с. Как и на многих других реках региона, в водном режиме р. Туры в течение года чётко выделяются четыре фазы: высокое весеннее половодье; летне-осенняя межень (с низшим уровнем воды, как правило, с августа по октябрь); незначительные по высоте паводки во время осенних дождей; устойчивая низкая зимняя межень, продолжающаяся в среднем 140–160 дней. Зимняя межень устанавливается во второй половине ноября, а при наличии осенних дождевых паводков – в предзимний период; низший уровень воды достигается в январе-марте.

Река Ница. Река Ница образуется при слиянии рек Нейвы и Режа. Впадает в р. Тура в районе села Усть-Ницинское. Длина р. Ницы составляет 262 км, площадь бассейна равна 22 300 км². Течёт по Западно-Сибирской равнине. Питание реки смешанное, с преобладанием снегового. Замерзает в конце октября – начале ноября, вскрывается в конце апреля. Несудоходна. Ница протекает в пределах Свердловской области, по землям Алапаевского и Ирбитского, Байкаловского и Слободо-Туринского районов.

Озеро Кривое. В гидрологическом отношении это озеро-старица, приуроченное к водосбору реки Туры расположенное в Слободо-Туринском районе Свердловской области. Практически ежегодно сообщается с речной системой в период весенних паводков. В зимний период озеро заморное, в нем постоянно обитают только *C. gibelio*, *Rhynchocypris percunurus* (Pallas, 1814), *Perccottus glenii* (Dybowski, 1877). В период весенне-летнего половодья в озеро на нагул могут заходить *Esox lucius* (Linnaeus, 1758), *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758). Площадь водного зеркала старицы около 3733,5 га, преобладающая глубина – 1,5–2 м, максимальная глубина 3,8 м. Берега, обильно поросшие высшей водной растительностью. Грунт песчано-илистый.

Озеро Среднее. Небольшой таежный водоем округлой формы, расположенный на территории Свердловской области в Слободо-Туринском районе на расстоянии 5,5 км от села Туринская Слобода. Озеро заболочено с запада и со всех сторон окружено смешанным лесом. Общая площадь водного зеркала составляет 1,07 км². Глубина водной толщи до донных отложений – 1,25 м. Водоем эвтрофный, заморного типа. Ихтиофауна данного водоема представлена следующими видами: *C. gibelio* и *C. carassius*, *R. percunurus*, *P. glenii*, *P. fluviatilis*. В период проведения исследований наблюдалась эвтрофикация по всей площади озера. Особенно массово отмечены следующие виды высших водных растений: *Typha latifolia* L., *Nuphar lutea* (L.) Sm., *Lemna minor* L., *Potamogeton natans* L. Также в период исследований в воде зафиксировано интенсивное размножение сине-зеленой водоросли *Aphanizomenon flos-aquae* L. в монокультуре.

Объектом исследования послужили четыре популяции *C. gibelio* из двух рек и двух озёр и одна популяция *C. carassius*, совместно обитающая с серебряным карасём в оз. Среднем. Вылов, преимущественно, осуществлялся закидным неводом длиной 50 м. Исследование популяций из выбранных водных объектов проведено впервые.

Проведен полный биологический анализ всех выборок, определены размеры особей, половая и возрастная структура популяций [13].

Для измерения площади ядер эритроцитов (ПЯЭ) у особей в живом состоянии отбирался образец артериальной крови с дальнейшей фиксацией и окраской ядер эритроцитов с помощью фиксатора-красителя, который представляет собой 0,3% раствор сухого красителя эозин метиленовый синий по Май-Грюнвальду в метаноле.

Цитогенетический анализ проведен микроскопическим способом, цитологические измерения ядер эритроцитов выполнены в лицензионной версии программы Levenhuk Lite. Площадь ядра эритроцита определяли по формуле площади эллипса с учетом измерений длины и ширины эритроцита [1]. Для статистической достоверности определения ПЯЭ число измеренных эритроцитов у каждой особи составило 20 случайных экземпляров [10].

Распределение особей на диплоидов и триплоидов с учетом ПЯЭ осуществлено на основании сведений о генетически определённых размерах ПЯЭ диплоидов и триплоидов [1; 8]. По материалам Н.Б. Черфас [8], ПЯЭ диплоидов составляла 50,2 мкм², а у триплоидов – 71,6 мкм², по данным М.И. Абраменко с соавторами [1; 2], ПЯЭ диплоидов составило 51,0 ± 11,0 мкм², у триплоидов 79,4 ± 12,3 мкм². Поэтому при проведении цитогенетического анализа

в группу диплоидов были включены особи, у которых средняя величина ПЯЭ была менее 62,0 мкм², а к триплоидам отнесли особей с размерами ПЯЭ более 67,1 мкм² [15]. Статистический анализ проведен с использованием пакета программ Microsoft Excel-2010 с учетом общепринятых рекомендаций [10].

Размерная, половая и возрастная характеристики исследованных выборок из популяций серебряного и золотого карасей Слободо-Туринского района бассейна реки Тура представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Размерная, половая и возрастная характеристика выборок
серебряного и золотого карасей бассейна реки Тура**

Водный объект, год сбора	Вид	Длина промысловая, см			Пол, экз.		Модальная возрастная группа, год	Количество, экз.
		min	max	M±m	самки	самцы		
р. Тура, 2019 г.	<i>Carassius gibelio</i>	10,5	23,7	18,5±0,4	37	13	6+	50
р. Ница, 2019 г.	<i>Carassius gibelio</i>	16,2	25,2	20,4±0,2	43	57	6+	100
оз. Кривое, 2016 г.	<i>Carassius gibelio</i>	12,4	22,5	16,8±0,1	77	23	4+	100
оз. Среднее, 2018 г.	<i>Carassius gibelio</i>	8,2	15,4	11,6±0,1	83	17	4+	100
	<i>Carassius carassius</i>	10,1	15,2	12,5±0,1	48	52	6+	100

Промысловая длина рыб во всех выборках варьировала от 8,2 до 25,2 см. Наиболее крупные особи по длине и по массе пойманы в р. Ница, где средний показатель промысловой длины составил 20,4±0,1 см. Наиболее мелкие особи серебряного карася, длина которых в среднем составила 11,6±0,1 см, обитают в оз. Среднее.

Соотношение самок и самцов в популяциях серебряного карася следующее: в р. Тура – 3:1, в р. Ница – 1:1, в оз. Кривом – 3:1, в оз. Среднем – 5:1.

Также в Среднем озере при симпатическом обитании двух видов карасей (серебряного и золотого) не наблюдается существенного доминирования одного из видов ни по размерам, ни по численности. Соотношение самок и самцов золотого карася в оз. Среднем составило 1:1, что соответствует классическому описанию диплоидной двуполой популяции [17–20].

Модальной возрастной группой исследованных особей серебряного карася в озерах Кривом и Среднем были пятилетки (4+). В реках Тура и Ница основу уловов составляли семилетки. Популяция золотого карася из оз. Среднее была также представлена преимущественно семилетками.

Цитогенетическая структура и половой состав популяций серебряного карася, обитающих в разнотипных водоемах бассейна реки Тура, представлен в таблице 2.

Таблица 2

Цитогенетическая структура с учётом половых групп в популяциях серебряного карася, обитающих в разнотипных водных объектах бассейна реки Тура

Водоем, год сбора	Доля особей в выборке, %					
	диплоиды, ПЯЭ до 62,0 мкм ²		неизвестные, ПЯЭ от 62,0 до 67,1 мкм ²		триплоиды, ПЯЭ свыше 67,1 мкм ²	
	самки	самцы	самки	самцы	самки	самцы
р. Тура, 2019 г.	30,0	26,0	14,0	0,0	28,0	2,0
р. Ница, 2019 г.	35,0	56,0	4,0	1,0	4,0	0,0
оз. Кривое, 2016 г.	65,0	21,0	7,0	2,0	5,0	0,0
оз. Среднее, 2018 г.	48,0	14,0	17,0	1,0	18,0	2,0

В двух из четырех исследованных водоемов (р. Тура и оз. Среднее) были обнаружены триплоидные самцы, что подтверждает правильность примененного метода определения ploidy особей [6; 14; 15].

Во всех исследованных водоемах доминирует диплоидная форма серебряного карася. Наибольшее количество триплоидных особей было обнаружено в оз. Среднее – 20 экз. Также высокая доля (15 экз. или 30%) триплоидов определена в популяции серебряного карася из реки Туры. В реке Ница и озеро Кривое доля триплоидов не превысила 5% от общего числа выборки.

Общее распределение по площади ядер эритроцитов диплоидных и триплоидных форм в исследованных популяциях серебряного карася из водоемов бассейна реки Тура представлено на рисунке 2.

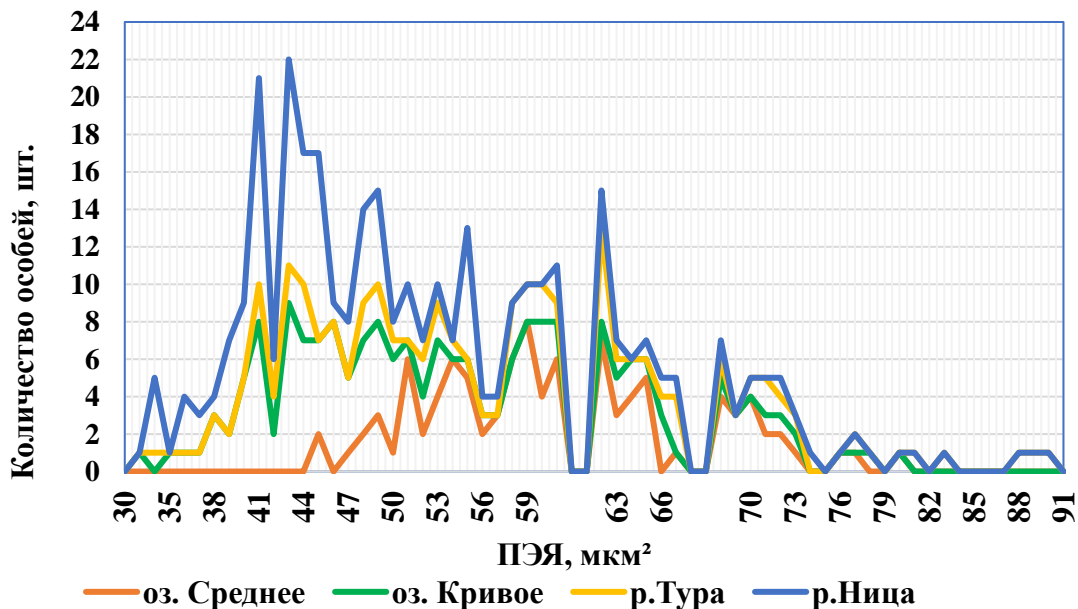


Рис. 2. Распределение исследованных особей серебряного карася по площади ядер эритроцитов в популяциях бассейна реки Тура

Из полученных данных видно, что выборки серебряного карася имеют диплоидную (ПЯЭ от 30 до 62 мкм²) и триплоидную (ПЯЭ свыше 67,1 мкм²) форму в соотношениях: р. Тура – 2:1, р. Ница – 19:1, оз. Кривое – 17:1, оз. Среднее 3:1.

Также в область неопределенности ПЯЭ (от 62,0 мкм² до 67,1 мкм²) в популяциях серебряного карася попали особи из каждого исследуемого водоема. Наибольшее число неопределенных особей оказалось в выборке из оз. Среднее – 18 экземпляров.

Сравнение цитологических характеристик популяций серебряного и золотого карасей, совместно обитающих в оз. Среднем, представлены в виде графика на рисунке 3.

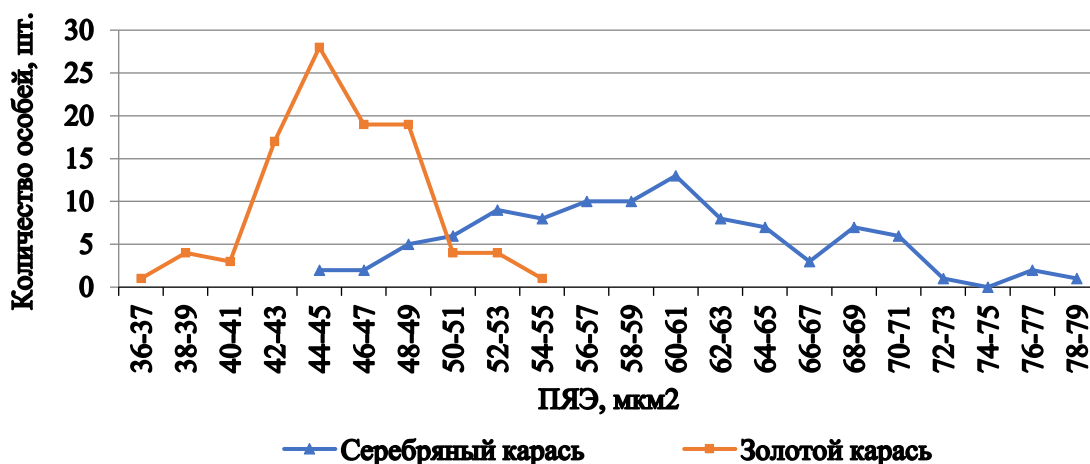


Рис. 3. Распределение исследованных особей по площади ядер эритроцитов в популяциях серебряного и золотого карасей, совместно обитающих в оз. Среднем

При цитологическом исследовании в популяции серебряного карася оз. Среднее выявлены диплоиды (62 особи) и триплоиды (20 особей), ПЯЭ которых варьировали у диплоидов в диапазоне от 44,60 до 62,85 мкм², а у триплоидов – от 63,24 до 79,75 мкм².

Размеры ядер эритроцитов у золотого карася варьировали от 36,92 до 54,04 мкм². В области пересечения с серебряным карасем попадают 72 особи с диапазоном ядер 45–54 мкм². При этом максимальные показатели ПЯЭ свыше 50 мкм³, характерные для генетически определённых диплоидов серебряного карася, имели 5 самцов. Возможно, это гибриды, так как существуют данные, что самцы карповых видов быстрее вступают в гибридизацию, чем самки [1; 5; 6]. Исходя из этого, можно предположить наличие естественной гибридизации между популяциями золотого и серебряного карасей, совместно обитающих в оз. Среднем Слободо-Туринского района Свердловской области.

Во всех исследованных водных объектах доминирует диплоидная форма серебряного карася. В реке Ница и озере Кривое доля триплоидов не превысила 5% от выборки. Среднее количество триплоидных особей было обнаружено в оз. Среднее – 20 экз. Максимальная доля триплоидов (30%) определена в популяции серебряного карася из реки Туры. Половая структура и генетическая не имеют соответствия между собой. Соотношение диплоидной и триплоидной форм следующее: р. Тура – 2:1, р. Ница – 19:1, оз. Кривое – 17:1, оз. Среднее 3:1. При этом не определены по плоидности от 5 до 18 % исследованных особей серебряного карася из-за попадания средних размеров ПЯЭ в область неопределенности (от 62,0 мкм² до 67,1 мкм²). Наибольшее число неопределенных особей оказалось в выборке из оз. Среднее. При сравнении ПЯЭ у серебряного и золотого карасей из оз. Среднее выявлена большая зона

перекрытия на уровне 45–54 мкм², в нее попали 27 экз. серебряного и 72 экз. золотого карасей, в зоне свыше 50 мкм², характерной для ПЯЭ генетически определённых диплоидов серебряного карася, все пять особей золотого карася являются самцами. Всё это позволяет предположить возможность естественной гибридизации популяций двух видов рода *Carassius* в оз. Среднее.

Авторы выражают благодарность Сидорову Ивану Валентиновичу – за технологическую помощь при отборе биологического материала во время проведения полевого этапа исследований.

Литература

1. Абраменко М.И. Дифференциальная избирательность самцов серебряного карася *Carassius auratus gibelio* при брачном ухаживании за самками бисексуальной и гиногенетической форм // Первый конгресс ихтиологов России. М.: ВНИРО, 1997. 185 с.
2. Абраменко М.И. Адаптивные механизмы распространения и динамики численности *Carassius auratus gibelio* в Понто-Каспийском регионе (на примере Азовского бассейна) // Российский журнал биологических инвазий. 2011. №2. С. 3–27.
3. Абраменко М.И., Недвига И.В. Ретроспективный анализ причин и последствий вспышки численности серебряного карася *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) в Цимлянском водохранилище // Цимлянское водохранилище: состояние водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути решения. 2011. С. 46–61.
4. Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. М.: Наука, 1998. 220 с.
5. Васильева Е.Д. О морфологической дивергенции гиногенетической и бисексуальной форм серебряного карася *Carassius auratus* (Cyprinidae, Pisces) // Зоологический журнал. 1990. №11. С. 97–110.
6. Вехов Д.А. Некоторые проблемные вопросы биологии серебряного карася *Carassius auratus s.lato* // Научно-технический бюллетень лаборатории ихтиологии ИНЭНКО. 2013. №19. С. 5–38.
7. Головинская К.А., Ромашов Д.Д., Черфас Н.Б. Однополые и двуполые формы серебряного карася (*Carassius auratus gibelio* (Bloch)) // Вопросы ихтиологии. 1965. Т. 5. №4. С. 614–629.
8. Горюнова А.И., Исбеков К.Б., Асылбекова С.Ж., Данько Е.К. О карасях периодически высыхающих степных озёр Северного Казахстана в свете современных отечественных и зарубежных исследований // Промысловые виды и их биология. Труды ВНИРО. 2017. Т. 165. С. 27–44.
9. Дгебуадзе Ю.Ю., Петросян В.Г., Хляп Л.А. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). М.: Товарищество научных изданий КМК. 2018. 688 с.
10. Лакин Г.Ф. Биометрия. М: Высшая школа, 1990. 352 с.
11. Павлов Д.А. Жизненный цикл двух видов рода *Carassius* (Cyprinidae) в условиях симпатрии // Вопросы ихтиологии. 2022. Т. 62. №6. С. 721–736.

12. Поспелова Е.С., Смолина Н.В. Ихтиофауна и промысел в Тюменской области (юг) // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сб. мат-лов LV студ. научн.-практ. конф. Тюмень. 2021. С. 626–632.

13. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. Изд. 4-е доп. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

14. Межжерин С.В., Лисецкий И.Л. Генетическая структура популяций карасей (Cypriniformes, Cyprinidae, *Carassius* L., 1758), населяющих водоёмы Среднеднепровского бассейна // Цитология и генетика. 2004. №5. С. 35–44.

15. Янкова Н.В. Эколого-морфологические особенности диплоидно-триплоидных комплексов серебряного карася *Carassius auratus gibelio* (Bloch) на примере озер междуречья Тобол-Тавда: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень. 2006. 22 с.

16. Knytl, M., Kalous, L., Symonová, R., Rylková, K., Ráb, P. Chromosome studies of European cyprinid fishes: cross-species painting reveals natural allotetraploid origin of *Carassius* female with 206 chromosomes. *Cytogenetic and Genome Research*. 2013. Vol. 139. P. 276–283.

17. Hänfling, B., Bolton, P., Harley, M., Carvalho G.R. A molecular approach to detect hybridisation between crucian carp (*Carassius carassius*) and non-indigenous carp species (*Carassius* spp. and *Cyprinus carpio*) // *Freshwater Biology*. 2005. Vol. 50. P. 403–417.

18. Haynes G.D., Gongora J., Gilligan D.M., et al. Cryptic hybridization and introgression between invasive Cyprinid species *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus* in Australia: implications for invasive species management // *Animal Conservation*. 2012. Vol. 15. P. 83–94.

19. Papošek I., Vetesnik L., Halacka K., et al. Identification of natural hybrids of gibel carp *Carassius auratus gibelio* (Bloch) and crucian carp *Carassius carassius* (L.) from lower Dyje River floodplain (Czech Republic) // *Journal of Fish Biology*. 2008. Vol. 72. P. 1230–1235.

20. Wouters J., Janson S., Lusková V., Olsén K.H. Molecular identification of hybrids of the invasive gibel carp *Carassius auratus gibelio* and crucian carp *Carassius carassius* in Swedish waters // *Journal of Fish Biology*. 2012. Vol. 80. № 7. P. 2595–2604.

References

1. Abramenko, M.I. 1997. Differencial'naya izbiratel'nost' samczov serebryanogo karasya *Carassius auratus gibelio* pri brachnom uxazhivanii za samkami biseksual'noj i ginogeneticheskoj form // Pervyj kongress ixtiologov Rossii. M.: VNIRO, 185 s. (in Russ.).

2. Abramenko, M.I. (2011). Adaptivny'e mexanizmy` rasprostraneniya i dinamiki chislenosti *Carassius auratus gibelio* v Ponto-Kaspijskom regione (na primere Azovskogo bassejna). *Rossijskij zhurnal biologicheskix invazij*, 2, 3-27. (in Russ.).

3. Abramenko, M.I., & Nedviga, I.V. (2011). Retrospektivny`j analiz prichin i posledstvij vspy`shki chislenosti serebryanogo karasya *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) v Cimlyanskom vodoxranilishhe. *Cimlyanskoe vodoxranilishhe: sostoyanie vodny`x i pribrezhny`x e`kosistem, problemy` i puti resheniya*, 46-61. (in Russ.).

4. Annotirovanny`j katalog krugloroty`x i ry`b kontinental`ny`x vod Rossii. M.: Nauka, 1998. 220 s. (in Russ.).

5. Vasil`eva, E.D. (1990). O morfologicheskoy divergencii ginogeneticheskoy i biseksual`noj form serebryanogo karasya *Carassius auratus* (Cyprinidae, Pisces). *Zoologicheskij zhurnal*, 11, 97-110. (in Russ.).
6. Vexov, D.A. (2013). Nekotory`e problemny`e voprosy` biologii serebryanogo karasya *Sarassius auratus* s.lato. *Nauchno-texnicheskij byulleten` laboratorii ixtiologii INE`NKO*, 19, 5-38. (in Russ.).
7. Golovinskaya, K.A., Romashov, D.D., & Cherfas, N.B. (1965). Odnopoly`e i dvupoly`e formy` serebryanogo karasya (*Carassius auratus gibelio* (Bloch)). *Voprosy` ixtiologii*, 5(4), 614-629. (in Russ.).
8. Goryunova, A.I., Isbekov, K.B., Asy`lbekova, S.Zh., & Dan`ko, E.K. (2017). O karasyax periodicheski vy`sy`xayushhix stepny`x ozyor Severnogo Kazaxstana v svete sovremenny`x otechestvenny`x i zarubezhny`x issledovaniy. *Promy`slovy`e vidy` i ix biologiya*, Trudy` VNIRO, 165, 27-44. (in Russ.).
9. Dgebuadze, Yu.Yu., Petrosyan, V.G., & Xlyap L.A. (2018). Samy`e opasny`e invazionny`e vidy` Rossii (TOP-100). M.: Tovarishestvo nauchny`x izdaniy KMK, 688 s. (in Russ.).
10. Lakin, G.F. (1990). Biometriya. M: Vy`sshaya shkola, 352 s. (in Russ.).
11. Pavlov, D.A. (2022). Zhiznenny`j cikl dvux vidov roda *Carassius* (Cyprinidae) v usloviyax simpatrii. *Voprosy` ixtiologii*, 62(6), 721-736. (in Russ.).
12. Pospelova, E.S., & Smolina, N.V. (2021). Ixtiofauna i promy`sel v Tyumenskoj oblasti (yug). *Aktual`ny`e voprosy` nauki i xozyajstva: novy`e vy`zovy` i resheniya*. Sb. mat-lov LV stud. nauchn.-prakt. konf. Tyumen`, 626-632. (in Russ.).
13. Pravdin, I.F. (1966). Rukovodstvo po izucheniyu ry`b. Izd. 4-e dop. M.: Pishhevaya promy`shlennost`, 376 s. (in Russ.).
14. Mezhdzherin, S.V., & Liseczkij, I.L. (2004). Geneticheskaya struktura populyacij karasej (Cypriniformes, Cyprinidae, *Carassius* L., 1758), naselyayushhix vodoyomy` Srednedneprovskogo bassejna. *Citologiya i genetika*, 5, 35-44. (in Russ.).
15. Yankova, N.V. (2006). E`kologo-morfologicheskie osobennosti diploidno-triploidny`x kompleksov serebryanogo karasya *Carassius auratus gibelio* (Bloch) na primere ozer mezhdurech`ya Tobol-Tavda: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Tyumen`. 22 s. (in Russ.).
16. Knytl, M., Kalous, L., Symonová, R., Rylková, K., & Ráb, P. (2013). Chromosome studies of European cyprinid fishes: cross-species painting reveals natural allotetraploid origin of *Carassius* female with 206 chromosomes. *Cytogenetic and Genome Research*, 139, 276-283.
17. Hänfling, B., Bolton, P., Harley, M., & Carvalho G.R. (2005). A molecular approach to detect hybridisation between crucian carp (*Carassius carassius*) and non-indigenous carp species (*Carassius spp.* and *Cyprinus carpio*). *Freshwater Biology*, 50, 403-417.
18. Haynes G.D., Gongora J., & Gilligan D.M., et al. (2012). Cryptic hybridization and introgression between invasive Cyprinid species *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus* in Australia: implications for invasive species management. *Animal Conservation*, 15, 83-94.

19. Papošek I., Vetesnik L., & Halacka K., et al. (2008). Identification of natural hybrids of gibel carp *Carassius auratus gibelio* (Bloch) and crucian carp *Carassius carassius* (L.) from lower Dyje River floodplain (Czech Republic). *Journal of Fish Biology*, 72, 1230-1235.

20. Wouters J., Janson S., Lusková V., Olsén K.H. (2012). Molecular identification of hybrids of the invasive gibel carp *Carassius auratus gibelio* and crucian carp *Carassius carassius* in Swedish waters. *Journal of Fish Biology*, 80(7), 2595-2604.

Дата поступления: 31.05.2023

Дата принятия: 06.09.2023

© Битнер М.И., Смолина Н.В., 2023

УДК 595.766.12(571.122)

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/05>

Емцев А.А., Берников К.А., Наконечный Н.В.

**ОБЫКНОВЕННЫЙ СВЕТЛЯК *LAMPYRIS NOCTILUCA* (COLEOPTERA, LAMPYRIDAE)
В ХАНТЫ-МАНСИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРЕ**

А.А. Emtsev, К.А. Bernikov, N.V. Nakonechnyi

**COMMON GLOW-WORM *LAMPYRIS NOCTILUCA* (COLEOPTERA, LAMPYRIDAE)
IN THE KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG – UGRA**

Аннотация. Распространение обыкновенного светляка *Lampyrus noctiluca* (Linnaeus, 1767) в Западной Сибири изучено слабо. В сообщении приводятся данные о находках вида в центральной части этой территории – Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Все известные нам регистрации жуков были произведены в западной части округа (Советский и Кондинский районы) – в заповеднике «Малая Сосьва», окрестностях г. Советский, пос. Ягодный, пос. Лиственничный, пос. Междуреченский (опросные сведения) и д. Старый Катыш. Скорее всего, в обозначенной области располагается окраинная часть ареала обыкновенного светляка с северной границей в районе заповедника «Малая Сосьва». Отсутствие вида на значительном пространстве восточнее, вероятно, связано с сильной заболоченностью региона в этой части. Севернее, помимо биотопической составляющей, ограничивающее действие могут оказывать и другие неблагоприятные факторы окружающей среды: элементы погоды и освещенность. В местах обитания насекомых не исключено лимитирующее влияние со стороны хозяйственной деятельности человека. Как редкий, малоизученный и спорадически распространенный представитель, обыкновенный светляк может быть включен в региональную Красную книгу.

Ключевые слова: *Lampyrus noctiluca*; распространение; возможные лимитирующие факторы; охрана; центральная часть Западной Сибири.

Сведения об авторах: Емцев Александр Александрович, ORCID: 0000-0002-1496-0171, SPIN-код: 7450-1370, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, alemts@mail.ru; Берников Кирилл Александрович, ORCID: 0000-0002-0796-8677, SPIN-код: 3875-9140, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, bernikov_kirill@mail.ru; Наконечный Николай Владимирович, ORCID: 0000-0003-4437-5667, SPIN-код: 3000-8384, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, yud@list.ru

Abstract. The distribution of common glow-worm *Lampyrus noctiluca* (Linnaeus, 1767) in Western Siberia is not thoroughly studied. The report presents the data on findings of this species in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra. All registrations of beetles known to us were made in the western part of the okrug (Sovetskiy and Kondinskiy districts) in Malaya Sosva Nature Reserve in the area of the city of Sovetskiy, the villages of Yagodnyy, Listvenichnyy, Mezhdurechenskiy (survey data) and Staryy Katysh. Most likely, the outermost part of the area of common glow-worm with the northern border near Malaya Sosva Nature Reserve is located in the denoted region. The explored species absent on the significant area to the east probably due to the severe bogging of the region in this part. To the north, in addition to the biotopic component, other unfavorable environmental factors may have a limiting effect: weather elements and illumination. Limitative influence of human economic activity is not excluded in the habitats of insects. As a rare, not thoroughly explored and sporadically distributed species, common glow-worm can be included in the regional Red Data Book.

Keywords: *Lampyrus noctiluca*; distribution; possible limiting factors; conservation; central Western Siberia.

About the authors: Alexander A. Emtsev, ORCID: 0000-0002-1496-0171, SPIN-code: 7450-1370, Candidate of Biological Sciences, Surgut State University, Surgut, Russia, alemts@mail.ru; Kirill A. Bernikov, ORCID: 0000-0002-0796-8677, SPIN-code: 3875-9140, Candidate of Biological Sciences, Surgut State University, Surgut, Russia, bernikov_kirill@mail.ru; Nikolai V. Nakonechnyi, ORCID: 0000-0003-4437-5667, SPIN-code: 3000-8384, Candidate of Biological Sciences, Surgut State University, Surgut, Russia, yud@list.ru

Емцев А.А., Берников К.А., Наконечный Н.В. Обыкновенный светляк *Lampyris noctiluca* (Coleoptera, Lampyridae) в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 58–68. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/05>

Emtsev, A.A., Bernikov, K.A., & Nakonechnyi, N.V. (2023). Common Glow-Worm *Lampyris noctiluca* (Coleoptera, Lampyridae) in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 3(63), 58-68. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/05>

Среди всех представителей семейства *Lampyridae* Latreille, 1817, обитающих на территории России, наиболее широкое распространение имеет обыкновенный светляк *Lampyris noctiluca* (Linnaeus, 1767) [4; 5]. В Евразии ареал этого вида простирается от 31° с.ш. в центральном Иране [26] до 65° с.ш. в центральной Финляндии (<https://clck.ru/35hmAy>) и от самых западных оконечностей материка в Испании [22] и, возможно, Португалии [21] до 136° в.д. на юге Хабаровского края [17]. Для многих регионов его пространственное распределение требует уточнений. Не является исключением и Западная Сибирь.

О распространении обыкновенного светляка на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-Югры) до недавнего времени известно не было. Обозначенные места ближайших находок вида по зоологическим сборам относились к Тюменской области (без учета автономных округов) [4].

В настоящем сообщении мы представляем все имеющиеся у нас данные о встречах обыкновенного светляка в ХМАО-Югре с обсуждением вопросов его статуса и возможной охраны. Специальные исследования, посвященные этому представителю, на рассматриваемой территории не проводились. Весь материал получен попутно при выполнении иных зоологических исследований, а также в ходе целенаправленных опросов местных жителей.

Места обнаружения в ХМАО-Югре. Кондинский район. Впервые 1 экземпляр обыкновенного светляка зарегистрирован нами 9 сентября 2006 г. в низкорослом увлажненном елово-березовом зеленомошном лесу (59° 44,183' с.ш., 65° 40,183' в.д.) окрестностей пос. Листвничный (рис. 1 – точка 4). Также 1 экземпляр зарегистрирован 12 июля 2008 г. в 41,4 км западнее [3] – в суходольном разнотравном лугу (59° 46,183' с.ш., 64° 56,183' в.д.) окрестностей пос. Ягодный (рис. 1 – точка 3). Жуки были пойманы в ходах обыкновенного крота *Talpa europaea* Linnaeus, 1758 посредством использования пластиковых 2,5-литровых тар (цилиндров), установленных таким образом, чтобы обеспечивалось беспрепятственное попадание в них животных, населяющих кротовые ходы, и исключалась возможность проникновения почвенной фауны. В 2006 г. отработано 52 цилиндра-суток (с 31 августа по 9 сентября), в 2008 г. – 287 цилиндра-суток (июнь и июль).

С 7 по 20 июля 2022 г. мы работали в низовьях р. Кума – в 9 км к западу от д. Старый Катыш (рис. 1 – точка 6). На злаковом антропогенном лугу (59° 29,400' с.ш., 66° 42,000' в.д.) (рис. 2b) размером порядка 50×50 м, примыкающем к левому берегу реки и окруженном осиново-березовым лесом, в ночь на 12 июля зарегистрировали 3 самки. Одно насекомое (рис. 2a) сидело на поверхности почвы, обнажившейся в результате перекопки человеком небольшого приграничного участка, второе насекомое находилось на деревянном настиле,

третье – на ветке молодого куста смородины. Попытки отыскать других жуков в следующие дни результатов не дали. Респондент О.Г. Мурашина, побывавшая здесь 12 июня 2021 г., сообщила о наблюдении в ночное время нескольких обыкновенных светляков, очевидно, самок. О.А. Мурашин из беседы с жителями пос. Междуреченский узнал о находках вида в ближайших окрестностях этого населенного пункта (рис. 1 – точка 5).

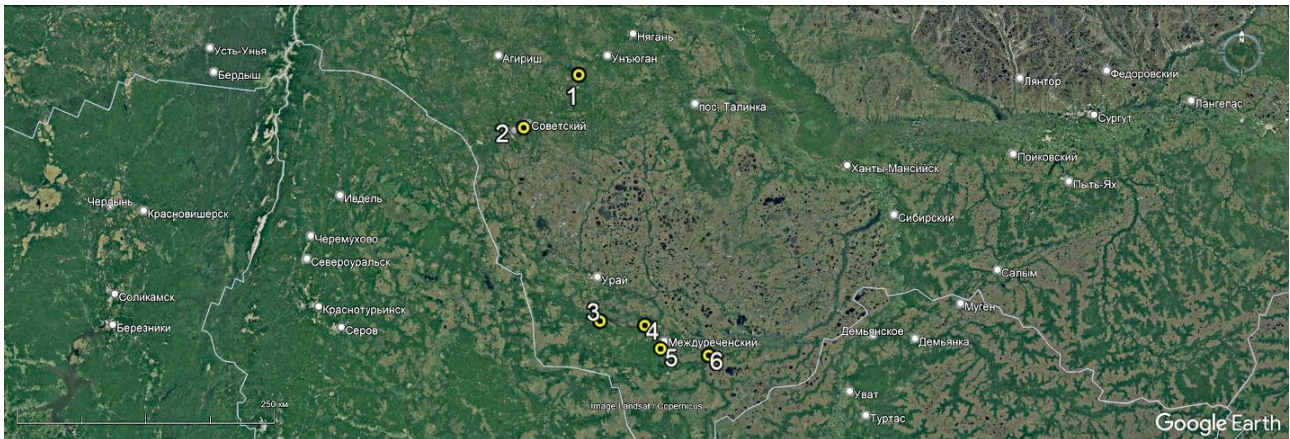


Рис. 1. Находки обыкновенного светляка в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Обозначения: 1 – стационар «Белая Гора» заповедника «Малая Сосьва»; 2 – г. Советский; 3 – окрестности пос. Ягодный; 4 – окрестности пос. Лиственничный; 5 – окрестности пос. Междуреченский (опросные сведения); 6 – низовья р. Кума (окрестности д. Старый Катыш)



Рис. 2. Обыкновенный светляк (а) на антропогенном лугу (b) в низовьях р. Кума (фото А.А. Емцева)

Советский район. По данным А.Р. Артющенко (<https://clck.ru/35hkPA>; личное сообщение), на территории производственной базы «Совэнерго» (АО «ЮТЭК-Совэнерго») ($61^{\circ} 20,787'$ с.ш., $63^{\circ} 35,267'$ в.д.) у южной окраины г. Советский (рис. 1 – точка 2) на участке с иван-чаем узколистным *Chamerion angustifolium* (L.) Holub площадью примерно 20×20 м

недалеко от соснового леса 15 июня 2021 г. наблюдались 5-6 самок. Как заметил Антон Романович, в окрестностях города обыкновенные светляки встречаются нечасто. Обычно их можно видеть в иван-чайных открытых местообитаниях, зачастую осыпанных песком (по лесным дорогам и в других техногенно трансформированных местах). В детстве Антон Романович обнаружил светляков в районе стационара «Белая Гора» государственного природного заповедника «Малая Сосьва» имени В.В. Раевского в 70 км северо-восточнее Советского (рис. 1 – точка 1). Примерные координаты находки – 61° 47,560' с.ш., 64° 31,010' в.д.

Таким образом, на современном этапе эколого-фаунистических исследований наиболее северной оконечностью ареала вида в Западной Сибири и ХМАО-Югре можно считать южную окраину заповедника «Малая Сосьва».

Распространению обыкновенных светляков восточнее обозначенных точек, возможно, препятствует крайне высокая заболоченность региона, в этой области достигающая местами 70% [2]. Интересно, что в государственном природном заповеднике «Юганский», расположенном на юго-востоке округа, за весь период зоологических исследований светляки не зафиксированы (Т.С. Переясловец – личное сообщение).

Помимо биотопической составляющей, пространственное распределение жуков может определяться другими физическими условиями окружающей среды. Так, одним из основных факторов, воздействующих на насекомых, является температура. Пороги развития обыкновенных светляков из наиболее северных популяций помогут установить будущие исследования. Косвенно о температурных пределах, обеспечивающих их выживаемость в высоких широтах, можно судить по погодным или климатическим характеристикам в известных местах обитания. Например, среднемесячные температуры воздуха июня и июля на крайних участках ареала в центральной Финляндии (<https://clck.ru/35hmAy>), центральной части Западной Сибири (А.Р. Артющенко – личное сообщение) и северной части Амурской области [17] за 5-летний период составляли соответственно 12,1 °С и 17,0 °С, 14,7 °С и 16,5 °С, 18,0 °С и 20,3 °С, а минимальные среднемесячные температуры воздуха в зимний период – -8,7 °С, -19,9 °С и -23,8 °С (рис. 3а). В зависимости от фенологии года и широтно-долготных особенностей местности, снежный покров устанавливался здесь с октября по декабрь, наибольшей его высотой в зимнее время отличался заповедник «Малая Сосьва» (рис. 3б).

Можно предположить некоторое негативное влияние на световую коммуникацию обыкновенных светляков медленно наступающих и коротких светлых ночей, ограничивающих их распространение в северных широтах. Тем не менее, как показали исследования, насекомые адаптируются к таким неблагоприятным световым факторам [19]. Время восхода и захода солнца, продолжительность гражданских сумерек для трех ранее выделенных участков представлены на рисунке 4. Очевидно, что самыми сложными условиями в указанном контексте характеризуются находящиеся севернее остальных окрестности д. Хартаанселькя (Hartaanselkä) в центральной части Финляндии.

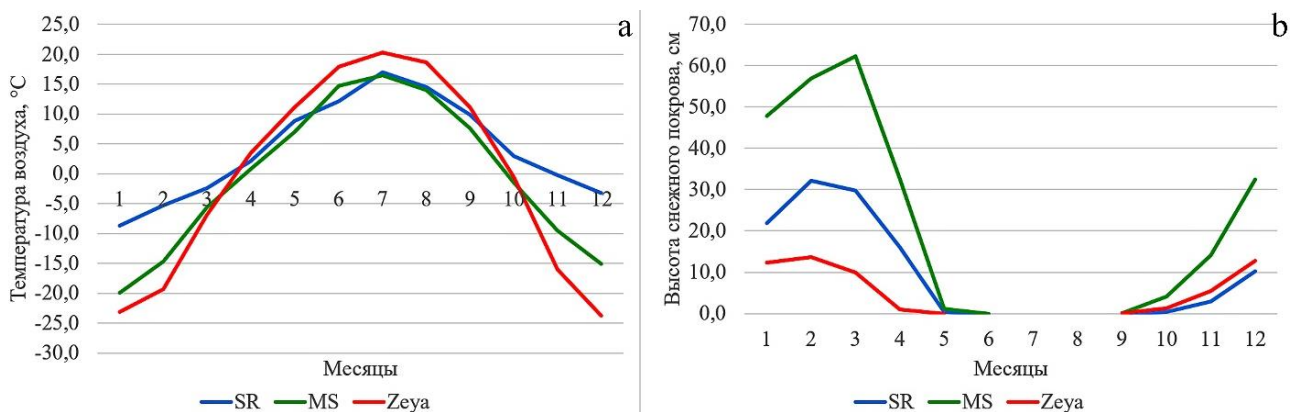


Рис. 3. Среднемесячные температура воздуха (а) и высота снежного покрова (б) за 5-летний период в районах северной границы распространения обыкновенного светляка. Обозначения: SR – метеостанция «Siikajoki Ruukki», центральная Финляндия, с 1 января 2014 г. по 31 декабря 2018 г. (<https://clck.ru/35hm6P>); MS – заповедник «Малая Сосьва», западная часть ХМАО – Югры, с 1 ноября 2013 г. по 31 октября 2018 г. [9-13]; Zeya – метеостанция «Зей», северная часть Амурской области, с 1 января 2014 г. по 31 декабря 2018 г. (<https://rp5.ru>)

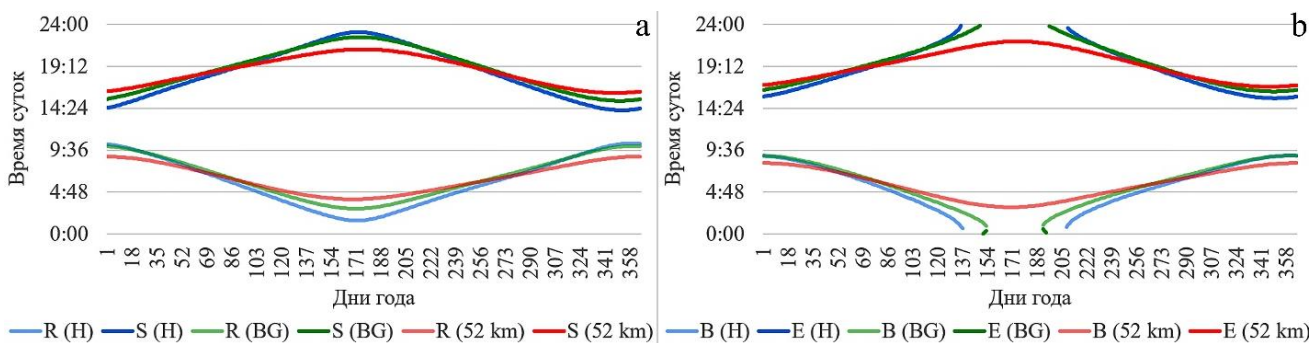


Рис. 4. Время восхода и захода солнца (а), продолжительность гражданских сумерек (б) на участках обнаружения обыкновенного светляка по северной границе ареала, 2022 г. (данные <https://clck.ru/35hmEo>). Обозначения: R – восход; S – заход; B – начало; E – конец; H – окрестности д. Хартаанселькя, центральная Финляндия (<https://clck.ru/35hmAy>); BG – стационар «Белая Гора» заповедника «Малая Сосьва», западная часть ХМАО – Югры (А.Р. Артюшенко – личное сообщение); 52 km – кордон «52 км» государственного природного заповедника «Зейский», северная часть Амурской области [17]

По всей видимости, в ХМАО-Югре обыкновенный светляк представляет собой спорадически распространенный и редкий вид. Ввиду этого, а также из-за слабой изученности в округе, его состояние в природной среде требует особого внимания. Уязвимость вида обусловлена спецификой биологии, в частности низкой подвижностью самок в занимаемых экотопах. В парках и пригородных лесах сокращению численности популяций могут способствовать рекреационная нагрузка и вытаптывание. Возможен сбор и перемещение жуков населением — необычные светящиеся насекомые в окрестностях населенных пунктов привлекают внимание их жителей. Кроме того, у самок обыкновенного светляка в условиях светового загрязнения, неизбежного в селитебных ландшафтах, снижается успешность размножения по причине возникающей малозаметности для самцов [18; 20; 23; 27–29]. Данное обстоятельство, очевидно, приводит к увеличению неоднородности пространственного размещения жуков. Еще один лимитирующий фактор –

разрушение мест обитания вследствие хозяйственной деятельности. Однако, в отдельных случаях преобразование природных сообществ, вероятно, обеспечивает благополучие вида. Оно связано с появлением вырубок, лугов и прочих открытых или полукрытых местообитаний, у границ которых создается экологический оптимум.

Взросшее антропогенное воздействие на природные комплексы определяет необходимость реализации программ мониторинга долгосрочных популяционных трендов некоторых таксонов светляков, в том числе *Lampyrus noctiluca*, в различных странах мира [25]. В России обыкновенный светляк внесен в несколько региональных Красных книг: Курской области [7], города Москвы [6], Челябинской области [8] и Кузбасса [16]. С целью сохранения и детального изучения популяций вида в регионе рекомендуем включить его в новое (третье) издание Красной книги ХМАО-Югры.

Сохранение обыкновенных светляков в округе будет благоприятствовать развитию экологического туризма, осуществлению соответствующих программ и проектов [14]. Светлячковый туризм имеет давнюю историю в Восточной Азии и с недавних пор приобрел глобальный характер [1; 15; 24; 25]. Несомненно, в регионе эта правильно организованная рекреационная деятельность займет немаловажное место в деле экологического просвещения.

Литература

1. Богатырева Д.С., Морозова В.В. Современное состояние и перспективы развития экологического туризма в Малайзии // Природное и историко-культурное наследие Восточной Европы как объект социально-географических исследований: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Псков, 25-26 окт. 2019 г.). Псков, 2019. С. 77–83.
2. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 448 с.
3. Зиновьев Е.В., Наконечный Н.В. Жуки норového комплекса обыкновенного крота центральной части лесной зоны Западной Сибири // Фауна Урала и Сибири: Региональный фаунистический журнал. 2017. № 2. С. 19–35.
4. Казанцев С.В. Жуки-светляки России и сопредельных территорий (Coleoptera: Lampyridae) // Русский энтомологический журнал. 2010. Т. 19, №. 3. С. 187–208.
5. Казанцев С.В. Электронный определитель жуков-краснокрылов и светлячков (Coleoptera: Lycidae, Lampyridae) европейской части России и Северного Кавказа. Вып. 1. Электронные определители по жукам европейской части России. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2021.
6. Красная книга города Москвы. 3-е изд. М.: Подольская фабрика офсетной печати, 2022. 848 с.
7. Красная книга Курской области: Редкие и исчезающие виды животных, растений и грибов. 2-ое изд. Калининград ; Курск: РОСТ-ДОАФК, 2017. 380 с.
8. Красная книга Челябинской области: Животные. Растения. Грибы. 2-ое изд. М.: «Реарт», 2017. 504 с.

9. Летопись природы. Советский: [б. и.], 2015. Кн. 38, 2014 г.: Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника и их изучение по программе Летописи природы. 185 с.
10. Летопись природы. Советский: [б. и.], 2016. Кн. 39, 2015 г.: Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника и их изучение по программе Летописи природы. 252 с.
11. Летопись природы. Советский: [б. и.], 2017. Кн. 40, 2016 г.: Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника и их изучение по программе Летописи природы. 152 с.
12. Летопись природы. Советский: [б. и.], 2018. Кн. 41, 2017 г.: Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника и их изучение по программе Летописи природы. 294 с.
13. Летопись природы. Советский: [б. и.], 2019. Кн. 42, 2018 г.: Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника и их изучение по программе Летописи природы. 328 с.
14. Паспорт регионального проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» // Департамент недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. 2022. <https://clck.ru/35m3H2>
15. Светлячковая тропа: специалисты Мосприроды заметили жучков-фонариков // ГПБУ «Мосприрода». 2022. <https://clck.ru/35hkvA>
16. Скалон Н.В. и др. Красная книга Кузбасса: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных / Т. II. 3-е изд. Кемерово: «ВЕКТОР-ПРИНТ», 2021. 232 с.
17. Bezborodov V.G., Koshkin E.S. On distribution of *Lampyrus noctiluca* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera, Lampyridae) in the Amur region // *Ecologica Montenegrina*. 2018. Vol. 16. P. 111–113. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9911906>
18. Bird S., Parker J. Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females // *Journal of Insect Conservation*. 2014. Vol. 18, No. 4. P. 737–743. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9664-2>
19. Borshagovski A.-M., Saari P., Lehtonen T.K., Kaitala A. When night never falls: female sexual signalling in a nocturnal insect along a latitudinal gradient // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 2020. Vol. 74, Iss. 12, Art. 153. P. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00265-020-02927-9>
20. Elgert Ch., Hopkins J., Kaitala A., Candolin U. Reproduction under light pollution: maladaptive response to spatial variation in artificial light in a glow-worm // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2020. Vol. 287, Iss. 1931. P. 1–7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0806>
21. Geisthardt M., Figueira G., Day J.C., De Cock R. A review of Portuguese fireflies with a description of a new species, *Lampyrus iberica* sp. nov. (Coleoptera: Lampyridae) // *Heteropterus Revista de Entomología*. 2008. No. 8(2). 147–154.

22. Guzmán-Álvarez J.R., De Cock R. The biology and distribution of glow-worms (Coleoptera: Lampyridae) in Spain // *Lampyrid : The Journal of Bioluminescent Beetle Research*. 2011. Vol. 1. P. 22–31.

23. Ineichen S., Rüttimann B. Impact of artificial light on the distribution of the common European glow-worm, *Lampyris noctiluca* (Coleoptera: Lampyridae) // *Lampyrid: Firefly Conservation: From Science to Practice : Proceedings of the Second International Firefly Symposium, Selangor, Malaysia, 2-5 Aug. 2010 / Ed. L.G. Kirton, G.T. Lim, J.C. Day. Thornham: Brazen Head Publishing, 2012. Vol. 2. P. 31–36.*

24. Lewis S.M., Thancharoen A., Wong Ch.H., López-Palafox T., Santos P.V., Wu Ch., Faust L., De Cock R., Owens A.C.S., Lemelin R.H., Gurung H., Jusoh W.F.A., Trujillo D., Yiu V., López P.J., Jaikla S., Reed J.M. Firefly tourism: Advancing a global phenomenon toward a brighter future // *Conservation Science and Practice*. 2021. Vol. 3, No. 5, Art. e391. P. 1–18. <https://doi.org/10.1111/csp2.391>

25. Lewis S.M., Wong Ch.H., Owens A.C.S., Fallon C., Jepsen S., Thancharoen A., Wu Ch., De Cock R., Novák M., López-Palafox T., Khoo V., Reed J.M. A Global Perspective on Firefly Extinction Threats // *BioScience*. 2020. Vol. 70, No. 2. P. 157–167. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz157>

26. Samin N., Háva J., Otero J.C., Hawkeswood T.J., Jędrzykowski W.B., Kubisz D., Sakenin H., Bunalski M. New record and new distributional data of beetles of Iran (Insecta, Coleoptera) // *Boletín de la Asociación Española de Entomología*. 2018. Vol. 42. No. 3-4. P. 259–274.

27. Stewart A.J.A., Perl C.D., Niven J.E. Artificial lighting impairs mate attraction in a nocturnal capital breeder // *Journal of Experimental Biology*. 2020. Vol. 223, Iss. 19. P. 1–5. <https://doi.org/10.1242/jeb.229146>

28. Van den Broeck M., De Cock R., Van Dongen S., Matthysen E. Blinded by the Light: Artificial Light Lowers Mate Attraction Success in Female Glow-Worms (*Lampyris noctiluca* L.) // *Insects*. 2021. Vol. 12, Iss. 8, Art. 734. P. 1–10. <https://doi.org/10.3390/insects12080734>

29. Van den Broeck M., De Cock R., Van Dongen S., Matthysen E. White LED light intensity, but not colour temperature, interferes with mate-finding by glow-worm (*Lampyris noctiluca* L.) males // *Journal of Insect Conservation*. 2021. Vol. 25, No. 2. P. 339–347. <https://doi.org/10.1007/s10841-021-00304-z>

References

1. Bogaty`reva, D.S., & Morozova, V.V. (2019). Sovremennoe sostoyanie i perspektivy` razvitiya e`kologicheskogo turizma v Malajzii. *Prirodnoe i istoriko-kul`turnoe nasledie Vostochnoj Evropy` kak ob`ekt social`no-geograficheskix issledovanij: Materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 25-26 okt. 2019 g. Pskov: izd-vo Pskov. gos. un-ta, 77-83.* (in Russ.).

2. Bolota Zapadnoj Sibiri, ix stroenie i gidrologicheskij rezhim. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 448. (in Russ.).

3. Zinov`ev, E.V., & Nakonechny`j, N.V. (2017). Zhuki norovogo kompleksa oby`knovennogo krota central`noj chasti lesnoj zony` Zapadnoj Sibiri. *Fauna Urala i Sibiri: Regional`ny`j faunisticheskij zhurnal*, (2), 19-35. (in Russ.).
4. Kazancev, S.V. (2010). Zhuki-svetlyaki Rossii i sopredel`ny`x territorij (Coleoptera: Lampyridae). *Russkij e`ntomologicheskij zhurnal*, 19(3), 187-208. (in Russ.).
5. Kazancev, S.V. (2021). E`lektronny`j opredelitel` zhukov-krasnokry`lov i svetlyachkov (Coleoptera: Lycidae, Lampyridae) evropejskoj chasti Rossii i Severnogo Kavkaza. Vy`p. 1. E`lektronny`e opredeliteli po zhukam evropejskoj chasti Rossii. Livny`: Izdatel` Muxametov G.V. (in Russ.).
6. Krasnaya kniga goroda Moskvy`. 3-e izd. M.: Podol`skaya fabrika ofsetnoj pechati, 2022. 848. (in Russ.).
7. Krasnaya kniga Kurskoj oblasti: Redkie i ischezayushhie vidy` zhivotny`x, rastenij i gribov. 2-oe izd. Kaliningrad ; Kursk: ID «ROST-DOAFK», 2017. 380. (in Russ.).
8. Krasnaya kniga Chelyabinskoj oblasti: Zhivotny`e. Rasteniya. Griby`. 2-oe izd. M.: «Reart», 2017. 504. (in Russ.).
9. Letopis` prirody`. Sovetskij: [b. i.], 2015. Kn. 38, 2014 g.: Nablyudenie yavlenij i processov v prirodnom komplekse zapovednika i ix izuchenie po programme Letopisi prirody`. 185. (in Russ.).
10. Letopis` prirody`. Sovetskij: [b. i.], 2016. Kn. 39, 2015 g.: Nablyudenie yavlenij i processov v prirodnom komplekse zapovednika i ix izuchenie po programme Letopisi prirody`. 252. (in Russ.).
11. Letopis` prirody`. Sovetskij: [b. i.], 2017. Kn. 40, 2016 g.: Nablyudenie yavlenij i processov v prirodnom komplekse zapovednika i ix izuchenie po programme Letopisi prirody`. 152. (in Russ.).
12. Letopis` prirody`. Sovetskij: [b. i.], 2018. Kn. 41, 2017 g.: Nablyudenie yavlenij i processov v prirodnom komplekse zapovednika i ix izuchenie po programme Letopisi prirody`. 294. (in Russ.).
13. Letopis` prirody`. Sovetskij: [b. i.], 2019. Kn. 42, 2018 g.: Nablyudenie yavlenij i processov v prirodnom komplekse zapovednika i ix izuchenie po programme Letopisi prirody`. 328. (in Russ.).
14. Pasport regional`nogo proekta «Soxranenie biologicheskogo raznoobraziya i razvitie e`kologicheskogo turizma» // Departament nedropol`zovaniya i prirodny`x resursov Xanty`-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Yugry`. 2022. <https://clck.ru/35hkt7> (in Russ.).
15. Svetlyachkovaya tropa: specialisty` Mosprirody` zametili zhuchkov-fonarikov // GPBU «Mospriroda». 2022. <https://clck.ru/35hkvA> (in Russ.).
16. Skalon, N.V. i dr. (2021). Krasnaya kniga Kuzbassa: Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy` zhivotny`x / T. II. 3-e izd. Kemerovo: «VEKTOR-PRINT», 232. (in Russ.).

17. Bezborodov, V.G., & Koshkin, E.S. (2018). On distribution of *Lampyris noctiluca* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera, Lampyridae) in the Amur region. *Ecologica Montenegrina*, 16, 111-113. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9911906>
18. Bird, S., Parker, J. (2014). Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyris noctiluca* L.) to locate females. *Journal of Insect Conservation*, 18(4), 737-743. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9664-2>
19. Borshagovski, A.-M., Saari, P., Lehtonen, T.K., & Kaitala, A. (2020). When night never falls: female sexual signalling in a nocturnal insect along a latitudinal gradient. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 74, Iss. 12, Art. 153, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00265-020-02927-9>
20. Elgert, Ch., Hopkins, J., Kaitala, A., Candolin, U. (2020). Reproduction under light pollution: maladaptive response to spatial variation in artificial light in a glow-worm. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287, Iss. 1931, 1-7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0806>
21. Geisthardt, M., Figueira, G., Day, J.C., & De Cock, R. (2008). A review of Portuguese fireflies with a description of a new species, *Lampyris iberica* sp. nov. (Coleoptera: Lampyridae). *Heteropterus Revista de Entomología*, 8(2), 147-154.
22. Guzmán-Álvarez, J.R., & De Cock, R. (2011). The biology and distribution of glow-worms (Coleoptera: Lampyridae) in Spain. *Lampyrid: The Journal of Bioluminescent Beetle Research*, 1, 22-31.
23. Ineichen, S., Rüttimeann, B. (2012). Impact of artificial light on the distribution of the common European glow-worm, *Lampyris noctiluca* (Coleoptera: Lampyridae). *Lampyrid: Firefly Conservation: From Science to Practice: Proceedings of the Second International Firefly Symposium, Selangor, Malaysia, 2-5 Aug. 2010 / Ed. L.G. Kirton, G.T. Lim, J.C. Day. Thornham: Brazen Head Publishing*, 2, 31-36.
24. Lewis, S.M., Thancharoen, A., Wong, Ch.H., López-Palafox, T., Santos, P.V., Wu, Ch., Faust, L., De Cock, R., Owens, A.C.S., Lemelin, R.H., Gurung, H., Jusoh, W.F.A., Trujillo, D., Yiu, V., López, P.J., Jaikla, S., & Reed, J.M. (2021). Firefly tourism: Advancing a global phenomenon toward a brighter future. *Conservation Science and Practice*, 3(5), Art. e391, 1-18. <https://doi.org/10.1111/csp2.391>
25. Lewis, S.M., Wong, Ch.H., Owens, A.C.S., Fallon, C., Jepsen, S., Thancharoen, A., Wu, Ch., De Cock, R., Novák, M., López-Palafox, T., Khoo, V., & Reed, J.M. (2020). A Global Perspective on Firefly Extinction Threats. *BioScience*, 70(2), 157-167. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz157>
26. Samin, N., Háva, J., Otero, J.C., Hawkeswood, T.J., Jêdryczkowski, W.B., Kubisz, D., Sakenin, H., & Bunalski, M. (2018). New record and new distributional data of beetles of Iran (Insecta, Coleoptera). *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, 42(3-4), 259-274.
27. Stewart, A.J.A., Perl, C.D., Niven, J.E. (2020). Artificial lighting impairs mate attraction in a nocturnal capital breeder. *Journal of Experimental Biology*, 223, Iss. 19, 1-5. <https://doi.org/10.1242/jeb.229146>

28. Van den Broeck, M., De Cock, R., Van Dongen, S., & Matthysen, E. (2021). Blinded by the Light: Artificial Light Lowers Mate Attraction Success in Female Glow-Worms (*Lampyris noctiluca* L.). *Insects*, 12, Iss. 8, Art. 734, 1-10. <https://doi.org/10.3390/insects12080734>

29. Van den Broeck, M., De Cock, R., Van Dongen, S., & Matthysen, E. (2021). White LED light intensity, but not colour temperature, interferes with mate-finding by glow-worm (*Lampyris noctiluca* L.) males. *Journal of Insect Conservation*, 25(2), 339-347. <https://doi.org/10.1007/s10841-021-00304-z>

Дата поступления: 28.05.2023

Дата принятия: 05.09.2023

© Емцев А.А., Берников К.А., Наконечный Н.В., 2023

УДК 574.24

https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/06

Янгирова Л.Я., Петухова Г.А.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДРОЗОФИЛ НЕФТЕУСТОЙЧИВЫХ ЛИНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ СОДЕРЖАНИЯ

L.Y. Yangirova, G.A. Petukhova

CHANGES IN THE VITAL SIGNS OF DROSOPHILA OIL-RESISTANT LINES, DEPENDING ON THE CONDITIONS OF DETENTION

Аннотация. В работе проведен анализ влияния нефти на выживаемость и плодовитость *Drosophila melanogaster* линий, различающихся по нефтеустойчивости. Было проведено исследование морфозов крыльев у самок мух нефтеустойчивых линий и мух, нефтеустойчивых линий в условиях чистой питательной среды. В исследованиях, проведенных на кафедре экологии и генетики, была выведена нефтеустойчивая линия мух-дрозофил, способных не только выживать, но и размножаться в условиях высокой концентрации нефти: на половине от полулетальной (2,5%) и полулетальной (5%). Основные показатели жизнедеятельности мух вышли на уровень контроля (не отличаются от стандарта) к 60-70 поколению содержания в условиях нефтезагрязнения. В настоящее время мухи, содержащиеся, живущие и размножающиеся в нефтезагрязнённой среде, прошли более 600 поколений развития. Используемые в ходе эксперимента варианты: контроль, содержащийся на стандартной питательной среде; мухи, адаптированные к полулетальной (5%) концентрации нефти в среде; мухи, адаптированные к половине от полулетальной (2,5%) концентрации нефти в среде; мухи, адаптированные к 5% концентрации, но пересаженные на чистую питательную среду (инадаптивные условия); мухи, адаптированные к 2,5% концентрации, но пересаженные на чистую питательную среду (инадаптивные условия). Интерес представляла возможность проанализировать основные показатели жизнедеятельности и наличие крыловых морфозов мух-дрозофил нефтеустойчивой линии, в условиях нефтяного загрязнения и при их переводе в чистую питательную среду (инадаптивные условия).

Ключевые слова: нефтеустойчивая линия; инадаптивные условия; морфозы; выживаемость; плодовитость; частота леталей.

Сведения об авторах: Янгирова Лиана Януровна, ORCID: 0000-0002-7546-485X, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия, Lianochka137@mail.ru; Петухова Галина Александровна, профессор, д-р биол. наук, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия.

Abstract. The paper analyzes the effect of oil on the survival and fertility of *Drosophila melanogaster* lines that differ in oil resistance. A study was made of wing morphoses in female flies of oil-resistant lines and flies, oil-resistant lines in a pure nutrient medium. In studies conducted at the Department of Ecology and Genetics, an oil-resistant line of fruit flies was bred, capable of not only surviving, but also reproducing in conditions of high oil concentration: half of the semi-lethal (2.5%) and semi-lethal (5%). The main indicators of the vital activity of flies reached the level of control (do not differ from the standard) by the 60th - 70th generation of keeping in conditions of oil pollution. Currently, flies kept, living and breeding in an oil-polluted environment have gone through more than 600 generations of development. Options used in the experiment: control contained on a standard nutrient medium; flies adapted to semi-lethal (5%) concentration of oil in the environment; flies adapted to half of the semi-lethal (2.5%) concentration of oil in the environment; flies adapted to 5% concentration, but transplanted to a pure nutrient medium (non-adaptive conditions); flies adapted to 2.5% concentration, but transplanted to a pure nutrient medium (non-adaptive conditions). Of interest was the opportunity to analyze the main indicators of vital activity and the presence of wing morphoses of fruit flies of an oil-resistant line, under conditions of oil pollution and when transferred to a clean nutrient medium (maladaptive conditions).

Keywords: oil-resistant line; inadaptive conditions; morphoses; survival; fertility; flying frequency.

About the authors: Liana Y. Yangirova, ORCID: 0000-0002-7546-485X, Tyumen State University, Tyumen, Russia, Lianochka137@mail.ru; Galina A. Petukhova, Professor, Doctor of Biological Sciences, Tyumen State University, Tyumen, Russia.

Янгирова Л.Я., Петухова Г.А. Изменение показателей жизнедеятельности дрозофил нефтеустойчивых линий в зависимости от условий содержания // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 69-79. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/06>

Yangirova, L.Y., & Petukhova, G.A. (2023). Changes in the Vital Signs of *Drosophila* Oil-Resistant Lines, Depending on the Conditions of Detention. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 69-79. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/06>

Экологические последствия разливов нефти носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, существенно изменяет условия обитания всех видов живых организмов и накапливается в биомассе [6]. Ухудшение экологической обстановки наносит большой ущерб состоянию флоры и фауны. При загрязнении почвогрунтов нефтью резко сокращается видовой состав и численность водорослей [1]. Без сомнения, нефть отрицательно влияет на окружающую среду [14]. Несмотря на то, что сырая нефть — это продукт естественного происхождения, она действует как загрязнитель. Последствиями деградации при нефтяном загрязнении являются: изменение физических свойств почвы, нарушение газообмена, осложнение поступления воды и питательных веществ, нарушение растительного покрова, что оказывает влияние на другие компоненты системы [10; 17]. Самое сильное воздействие на гидробионты оказывает эмульгированная форма. Такая нефть оседает на дно, покрывая, при этом, грунт и сидячие водные организмы [8]. Также большую опасность из всех миграционных форм представляют водорастворимые компоненты [12].

Целью данного исследования является оценка последствий загрязнения природной среды нефтью и продуктами ее переработки с акцентом на адаптацию к ней живых организмов. Деятельность человека, особенно промышленность, вызывает значительное увеличение количества загрязняющих веществ, выбрасываемых в природу. Кроме того, это привело к резкому сокращению биоразнообразия, изменению баланса населения и усилению воздействия опасных для человека и животных загрязняющих веществ.

Проблема, рассматриваемая в этой статье, заключается в том, чтобы проанализировать способность организмов справляться с таким загрязнением. Так как раньше в связи с многокомпонентным составом нефти считалось, что адаптация живых организмов к ней невозможна, то сейчас это опровергается. Например, в работах Н.В. Бурковского на простейших [2] и Л.Д. Гапочки на водорослях [7] была показана возможность адаптации к нефтяному загрязнению. В работах Г.А. Петуховой [15] показана адаптация мух дрозофил к условиям нефтезагрязнения. Все основные показатели жизнедеятельности выходят на уровень контроля к 70-му поколению.

В ходе эксперимента были проанализированы выживаемость и потенциальная плодовитость мух – дрозофил, в стенах лаборатории ТюмГУ.

Анализируемые показатели:

- Эмбриональные летали на стадии яйца [19]: ранние доминантные, поздние доминантные и частота леталей у мух, адаптированных к 2,5% и 5% нефти в среде в объеме

больше 5000 яиц. Анализ ранних и поздних летелей учитывался спустя 48 часов после откладки мухами яиц.

- Плодовитость и выживаемость линий, адаптированных к нефтезагрязнению и линий, адаптированных к нефтезагрязнению, но пересаженных на чистую питательную среду в объёме более 3000 особей, развивающихся не более 3–5 дней.

- Частота крыловых морфозов и деформаций крыла (мятое крыло, крупная и мелкая вырезка) мух, содержащихся в условиях нефтяного загрязнения (2,5% и 5% нефти в среде) и пересаженных в условия чистой питательной среды в объёме 1000 особей каждой исследуемой линии, развивающихся не более 3–5 дней.

Анализ выживаемости и плодовитости проводили по стандартной методике [13; 18].

Правильное использование методов биометрии увеличивает доказательность поставленных заключений, а также выявлять скрытые закономерности и верно их объяснить, установить причины происходящих явлений и т. д. [5]. Статистическую обработку данных проводили по стандартной методике при помощи программы Statistica. Достоверность различий, сравниваемых результатов выявили по t критерию Стьюдента. Различия считали статистически достоверными при $p < 0,05$.

Частота выживаемости самок дрозофил в нефтезагрязнённой среде не отличается от контроля во все сроки наблюдения. Анализ выживаемости самок мух, при содержании на чистой питательной среде выявил, что особи, адаптированные к 2,5% нефти в среде, на 10 день эксперимента (рис. 1) показывают резкое снижение выживаемости ($p < 0,05$), а затем, в остальные сроки наблюдения выживаемость сохраняется на уровне контроля. Это может свидетельствовать о том, что к этому времени у мух, у которых не включились гены устойчивости, выживаемость начала снижаться. При содержании мух, адаптированных к 5% нефти в среде, на чистой питательной среде, выживаемость резко сокращается на 15 день эксперимента, а к 20-му дню все самки погибли.

Сейчас известно, что при повышенном содержании токсиканта в питательной среде – он накапливается как в половых, так и в соматических клетках, что приводит к сильному повреждающему действию и летальности [3, с. 53-54].

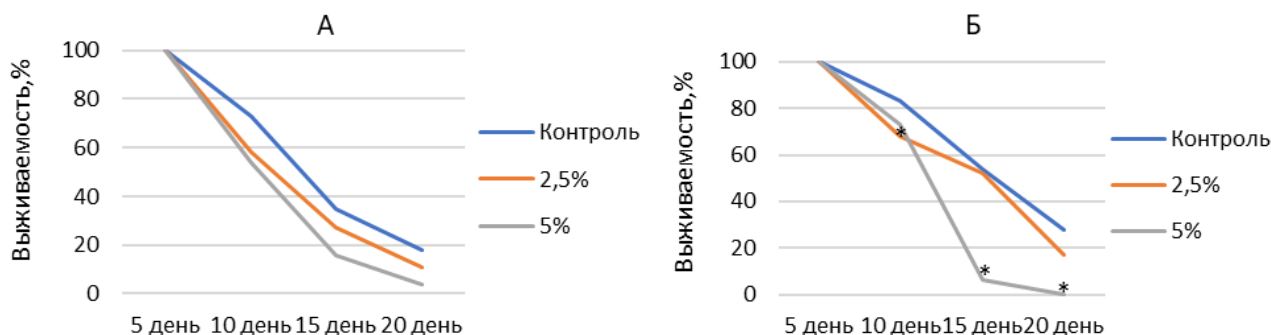


Рис. 1. Выживаемость самок дрозофилы нефтеустойчивых линий в зависимости от условий содержания: А – при содержании в нефтезагрязнённой среде; Б – при содержании на чистой питательной среде. Примечание: * – статистически достоверное различие между контролем и вариантом эксперимента при ($p < 0,05$)

Частота выживаемости самцов дрозофил в нефтезагрязнённой среде не отличается от контроля во все сроки наблюдения ($p < 0,05$). Анализ выживаемости самцов мух, при содержании на чистой питательной среде выявил, что особи, адаптированные к 2,5% нефти в среде, на 10 и на 15 дни эксперимента (рис.2) показывают резкое снижение выживаемости ($p < 0,05$), а затем, в остальные сроки, наблюдаемая выживаемость сохраняется на уровне контроля. При содержании адаптированных к 5% нефти в среде мух на чистой питательной среде выживаемость резко понизилась на 10 и все последующие дни эксперимента ($p < 0,05$), а к 20-му дню все самцы погибли.

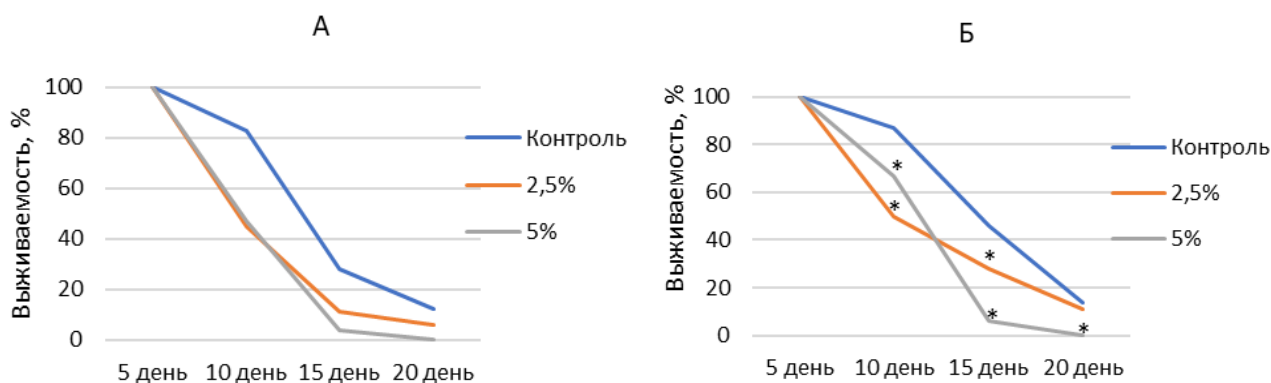


Рис. 2. Выживаемость самцов дрозофилы нефтеустойчивых линий в зависимости от условий содержания: А – при содержании в нефтезагрязнённой среде; Б – при содержании на чистой питательной среде. Примечание: * – статистически достоверное различие между контролем и вариантом эксперимента при ($p < 0,05$)

Выживаемость мух в нефтезагрязнённой среде не отличается от контроля во все сроки наблюдения. Это свидетельствует о полной адаптации дрозофил к данной среде. Анализ общей выживаемости дрозофил, при содержании нефтеустойчивых линий в условиях чистой питательной среды показал, что у линий, адаптированных к 2,5% нефти в среде, резкое снижение выживаемости ($p < 0,05$) происходит только на 10 день эксперимента (рис. 3), а у линий, адаптированных к 5% нефти в среде, выживаемость резко понизилась ($p < 0,05$) на 10 и все последующие дни эксперимента, а к 20-му дню все дрозофилы погибли. Это может быть свидетельством того, что у мух, адаптированных к 2,5% нефти в среде адаптивные механизмы работают лучше и их жизнеспособность выше, чем у 5% потому, что концентрация нефти в среде меньше, а значит механизмы выживания требуют меньше энергетических затрат, которые в свою очередь идут на восстановление организма и адаптацию.

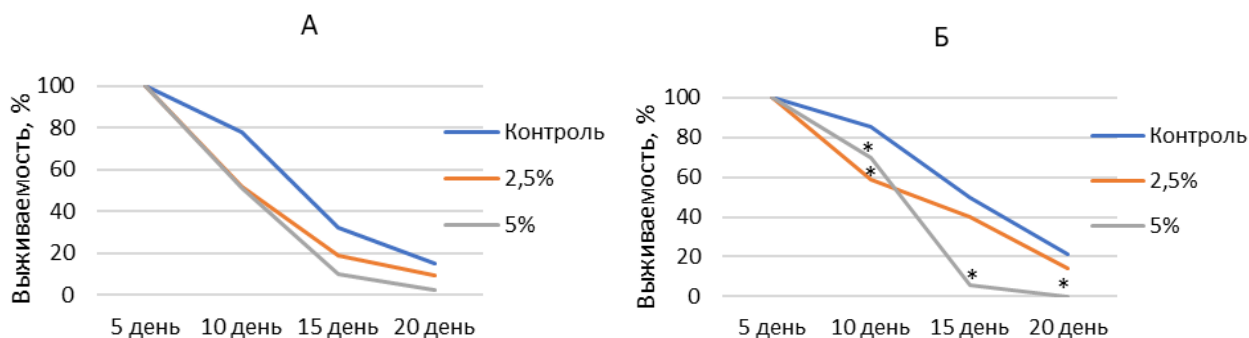


Рис. 3. Выживаемость дрозофил нефтестойчивых линий в зависимости от условий содержания: А – при содержании в нефтезагрязнённой среде; Б – при содержании на чистой питательной среде. Примечание: * – статистически достоверное различие между контролем и вариантом эксперимента при (p < 0,05)

Наряду с выживаемостью, ещё один показатель адаптации дрозофил – их плодовитость, которая рассчитывается по количеству вылетевших потомков первого поколения в пересчете на 1 самку, другими словами – удельная плодовитость.

Анализ плодовитости дрозофил в нефтезагрязнённой среде не отличается от контроля во все сроки наблюдения. Анализ общей плодовитости мух, адаптированных к 2,5% нефти в среде при переводе на чистую питательную среду, на 15 и 20 дни эксперимента (рис.4Б) резко снижается (p < 0,05). А при содержании на чистой питательной среде мух, адаптированных к 5% нефти в среде – плодовитость резко уменьшается (p<0,05) во все дни эксперимента, вплоть до полной гибели особей на 20 день.

Также отмечается, что у мух, не адаптированных к токсическому загрязнению среды возникает гораздо больше нарушений, которые не могут нейтрализоваться антиоксидантной системой, что соответственно, снижает выживаемость и плодовитость [16].

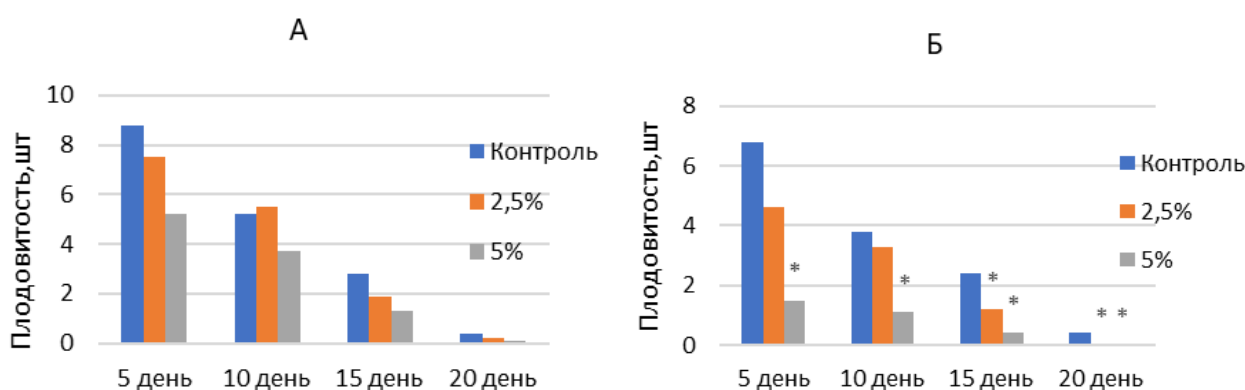


Рис. 4. Плодовитость дрозофил в зависимости от условий содержания: А – при содержании в нефтезагрязнённой среде; Б – при содержании на чистой питательной среде. Примечание: * – статистически достоверное различие между контролем и вариантом эксперимента при (p < 0,05)

Плодовитость дрозофилы – достаточно изменчивый показатель. Количество потомков, откладываемых одной самкой, может меняться в зависимости от условий среды, температуры и даже количества самцов [9].

Помимо общих показателей: плодовитости и выживаемости дрозофил, изучали состояние повреждаемости половых клеток, реализуемых как ранние доминантные летали, поздние доминантные летали и их суммарная частота.

Общее количество доминантных леталей (рис. 5) зависит от количества ранних и поздних леталей и отражает их общую частоту. У мух, адаптированных к 2,5% и 5%, частота доминантных леталей значительно превышает контрольные показатели ($p < 0,05$). На данный момент влияние нефти на живые организмы недостаточно изучено, но опираясь на имеющуюся литературу, можно прогнозировать возможные летальные исходы животных от токсического действия [20].

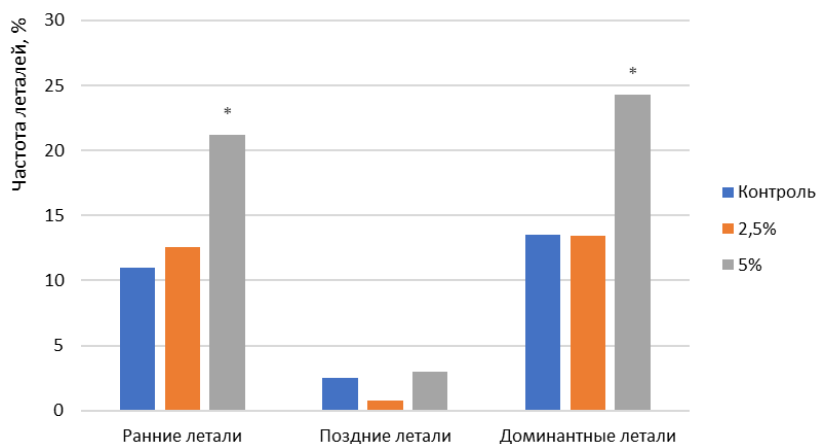


Рис. 5. Суммарная частота леталей у мух тестируемых линий по дням исследования при содержании в нефтезагрязнённой среде. Примечание: * – статистически достоверное различие между контролем и вариантом эксперимента при ($p < 0,05$)

Несмотря на то, что мухи живут и размножаются в условиях нефтезагрязнения достаточно долго и уже достигнута адаптация к неблагоприятным условиям, в каждом поколении ещё идёт отбор чувствительных особей уже на первых этапах эмбрионального развития. Не все отложенные яйца способны развиться в жизнеспособный организм при высоких концентрациях нефти. В экспериментах К.В. Ватги и М.М. Тихомирова, выявлены похожие серьёзные нарушения при действии радиации и температуры [4].

Однако токсическое действие нефти может вызывать также нарушения эмбриогенеза. Отмечая токсическое действие нефти и нефтепродуктов на организм, можно говорить о различных нарушениях, таких как: работа источника гликогена, липидного, белкового и энергетического обмена, нарушение клеточного метаболизма [11].

А также морфозы – ненаследственные изменения, вызываемые в соматических клетках организма факторами внешней среды; возникают в результате нежизнеспособности клеток имагинальных дисков. Некоторые из них менее выражены, другие – можно пронаблюдать, например: вырезки на крыле разных размеров (крупные и мелкие) или скомкивание (мятость) крыла. Появление морфоза – это результат деления клеток имагинальных дисков крыла, если количество клеток, которое не способно регенерировать большое, то и размер вырезки – крупный; если регенерация не полная – вырезка мелкая.

Были рассмотрены крылья 500 самок и 500 самцов дрозофилы нефтеустойчивой линии и линии, содержащейся на чистой питательной среде, возрастом 3–5 дней.

Анализ морфозов крыльев самок мух в нефтезагрязнённой среде не отличается от контроля. Анализ морфозов самок мух, при содержании в условиях чистой питательной среды выявил, что особи, адаптированные к 2,5% нефти в среде, содержат, на хотя бы одном крыле, вырезку мелкого размера (рис. 6) с меньшей частотой ($p < 0,05$), чем остальные, а прочие морфозы сохраняется на уровне контроля. При содержании на чистой питательной среде мух, адаптированных к 5% нефти в среде, крупная вырезка резко увеличивается ($p < 0,05$).

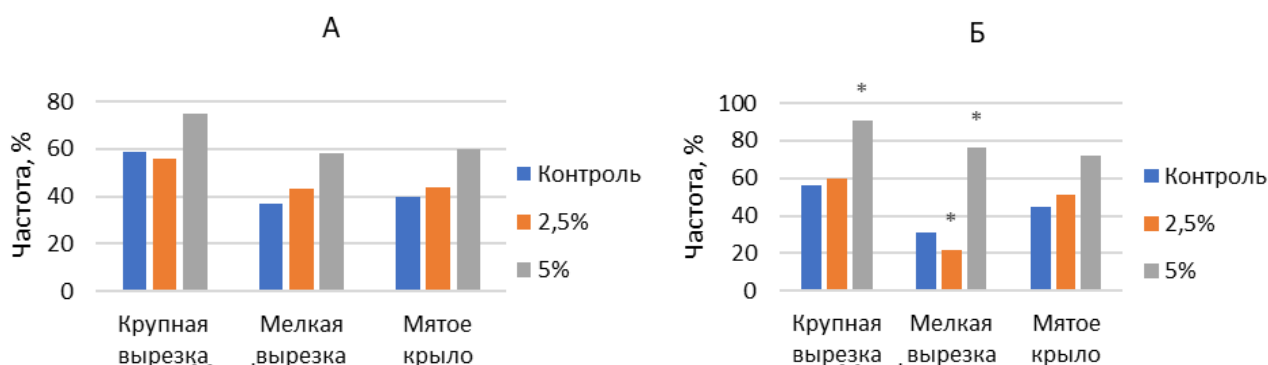


Рис. 6. Морфозы крыльев у самок мух нефтеустойчивых линий и мух, нефтеустойчивых линий в условиях чистой питательной среды: А – при содержании в нефтезагрязнённой среде; Б – при содержании на чистой питательной среде. Примечание: * – статистически достоверное различие между контролем и вариантом эксперимента при ($p < 0,05$)

Частота морфозов крыльев самцов мух в нефтезагрязнённой среде не отличается от контроля. Анализ морфозов крыльев у особей, адаптированных к 5% нефти в среде при содержании в условиях чистой питательной среды, показал резкое увеличение ($p < 0,05$) количества мягких крыльев (рис. 7).

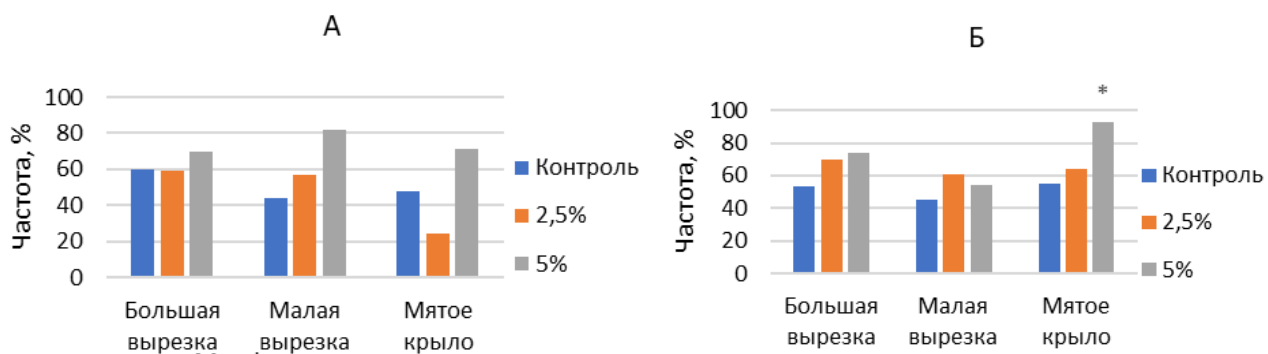


Рис. 7. Морфозы крыльев у самцов мух нефтеустойчивых линий и мух, нефтеустойчивых линий в условиях чистой питательной среды: А – при содержании в нефтезагрязнённой среде; Б – при содержании на чистой питательной среде. Примечание: * – статистически достоверное различие между контролем и вариантом эксперимента при ($p < 0,05$)

Морфоз – это неадаптивная и обычно нестабильная вариация индивидуального морфогенеза, связанная с изменением внешней среды. Нарушения эмбрионального развития

отличаются двумя основными критериями: не наследственностью и высокой частотой проявления.

Итак, показатели жизнедеятельности дрозофил в нефтезагрязнённой среде не отличается от контроля по всем измеряемым признакам. Это свидетельствует о полной адаптации данной линии к условиям нефтезагрязнения. У мух нефтеустойчивой линии, адаптированной к хроническому нефтезагрязнению среды, все показатели приспособленности находятся на уровне контроля. Что касается половых клеток, ранних леталей больше у мух, содержащихся в нефтяной среде большей концентрации. Это может свидетельствовать о том, что при хроническом содержании мух в нефти с большой концентрацией невозможно избежать отбора особей, чувствительных к неблагоприятным условиям среды даже несмотря на адаптацию.

Что касается мух, пересаженных в чистую питательную среду, то их выживаемость и плодовитость нестабильны. Чем более токсична среда содержания дрозофил до смены местообитания, тем сильнее последствия. Изучение первичных продуктов повреждаемости клеток у дрозофил в условиях чистой питательной среды свидетельствует о том, что повреждаемость их клеток также возрастает, а вторичные продукты – накапливаются и деструктивно влияют на клетки.

Изучение показателей жизнедеятельности мух нефтеустойчивой линий в нефтезагрязнённых условиях и в условиях чистой питательной среды позволило заключить:

1. Показатели жизнедеятельности нефтеустойчивой линии дрозофил при содержании в нефтезагрязнённой среде не отличается от уровня контроля во все сроки наблюдения.

2. Более высокая частота проявления ранних леталей у мух, содержащихся в условиях нефтезагрязнения, возможно, связана с низкой оплодотворяющей способностью самцов, либо с отбором устойчивых генотипов и элиминацией в эмбриогенезе особей, не включивших гены нефтеустойчивости.

3. У мух увеличивается частота крыловых морфозов, что свидетельствует о тератогенном влиянии условий содержания.

4. Содержание мух в стандартных условиях чистой питательной среды, даже если организм не встречался с ней в течение длительного времени (в ходе нескольких сотен поколений), приводит к тому, что среда становится инадаптивной.

Литература

1. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Справочник инженера-эколога нефтедобывающей промышленности по методам анализа загрязнителей окружающей среды. Ч. 2. 1997. 483 с.
2. Бурковский И.В. Структурно-функциональная организация и устойчивость морских донных сообществ. М: МГУ, 1992. 170 с.
3. Васькова Я.Ю. Модификация хронического действия нефти с помощью ПАБК на *drosophila melanogaster*: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2018. С. 53-66.

4. Ватги К.В., Тихомирова М.М. Спонтанные и индуцированные радиацией доминантные летальные мутации у самок и самцов дрозофилы // Исследования по генетике. Л: Изд-во ЛГУ, 1976. № 6. С. 32-43.
5. Вишневец А.В., Соболева В.Ф., Смунова В.К., и др. Основы биометрии. 2009. С. 10-24.
6. Владимиров В.А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. №1. С. 217-229.
7. Гапочка Л.Д. Об адаптации водорослей. М.: МГУ, 1981. 80 с.
8. Ильинских Н.Н., Петухова Г.А., Ильинских Е.Н. Скрининг и мониторинг генотоксических воздействий нефти: Экогенетика скрининга и мониторинга генотоксических воздействий нефти на растения, животных и человека. Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ, 2018. С. 36-99.
9. Корж А.П. Реакция *Drosophila melanogaster* на изменение условий выращивания // Ukrainian Journal of Ecology. 2013. № 2(8). С. 136-148.
10. Курносина Н. С., Лейкам А. Б., Караваев С. С. Охрана окружающей среды при обустройстве нефтяных месторождений в области распространения вечномёрзлых грунтов. М.: ВНИИОЭНГ. 1989. С. 31–86.
11. Лукин А.А., Шарова Ю.Н., Новоселов А.П. Возможные влияния нефтяного загрязнения в бассейне р. Печоры // Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН. 2008. С. 427-428.
12. Миронов О.Г. Биологические ресурсы моря и нефтяное загрязнение: пищевая промышленность. М., 1997. С. 47.
13. Михайлова Л.В., Князева Т.С., Макаренкова И.Ю. и др. Временное методическое руководство по установлению предельно допустимого уровня загрязнения химическими веществами донных отложений (на примере нефти). Москва: Природа, 2002. С. 224.
14. Некрасова А.А., Привалов Д.М., Попова О.С., и др. Воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. №125. С. 309-318.
15. Петухова Г.А. Механизмы устойчивости организмов к нефтяному загрязнению среды, 2008. 172 с.
16. Петухова Г.А., Квашнина Ю.М. Адаптивный потенциал *Drosophila melanogaster* при нефтяном загрязнении среды // Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. №1-4(61). С. 29-32.
17. Салангинас Л.А. Изменение свойств почв под воздействием нефти и разработка системы мер по их реабилитации. Екатеринбург: «Элита-комплекс», 2003. 411 с.
18. Сиделев С.И. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию. Ярославль: ЯрГУ, 2012. 140 с.
19. Тихомирова М.М., Тупицына Л.С. Судьба потенциальных повреждений хромосом в мутационном процессе // Генетика. 1983. Т. 19. №6. С. 789-795.

20. Mori T. et al. Intraluminal increase of superoxide anion following transient focal cerebral ischemia in rats // Brain research. 1999. Т. 816. № 2. С. 350–357.

References

1. Bulatov, A.I., Makarenko, P.P., & Shemetov, V.Yu. (1997). Spravochnik inzhenera-ekologa neftedobyvayushhej promyshlennosti po metodam analiza zagryaznitelej okruzhayushhej sredy. Ch. 2, 483. (in Russ.).
2. Burkovskij, I.V. (1992). Strukturno-funkcional'naya organizaciya i ustojchivost' morskix donnyx soobshhestv. M: MGU, 170. (in Russ.).
3. Vas'kova, Ya.Yu. (2018). Modifikaciya xronicheskogo dejstviya nefti s pomoshh'yu PABK na drosophila melanogaster: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Tyumen', 53-66. (in Russ.).
4. Vatgi, K.V., & Tixomirova, M.M. (1976). Spontanny'e i inducirovanny'e radiaciej dominantny'e letal'ny'e mutacii u samok i samczov drozofily. *Issledovaniya po genetike*, L: Izd-vo LGU, 6, 32-43. (in Russ.).
5. Vishnevecz, A.V., Soboleva, V.F., & Smuneva, V.K., [i dr.]. (2009). Osnovy biometrii. 10-24. (in Russ.).
6. Vladimirov, V.A. (2014). Razlivy nefti: prichiny, masshtaby, posledstviya. *Strategiya grazhdanskoj zashhity: problemy i issledovaniya*, (1), 217-229. (in Russ.).
7. Gapochka L.D. Ob adaptacii vodoroslej. M.: MGU, 1981. 80 s. (in Russ.).
8. Il'inskix, N.N., Petuxova, G.A., Il'inskix, E.N. (2018). Skrining i monitoring genotoksicheskix vozdeystvij nefti: Ekogenetika skrininga i monitoringa genotoksicheskix vozdeystvij nefti na rasteniya, zhivotnyx i cheloveka. Germaniya: LAP LAMBERT Acad. Publ, 36-99. (in Russ.).
9. Korzh, A.P. (2013). Reakciya Drosophila melanogaster na izmenenie uslovij vy'rashhivaniya. *Ukrainian Journal of Ecology*, (2 (8)), 136-148. (in Russ.).
10. Kurnoskina, N.S., Lejkam, A.B., & Karavaev, S.S. (1989). Oxrana okruzhayushhej sredy pri obustrojstve neftyanyx mestorozhdenij v oblasti rasprostraneniya vechnomerzlyx gruntov. M.: VNIIOE'NG, 31-86. (in Russ.).
11. Lukin, A.A., Sharova, Yu.N., & Novoselov, A.P. (2008). Vozmozhny'e vliyanija neftyanogo zagryazneniya v bassejne r. Pechory. *Institut vodnyx problem Severa KarNCz RAN*, 427-428. (in Russ.).
12. Mironov, O.G. (1997). Biologicheskie resursy morya i neftyanoe zagryaznenie: pishhevaya promyshlennost'. M., 47. (in Russ.).
13. Mixajlova, L.V., Knyazeva, T.S., & Makarenkova, I.Yu. [i dr.]. (2002). Vremennoe metodicheskoe rukovodstvo po ustanovleniyu predel'no dopustimogo urovnya zagryazneniya ximicheskimi veshhestvami donnyx otlozhenij (na primere nefti). Moskva: Priroda, 224. (in Russ.).
14. Nekrasova, A.A., Privalov, D.M., & Popova, O.S., [i dr.]. (2017). Vozdeystvie nefti i nefteproduktov na okruzhayushhuyu sredu. *Politematicheskij setevoj elektronnij nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (125), 309-318. (in Russ.).

15. Petuxova, G.A. (2008). Mexanizmy` ustojchivosti organizmov k neftyanomu zagryazneniyu sredy`, 172. (in Russ.).

16. Petuxova, G. A., & Kvashnina, Yu. M. (2015). Adaptivny`j potencial *Drosophila melanogaster* pri neftyanom zagryaznenii sredy`. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, (1-4 (61)), 29-32. (in Russ.).

17. Salanginas, L.A. (2003). Izmenenie svojstv pochv pod vozdejstviem nefi i razrabotka sistemy` mer po ix rehabilitacii. Ekaterinburg: «E`lita-kompleks», 411. (in Russ.).

18. Sidelev, S.I. (2012). Matematicheskie metody` v biologii i e`kologii: vvedenie v e`lementarnuyu biometriyu: uchebnoe posobie. Yaroslavl`: YarGU, 140. (in Russ.).

19. Tixomirova, M.M., & Tupicyna, J.I.S. (1983). Sud`ba potencial`ny`x povrezhdenij xromosom v mutacionnom processe. *Genetika*, 19(6), 789-795. (in Russ.).

20. Mori, T., Asano, T., Matsui, T., Muramatsu, H., Ueda, M., Kamiya, T., ... & Abe, T. (1999). Intraluminal increase of superoxide anion following transient focal cerebral ischemia in rats. *Brain research*, 816(2), 350-357.

Дата поступления: 12.12.2022

Дата принятия: 06.09.2023

© Янгирова Л.Я., Петухова Г.А., 2023

I.A. Pogonysheva, E.Yu. Shalamova, O.N. Ragozin, D.A. Pogonyshv, V.V. Postnikova

PSYCHOFUNCTIONAL STATE OF MEN OF WORKING AGE IN EXTREME SOCIO-NATURAL CONDITIONS

*Погоньшева И.А., Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н.,
Погоньшев Д.А., Постникова В.В.*

ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МУЖЧИН ТРУДОСПОСОБНОГО ВОЗРАСТА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНО-ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Abstract. This investigation was conducted to study the psychofunctional status of male respondents of working age who are under the combined influence of adverse environment such as socio-natural conditions. According to the results obtained, in groups of men working in a northern region at a security company in aperiodic shift mode, hemodynamic parameters differed depending on seniority: among people with more than 5 years of work experience systolic BP values were higher and there was a strong tendency to higher diastolic and pulse BP. A lower vascular tone was noted among male students of the Northern Medical University, which indicates a lower activity of the sympathetic department of the autonomic nervous system. Their magnitude of systolic blood pressure approached the data of men with greater work experience. According to the results of the WAM methodology (well-being, activity, mood), in all three scales, the psychofunctional status of employees with less work experience was more favorable. Their self-assessment in the scales of well-being and activity differed greatly. In comparison with the guards of both groups, students demonstrated a more favorable psychofunctional state in the scales of well-being and mood during the intersessional period. In accordance with the activity indicators, they were inferior to men whose work experience was less than 5 years. As a result, the formation of negative trends in hemodynamics was revealed among men with longer labor experience. It was most pronounced in the indicators of the heart component of blood pressure – systolic blood pressure. In the group of students, the average characteristics of the systolic blood pressure were approaching the data of a group of men with greater work experience. With an increase of work

Аннотация. Проведено исследование с целью изучения психофункционального статуса респондентов мужского пола трудоспособного возраста, находящихся под сочетанным воздействием дискомфортных социально-природных условий. Согласно полученным результатам, в группах мужчин, работающих в северном регионе на охранном предприятии в аperiodичном сменном режиме, показатели гемодинамики отличались в зависимости от стажа работы: у лиц со стажем более 5 лет были выше значения систолического АД и прослеживалась выраженная тенденция к более высоким показателям диастолического и пульсового АД. У студентов мужского пола северного медицинского вуза отметили более низкий сосудистый тонус, что говорит о меньшей активности симпатического отдела вегетативной нервной системы, а величины систолического АД приближались к данным мужчин с большим стажем работы. Согласно результатам методики САН (*самочувствие, активность, настроение*), по всем трем шкалам психофункциональный статус сотрудников с меньшим стажем работы был более благоприятным, при этом наиболее отличалась самооценка по шкалам *самочувствие* и *активность*. Студенты в межсессионный период в сравнении с охранниками обеих групп демонстрировали более благоприятное психофункциональное состояние по шкалам *самочувствие* и *настроение*, по показателям *активности* они уступали мужчинам со стажем работы менее 5 лет. Таким образом, у мужчин с более длительным трудовым стажем выявлено формирование негативных тенденций в гемодинамике, наиболее выраженное в показателях сердечного компонента АД – САД. В группе студенческой молодежи средние характеристики САД приближались к данным группы мужчин с большим рабочим стажем. С увеличением стажа трудовой занятости самооценка психофункционального статуса снижается, особенно

experience, self-assessment of psychofunctional status is reduced, especially in the scale of well-being. According to the activity scale, students were inferior to men whose work experience was less than 5 years. The results of the study demonstrate stress factors that distinguish the educational process of a northern medical university. Their impact is comparable to the consequences of aperiodic work in shifts with a high level of psychoemotional stress. In the north, these influences are aggravated by complex climatogeophysical conditions.

Keywords: north; psychofunctional status; hemodynamic indicators; well-being; activity; mood; shift work schedule; men; students.

About the authors: Irina A. Pogonysheva, ORCID: 0000-0002-5759-0270, Candidate of Biological Sciences, Docent, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, severina.i@bk.ru; Elena Yu. Shalamova, ORCID: 0000-0001-5201-4496, Doctor of Biological Sciences, Docent, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, selenzik@mail.ru; Oleg N. Ragozin, ORCID: 0000-0002-5318-9623, Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia; chief scientific officer for the Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, oragozin@mail.ru; Denis A. Pogonyshev, ORCID: 0000-0001-8815-1556, Candidate of Biological Sciences, Docent, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, dapogonyshev@nvsu.ru; Victoria V. Postnikova, ORCID: 0000-0001-7846-7864, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, missmadcon@mail.ru

по шкале *самочувствие*. Студенты по показателям шкалы *активность* уступали мужчинам со стажем работы менее 5 лет. Результаты исследования свидетельствуют о присущих образовательному процессу северного медицинского вуза стрессующих факторах, воздействие которых сопоставимо с последствиями работы в аperiodическом сменном режиме с высоким уровнем психоэмоционального напряжения; на севере эти влияния усугубляются сложными климатогеофизическими условиями.

Ключевые слова: север; психофункциональный статус; показатели гемодинамики; самочувствие; активность; настроение; сменный график работы; мужчины; студенты.

Сведения об авторах: Погоньшева Ирина Александровна, ORCID: 0000-0002-5759-0270, канд. биол. наук, доцент, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, severina.i@bk.ru; Шаламова Елена Юрьевна, ORCID: 0000-0001-5201-4496, д-р биол. наук, доцент, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, selenzik@mail.ru; Рагозин Олег Николаевич, ORCID: 0000-0002-5318-9623, д-р мед. наук, профессор, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия; главный научный сотрудник, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, oragozin@mail.ru; Погоньшев Денис Александрович, ORCID: 0000-0001-8815-1556, канд. биол. наук, доцент, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, dapogonyshev@nvsu.ru; Постникова Виктория Владимировна, ORCID: 0000-0001-7846-7864, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, missmadcon@mail.ru

Pogonysheva I.A., Shalamova E.Yu., Ragozin O.N., Pogonyshev D.A., Postnikova V.V. Psychofunctional state of men of working age in extreme socio-natural conditions // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 80–90. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/07>

Pogonysheva, I.A., Shalamova, E.Yu., Ragozin, O.N., Pogonyshev, D.A., & Postnikova, V.V. (2023). Psychofunctional State of Men of Working Age in Extreme Socio-Natural Conditions. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 80-90. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/07>

The state of health of the modern population of Russia, who is of working age, gives rise to reasonable concern. This mainly applies to men, since belonging to the male gender is a non-modifiable risk factor for a number of diseases [2; 4]. It is especially important to monitor the psychofunctional state of males who are under the combined influence of uncomfortable natural and climatic conditions and social circumstances, including shift work [7; 14; 17; 18], the specifics of professional activity [9; 10; 12], studying at a higher educational institution [19].

First of all, extreme natural conditions characterize the Far North and equivalent territories, including the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra. Men of the northern regions who work in shifts in security activities are faced with difficult natural and social circumstances. Northern higher school students are also under the combined influence of increased demands from the natural, climatic and educational environment. The uncomfortable factors of the natural environment in the north are combined with professional stress for employees of a security company and with the conditions of the educational process at a university for students. Working in extreme conditions requires employees to have certain qualities, including stress resistance [6].

To monitor the psychofunctional status of individuals in difficult natural and social conditions, non-invasive diagnostic methods are the most accessible and convenient, which allow to predict the dynamics of the body's state and design interventions to optimize it [11]. The WAM questionnaire (well-being, activity, and mood) is indicated as an informative psychological method. The indicators of psycho-emotional status: well-being, activity and mood are suggested to reveal the stress resistance [8].

Aim: to study the psychofunctional state of men of working age in the northern region who are under the influence of extreme socio-natural conditions.

Materials and methods: Employees of a security company in Nizhnevartovsk (Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Ugra) working in an aperiodic shift mode (12 hours day shift / 12 hours night shift / 48 hours rest) were examined. The subjects were divided into two groups depending on their work experience. The first group (group 1, n=30) consisted of workers whose experience in the security industry was less than 5 years (average age 32.3 ± 7.8 years) (hereinafter – $M \pm SD$). The second group (group 2, n=32) included employees with experience starting from 5 years (average age 49.8 ± 9.9 years). Anthropometric characteristics of men included in groups 1 and 2 were comparable and were respectively (Me (Q1–Q3)): standing height – 175.0 (172.0–178.0) cm and 170.0 (168.5– 178.0) cm, body weight – 70.0 (64.0–73.0) kg and 74.0 (66.5–77.5) kg, body mass index (BMI) – 22.8 (21.7–24.2) kg/m^2 and 24.0 (22.9–24.9) kg/m^2 . Standing height (cm) was determined using a mechanical stadiometer, body weight (kg) was determined using Tanita BC-531 electronic scales. BMI was calculated using the formula: $\text{BMI} = \text{body weight} / \text{standing height}^2$ (kg/m^2).

The state of the cardiovascular system was assessed by heart rate (HR) (bpm) and blood pressure (BP) characteristics: systolic – SBP, diastolic – DBP, pulse pressure – PP (mmHg). SBP, DBP and heart rate were measured with a tonometer model UA-101. PP was calculated using the formula: $\text{PP} = \text{SBP} - \text{DBP}$ (mmHg).

The psychofunctional status of medical university students from Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra (n=35) was also determined (average age 18.74 ± 1.22 years; average height 180.57 ± 6.25 cm; average body weight 73.03 ± 9.40 kg).

The psychofunctional status of the subjects was determined using the WAM (well-being, activity and mood) questionnaire, which includes three corresponding scales [15]. The questionnaire consists of 30 paired statements: one reflects the positive pole of the psychofunctional state, the other – the negative one. The respondent chooses a value that subjectively reflects his

feelings. The maximum severity of the positive pole is 7 points; the negative pole is 1 point. Each scale is formed by 10 pairs of statements; then the sum of points is divided by 10. The average value of the scale is 4 points: values below indicate an unfavorable psychofunctional status of the respondent; higher values – a favorable status. The boundaries of normal scores are defined as 5.0–5.5 points [15].

The study is longitudinal, the sampling method is non-randomized. Statistical processing was made using Statistica 10.0 and Excel 2013. Data are presented as the arithmetic mean (M), median (Me), standard error of the mean (SEM), standard deviation (SD), first (25%) and third (75%) quartiles (Q₁–Q₃). The Fisher Criterion was used for a comparative analysis of quantitative signs (hemodynamic parameters). The Mann-Whitney U test, the Kolmogorov-Smirnov test and the Wald-Wolfowitz test were used for qualitative characteristics (WAM method indicators). The critical level of significance (*p*) was taken to be 0.05; if there were more than 6 zeros after the decimal point, *p* was designated as <0.0001 [1].

Results. Two groups of men who had different working experience in security structures in the northern region were examined. Objective and subjective criteria have been defined to characterize the influence of extreme natural, climatic and social conditions on the body. An objective indicator of the functional state of the body are indicators of the cardiovascular system; in the northern territories there are risk factors for the formation of arterial hypertension [20]. One of the independent determinants that increases the likelihood of developing cardiovascular diseases can be acute and chronic stress [4, p. 58]. Employment in a security company can be considered as uncomfortable psychosocial circumstances, and if the situation is aggravated by extreme environmental factors, there is a risk of deterioration in the psychofunctional state.

Men's hemodynamic parameters from 2 groups are presented in Table 1. Heart rate values in both groups were comparable and corresponded to normal values. The parameters of the cardiac component of blood pressure – SBP – had statistically significant differences between groups and were higher among respondents in group 2. In no less than half of the men in group 1, SBP parameters corresponded to optimal values [4, p. 58], and no less than 75% – normal values (120–129 mmHg). Among respondents in group 2, no more than 25% had optimal SBP values, and no less than 75% had normal values. High normal SBP (130 mmHg and above) was found in two men from group 1 and seven from group 2.

Table 1

Hemodynamic parameters among men with less than 5 years of experience in security work (group 1, n=30) and more than 5 years (group 2, n=32)

Parameter	Group	M/Me (Q ₁ –Q ₃)	SEM/SD	P
Heart rate, bpm	1	70,5/70,0 (68,0–73,0)	0,7/4,0	0,230
	2	72,2/71,0 (65,0–78,0)	1,2/6,7	
SBP, mmHg	1	115,9/118,0 (110,0–125,0)	1,7/9,5	0,022
	2	122,0/125,0 (120,0–129,0)	1,9/10,8	
DBP, mmHg	1	74,7/75,0 (70,0–80,0)	1,1/6,2	0,058
	2	77,8/78,0 (75,0–84,0)	1,2/6,5	
PP, mmHg	1	41,2/42,0 (36,0–45,0)	1,1/6,1	0,081
	2	44,2/45,0 (40,0–50,0)	1,2/7,1	

Note: P – the Fisher Criterion

A pronounced tendency towards higher indicators among respondents of group 2 was determined according to DBP indicators. In no less than 75% of people in group 1 and 50% of group 2, DBP indicators corresponded to optimal values [4, p. 58]. The normal PP value is about 40 mmHg. An increase in the proportion of people with a decrease in this indicator was noted among men from group 1; in group 2, on the contrary, with a higher value.

As a result, the formation of negative trends in the implementation of hemodynamic function was observed with an increase of work experience. This occurs despite the fact that upon hiring, security guards have a medical examination to determine their medical fitness, as well as ongoing preventive examinations.

At the same time, the differences are least pronounced in the values of heart rate (bpm), and the most pronounced in the values of the cardiac component of blood pressure – SBP (mmHg), where they reach statistical significance (indicators are higher in men of group 2). Based on the vascular component of blood pressure (DBP) and pulse pressure (mmHg), pronounced trends towards higher values were determined in men of group 2.

In male students, hemodynamic parameters were determined by averaging daily measurements obtained during 24-hour monitoring. The average characteristics (M/Me) of heart rate were 76.4/75.6 bpm. (Q1 – 70.4; Q3 – 82.1), compared to 70.5/70.0 bpm in men from group 1 and 72.2/71.0 bpm – from group 2. The average characteristics of SBP in students (124.38/122.56 mmHg) were closer to the data of men in group 2 (Q1 – 120.0; Q3 – 127.6). The M/Me values of the vascular component (71.83/71.75 mmHg) demonstrated lower vascular tone in students (Q1 – 68.7; Q3 – 74.6), and therefore less activity of the sympathetic division of the autonomic nervous system.

The WAM indicators in men of both groups are presented in Table 2. The parameters of the scales of *well-being*, *activity*, and *mood* are comparable with a favorable psychofunctional state; if it decreases, the ratio in self-esteem on the scales changes. Therefore, a certain decrease in the sum of scores on the *well-being* and *activity* scales relative to the *mood* scale was revealed with the accumulation of fatigue [5]. According to the average characteristics, among respondents in group 1, self-esteem on the three scales of the WAM questionnaire was comparable; in no less than 50% of men, indicators of *activity* and *mood* and in 25% of *well-being* corresponded to the range of normal scores (5.0-5.5 points) [15]. At the same time, at least a quarter of those examined showed indicators below average (4 points). There is evidence that among male students, an overall increase in indicators of *well-being*, *activity*, and *mood* creates stable favorable psychological structures [13, p. 215]. In our study, we can talk about this in relation to employees with little experience in security activities.

In group 2 (Table 2), 50% of men had self-esteem on the *well-being* and *activity* scales below the average value and only approached favorable values on the *mood* scale. A decrease in self-esteem on the scales of the WAM questionnaire is the result of maladaptation caused by various factors, including personal characteristics and health status [16]. Therefore, the psychofunctional state of respondents in group 2 can be assessed as unfavorable.

Table 2

Indicators of the WAM questionnaire among men with less than 5 years of employment in security activities (group 1, n=30) and more than 5 years (group 2, n=32)

Parameter, points	Group	M/Me (Q ₁ -Q ₃)	SEM/SD	P ₁	P ₂	P ₃
Well-being	1	4,7/4,8 (4,6-5,0)	0,1/0,6	<0,0001	<0,001	0,00004
	2	3,7/4,0 (3,1-4,2)	0,1/0,7			
Activity	1	4,7/5,0 (4,6-5,0)	0,1/0,5	<0,0001	<0,001	0,00004
	2	3,9/4,0 (3,5-4,4)	0,1/0,6			
Mood	1	4,8/5,0 (4,8-5,1)	0,1/0,5	0,120	>0,10	0,021
	2	4,7/4,8 (4,4-5,0)	0,1/0,5			

Note: P₁ – the Mann-Whitney U test, P₂ – the Kolmogorov-Smirnov test, P₃ – the Wald-Wolfowitz test

Significant differences were found between the psychofunctional status of respondents in groups 1 and 2 on all three scales: the psychofunctional status of employees with less work experience at a security company was more favorable. At the same time, the differences on the *well-being* and *activity* scales were confirmed by three applied tests, and on the *mood* scale – by the Wald-Wolfowitz test that takes into account any differences between the samples. That is, the self-assessment of *well-being* and *activity* was more different. High values on the *well-being* scale suggest a feeling of bodily vigor and comfort, low values, on the contrary, indicate malaise. The *activity* scale characterizes personal orientation; the *mood* characterizes the emotional response to the current situation [8].

Among medical university students, the WAM questionnaire was used during the intersession period, since exam stress leads to a decrease in their results [3]. According to the recommendations for interpreting the results of the WAM methodology, the average characteristics (M/Me) of indicators in the group of students demonstrated a favorable psychofunctional state, in comparison with men in group 1, on the *well-being* scales (5.4/5.3 points) (Q₁ – 5, 0; Q₃ – 6.2 points) and *mood* (5.3/5.3 points) (Q₁ – 4.6; Q₃ – 6.2 points). At the same time, the *activity* scale indicators revealed a less favorable state (4.5/4.2 points) (Q₁ – 3.8; Q₃ – 5.2 points).

Conclusion. It is generally accepted that indicators of the cardiovascular system and their dynamics objectively reflect the functional state of the body, including in the conditions of northern territories. Male respondents living in the northern region with different length of employment experience in security activities were surveyed. Moreover, according to the results of medical examination, they are recognized as medically-fit for this job. In general, no less than 75% of men in both groups have optimal/normal blood pressure levels. However, the formation of negative trends in the hemodynamic function was revealed in the group with a long work experience that is manifested as an increase of blood pressure indicators. To the greatest extent, intergroup differences affect the value of systolic blood pressure. At the same time, in the group of male students the



average characteristics of the cardiac component of blood pressure are close to the data of the group of men with a long work experience. Though it would seem that the factors of the educational process in higher education should have less extreme features and be insufficient for a shifting nature of employment.

In order to study and assess the state of the human body in complex, diverse conditions, and its dynamics, informative non-invasive diagnostic methods are to be used. They may include the WAM questionnaire (well-being, activity and mood). Our study found out that with an increase in the length of employment in men, there is a decrease in subjective self-esteem on all scales, especially on the *well-being* scale, which characterizes the state of bodily and psychological comfort. The students demonstrated a more favorable psychofunctional status than men with different security experience on the *well-being* and *mood* scales, while in terms of *activity* they were inferior to men with less than 5 years of work experience.

Thus, we can denote the presence of stressful components that provoke a decrease in psychofunctional status in the educational process in a northern medical university. The effects of the components are comparable to the consequences of working in an aperiodic shift mode with a high level of psycho-emotional stress aggravated by the natural and climatic factors of the northern region.

The authors declare no conflict of interest.

The study was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation and the Government of Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra No. 22-15-20023, <https://rscf.ru/project/22-15-20023>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-15-20023, <https://rscf.ru/project/22-15-20023>

References

1. Byuyul', A., & Cefel', P. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. М., СПб.: DiaSoft, 2005. 602 p. (in Russ.).
2. Veshkina, L.P., & Nosova, M.V., Usanova, T.A. (2019). Faktory riska ishemicheskogo insul'ta s uchetom gendernykh osobennostej. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 28(1), 3-6. (in Russ.).
3. Gulin, A.V., & Shutova, S.V. (2015). Vliyanie ekzamenacionnogo stressa na gormonal'nye, vegetativnye, nejrofiziologicheskie i psihoemocional'nye parametry funkcional'nogo sostoyaniya organizma studentov. *Vestnik Avicenny*, 1(62), 93-99. (in Russ.).
4. Kardiovaskulyarnaya profilaktika 2017. (2018). Rossijskie nacional'nye rekomendacii. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal*, 23, 6, 7-122. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-7-122> (in Russ.).
5. Kashina, Yu.V. (2015). Integrativnaya ocenka adaptacii studentov k uchebnomu processu. *Wschodnio europejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. *Nauki medyczne*, 2-2 (2), 87-93. (in Russ.).

6. Leonova, E.V., Krivova, O.I., & Belousova, D.V. (2020). Psihologicheskie osobennosti sotrudnikov organov vnutrennih del s opytom sluzhby v ekstremal'nyh usloviyah. *Vestnik Kaluzhskogo universiteta. Seriya 1. Psihologicheskie nauki. Pedagogicheskie nauki*, 3, 2(7), 16-21. (in Russ.).

7. Lobova, V.A., Loginov, S.I., & Koveshnikov, A.A. (2014). Psihofunkcional'noe sostoyanie i rabotosposobnost' u rabotnikov vahtovyh brigad. *Vestnik ugrovedeniya*, 4(19), 74-87. (in Russ.).

8. Maslova, T.M., & Pokackaya, A.V. (2020). Sootnoshenie psihoemotsional'nogo sostoyaniya i urovnya stressoustojchivosti lichnosti. *Azimuth nauchnyh issledovanij: pedagogika i psihologiya*, vol. 9, 2(31), 351-353. <https://doi.org/10.26140/anip-2020-0902-0085> (in Russ.).

9. Ozhogova, E.G. (2018). Professional'nye stressy i sindrom «psihicheskogo vygoraniya». *Omskij psihiatricheskij zhurnal*, 1(15), 38-40. (in Russ.).

10. Pogonysheva, I.A., & Vrabij, E.V. (2020). Proizvodstvenno-obuslovlennye narusheniya zdorov'ya rabotnikov zheleznodorozhnogo transporta / V sbornike: Tatishchevskie chteniya: aktual'nye problemy nauki i praktiki. *Materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 3-h tomah.* 281-286. (in Russ.).

11. Popova, O.V. (2022). Perspektivnye metody neinvazivnoj diagnostiki funkcional'nogo sostoyaniya obuchayushchihsya. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: biologicheskie nauki*, 1, 53-61. (in Russ.).

12. Popova, T.V., Agbalyan, E.V., & Shinkaruk, E.V. (2019). Issledovanie psihofiziologicheskogo sostoyaniya i adaptivnyh vozmozhnostej gorodskogo naseleniya Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga. *Nauchnyj vestnik Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga*, 3(104), 46-51. <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2019.104.3.008> (in Russ.).

13. Pushkina, V.N., Mahov, A.S., Makeeva, V.S., Matveev, A.P., & Chajka, Zh.Yu. (2015). Sezonnaya dinamika psihoemotsional'nogo sostoyaniya u studentov v cirkumpolyarnom regione. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 7(125), 212-220. (in Russ.).

14. Ragozin, O.N., Radysh, I.V., Shalamova, E.Yu., Torshin, V.I., Kicha, D.I., Chursina, I.I., & Ragozina, E.R. (2021). Klimat – zdorov'e – demografiya: ritmy vokrug nas. Rezul'taty mnogoletnego issledovaniya v HMAO – Yugre. Moskva, 178. (in Russ.).

15. Rajgorodskij, D.YA. (2009). Prakticheskaya psihodiagnostika. Metodiki i testy. Uchebnoe posobie. Samara: Izdatel'skij Dom «BAHRAM-M», 672. (in Russ.).

16. Semenkova, T.N., Leuhova, M.G., Lesnikova, S.L., Blinova, N.G., Vasina, E.V., Koshko, N.N., & Varich, L.A. (2010). Osobennosti psihofiziologicheskoy adaptacii studentov pervogo kursa k usloviyam obucheniya v vuze. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2(42), 47-52. (in Russ.).

17. Simonov, V.N., Bochkarev, M.V., & Ragozin, O.N. (2011). Desinhronoz gemodinamicheskikh parametrov pri smennoj rabote. *Ul'yanovskij mediko-biologicheskij zhurnal*, 4, 84-89. (in Russ.).

18. Strizhakov, L.A., Babanov, S.A., Borisova, D.K. (2021). Arterial'naya gipertenziya s pozicii ocenki professional'nyh riskov. *Profilakticheskaya medicina*, vol. 24, 1, 118-123. <https://doi.org/10.17116/profmed202124011118> (in Russ.).

19. Shalamova, E.Yu., Ragozin, O.N., & Bochkarev, M.V. (2019). Dezadaptivnye reakcii serdechno-sosudistoj sistemy vo vzaimosvyazi s funkciej sna i koping-povedeniem u studentov severnogo medicinskogo vuza. *Arterial'naya gipertenziya*, vol. 25, 2, 176-190. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-2-176-190> (in Russ.).

20. Shurkevich, N.P., Vetoshkin, A.S., Gapon, L.I., D'yachkov, S.M., & Gubin, D.G. (2017). Prognosticheskaya znachimost' narushenij hronotipa sutochnogo ritma arterial'nogo davleniya u normotenzivnyh lic v usloviyah vahty na Krajnem Severe. *Arterial'naya gipertenziya*, vol. 23, 1/ 36-46. <https://doi.org/10.18705/1607-419H-2017-23-1-36-46> (in Russ.).

Литература

1. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. М., СПб.: DiaSoft, 2005. 602 с.

2. Вешкина Л.П., Носова М.В., Усанова Т.А. Факторы риска ишемического инсульта с учетом гендерных особенностей // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2019. №28(1). С. 3–6.

3. Гулин А.В., Шутова С.В. Влияние экзаменационного стресса на гормональные, вегетативные, нейрофизиологические и психоэмоциональные параметры функционального состояния организма студентов // *Вестник Авиценны*. 2015. № 1(62). С. 93–99.

4. Кардиоваскулярная профилактика 2017. Российские национальные рекомендации // *Российский кардиологический журнал*. 2018. Т. 23. № 6. С. 7–122. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-7-122>.

5. Кашина Ю.В. Интегративная оценка адаптации студентов к учебному процессу // *Wschodnio europejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. *Nauki medyczne*. 2015. №2-2(2). С. 87–93.

6. Леонова Е.В., Кривова О.И., Белоусова Д.В. Психологические особенности сотрудников органов внутренних дел с опытом службы в экстремальных условиях // *Вестник Калужского университета. Серия 1. Психологические науки. Педагогические науки*. 2020. Т. 3. №2(7). С. 16–21.

7. Лобова В.А., Логинов С.И., Ковешников А.А. Психофункциональное состояние и работоспособность у работников вахтовых бригад // *Вестник угроведения*. 2014. №4(19). С. 74–87.

8. Маслова Т.М., Покацкая А.В. Соотношение психоэмоционального состояния и уровня стрессоустойчивости личности // *Азимут научных исследований: педагогика и психология*. 2020. Т. 9. №2(31). С. 351–353. <https://doi.org/10.26140/anip-2020-0902-0085>

9. Ожогова Е.Г. Профессиональные стрессы и синдром «психического выгорания» // *Омский психиатрический журнал*. 2018. №1(15). С. 38–40.

10. Погоньшева И.А., Врабий Э.В. Производственно-обусловленные нарушения здоровья работников железнодорожного транспорта / В сборнике: Татищевские чтения:

актуальные проблемы науки и практики. Материалы XVII Международной научно-практической конференции. В 3-х томах. 2020. С. 281–286.

11. Попова О.В. Перспективные методы неинвазивной диагностики функционального состояния обучающихся // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: биологические науки. 2022. № 1. С. 53–61.

12. Попова Т.В., Агбалиян Е.В., Шинкарук Е.В. Исследование психофизиологического состояния и адаптивных возможностей городского населения Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2019. №3(104). С. 46–51. <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2019.104.3.008>

13. Пушкина В.Н., Махов А.С., Макеева В.С., Матвеев А.П., Чайка Ж.Ю. Сезонная динамика психоэмоционального состояния у студентов в циркумполярном регионе // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2015. №7(125). С. 212–220.

14. Рагозин О.Н., Радыш И.В., Шаламова Е.Ю., Торшин В.И., Кича Д.И., Чурсина И.И., Рагозина Э.Р. Климат – здоровье – демография: ритмы вокруг нас. Результаты многолетнего исследования в ХМАО – Югре. Москва, 2021. 178 с.

15. Райгородский Д.Я. Практическая психодиагностика. Методики и тесты. Самара: Издательский Дом «БАХРАМ-М», 2009. 672 с.

16. Семенкова Т.Н., Леухова М.Г., Лесникова С.Л., Блинова Н.Г., Васина Е.В., Кошко Н.Н., Варич Л.А. Особенности психофизиологической адаптации студентов первого курса к условиям обучения в вузе // Вестник Кемеровского государственного университета. 2010. №2(42). С. 47–52.

17. Симонов В.Н., Бочкарев М.В., Рагозин О.Н. Десинхронизация гемодинамических параметров при сменной работе // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. №4. С. 84–89.

18. Стрижаков Л.А., Бабанов С.А., Борисова Д.К. Артериальная гипертензия с позиции оценки профессиональных рисков // Профилактическая медицина. 2021. Т. 24. №1. С. 118–123. <https://doi.org/10.17116/profmed202124011118>

19. Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н., Бочкарев М.В. Дезадаптивные реакции сердечно-сосудистой системы во взаимосвязи с функцией сна и копинг-поведением у студентов северного медицинского вуза // Артериальная гипертензия. 2019. Т. 25. №2. С. 176–190. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2019-25-2-176-190>

20. Шуркевич Н.П., Ветошкин А.С., Гапон Л.И., Дьячков С.М., Губин Д.Г. Прогностическая значимость нарушений хронотипа суточного ритма артериального давления у нормотензивных лиц в условиях вахты на Крайнем Севере // Артериальная гипертензия. 2017. Т. 23. №1. С. 36–46. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2017-23-1-36-46>.

Дата поступления: 11.04.2023

Дата принятия: 06.09.2023

© I.A. Pogonysheva, E.Yu. Shalamova, O.N. Ragozin, D.A. Pogonyshev, V.V. Postnikova, 2023

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БУРОВЫХ ШЛАМОВ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА
ИХ БИОРЕМЕДИАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

A.E. Zimnukhova, E.V. Gaevaya, S.S. Tarasova

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DRILLING SLUDGE AND DEVELOPMENT
OF A METHOD FOR THEIR BIOREMEDIATION IN WESTERN SIBERIA

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос биоремедиации буровых шламов. Целью исследования является изучение микробиологических процессов, происходящих в почвогрунтах на основе бурового шлама, с последующим применением их для биологического этапа рекультивации нарушенных земель. Изучены микробиологические характеристики бурового шлама и четырёх образцов почвогрунтов на его основе с добавлением диатомита, доломитовой муки, торфа, гипса, глауконита, гуминового препарата «Росток» в разных пропорциях. Выполнены посевы на агаризованные среды: мясопептонный агар (МПА), крахмало-аммиачный агар (КАА), среду Мюнца, среду Чапека, в зависимости от определяемой группы микроорганизмов. Оценена общая численность микрофлоры, численность сапрофитов, микроорганизмов, растущих на крахмало-аммиачном агаре (КАА), бактерий, использующих углеводороды (УОБ), микромицетов и актиномицетов. Рассчитан коэффициент минерализации. Общая численность микрофлоры в образцах варьировалась от 51 до 271 млн КОЕ/г. Доля сапрофитов составила 16,7–24,8% от общего количества микрофлоры. Доля микроорганизмов, растущих на КАА, составила 15,6–36,6%. Минимальная численность УОБ составила 2,0 млн КОЕ/г почвогрунта, максимальная – 22,0 млн КОЕ/г. Коэффициент минерализации варьируется от 0,81 до 1,63, что говорит о разных темпах процессов минерализации. Численность микромицетов, определённая на среде Чапека, варьировалась в пределах от 0,01 до 3,33 млн КОЕ/г, на КАА – от 0,03 до 10,4 млн КОЕ/г. При этом численность микромицетов намного ниже численности бактерий, что нормально для почвогрунтов. Численность актиномицетов варьировалась от 0,2 до 7,3 млн КОЕ/г. Наибольшая численность актиномицетов отмечена при внесении торфа и гуминового препарата «Росток». Доля актиномицетов в общей численности микрофлоры на КАА составила от 0,6 до 14%. Наблюдается развитие общей численности

Abstract. The article considers the issue of bioremediation of drilling sludge. The aim of the research is studying of the microbiological processes occurring in soils based on drilling sludge, with their subsequent application for the biological stage of reclamation of disturbed lands. Microbiological characteristics of drilling sludge and four samples of soils based on it with the addition of diatomite, dolomite flour, peat, gypsum, glauconite, humic preparation “Rostock” in different proportions were studied. Crops were shown on agarized medium: meat-peptone agar (MPA), starch-ammonia agar (SAA), Munz medium, Chapek medium, depending on the determined group of microorganisms. The total number of microflora, the number of saprophytes, microorganisms growing on starch-ammonia agar (SAA), hydrocarbon-oxidizing bacteria (PSB), micromycetes and actinomycetes were estimated. The mineralization coefficient is calculated. The total number of microflora in the samples ranged from 51 to 271 million CFU/g. The share of saprophytes was 16.7–24.8% of the total amount of microflora. The proportion of microorganisms growing on SAA was 15.6–36.6%. The minimum number of PSB was 2.0 million CFU/g of soil; the maximum was 22.0 million CFU/g. The mineralization coefficient varies from 0.81 to 1.63, which indicates different rates of mineralization processes. The number of micromycetes determined on the Chapek medium ranged from 0.01 to 3.33 million CFU/g, on SAA – from 0.03 to 10.4 million CFU/g. At the same time, the number of micromycetes is much lower than the number of bacteria, which is normal for soils. The number of actinomycetes varied from 0.2 to 7.3 million CFU/g. The largest number of actinomycetes was noted when peat and humic preparation “Rostock” were introduced. The share of actinomycetes in the total number of

микрофлоры, увеличение разнообразия микробоценоза, что свидетельствует о снижении концентраций водорастворимых солей, нефтепродуктов и наличии дополнительного источника питания в виде торфа. На основании полученных данных сделан вывод о возможности применения почвогрунтов на основе бурового шлама с добавлением торфа и гуминового препарата «Росток» для рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: буровой шлам; биоремедиация; почвогрунт; рекультивация; микробиологический анализ.

Сведения об авторах: Зимнухова Анастасия Евгеньевна, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия, nastya_plotnikova@bk.ru; Гаевая Елена Викторовна, канд. биол. наук, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия, gaevajaev@tyuiu.ru; Тарасова Светлана Сергеевна, канд. биол. наук, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия, tarasovass@tyuiu.ru

microflora on the SAA ranged from 0.6 to 14%. There is a development of the total number of microflora, an increase in the diversity of microbocenosis, which indicates a decrease in the concentrations of water-soluble salts, petroleum products and the presence of an additional food source in the form of peat. Based on the data obtained, a conclusion was made about the possibility of using soils based on drilling sludge with the addition of peat and humic preparation “Rostock” for the reclamation of disturbed lands.

Keywords: drilling sludge; bioremediation; soil; recultivation; microbiological analysis.

About the authors: Anastasia E. Zimnukhova, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, nastya_plotnikova@bk.ru; Elena V. Gaevaya, Candidate of Biological Sciences, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, gaevajaev@tyuiu.ru; Svetlana S. Tarasova, Candidate of Biological Sciences, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, tarasovass@tyuiu.ru

Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., Тарасова С.С. Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации в условиях Западной Сибири // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 90–100. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/08>

Zimnukhova, A.E., Gaevaya, E.V., & Tarasova, S.S. (2023). Ecological Assessment of Drilling Sludge and Development of a Method for their Bioremediation in Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 90-100. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/08>

В условиях Западной Сибири актуальным является вопрос обращения с буровыми шламами, образующимися при добыче углеводородного сырья [1; 2]. На сегодняшний день наиболее распространён способ размещения и хранения их в шламовых амбарах, являющихся источником вторичного загрязнения окружающей среды. При этом для восстановления экосистем в северных условиях требуется до 15 лет [3; 4]. В этой связи необходима разработка современных методов рекультивации территорий, занятых шламовыми амбарами.

Важную роль в восстановлении биоценозов играют процессы биоремедиации [5]. В биоремедиации выделяют два основных подхода:

1. Биостимуляция, заключающаяся во внесении различных субстратов, биогенных элементов для активации деградирующей способности микрофлоры, при этом наблюдается рост микроорганизмов, способных к очистке почв;

2. Биодополнение, заключающееся во внесении специально созданных штаммов-деструкторов.

При этом буровой шлам, являясь выбуренной горной породой, может быть возвращён в геосферные оболочки Земли и использован в качестве почвогрунта для рекультивационных мероприятий при внесении каких-либо добавок.

Целью исследования является изучение микробиологических процессов, происходящих в почвогрунтах на основе бурового шлама, с последующим применением их для биологического этапа рекультивации нарушенных земель.

В качестве основного показателя плодородия почв выступает их биологическая активность в комплексе с химическими и токсикологическими свойствами. Оценка плодородия почв возможна по таким критериям как биомасса микроорганизмов (МО) и ферментативная активность [6].

Ферменты выполняют функцию катализаторов физических, химических, биологических реакций, за счёт чего играют важную роль в процессах, происходящих в почвах. Почвенные ферменты обладают высокой чувствительностью к изменениям, вызванным природными или антропогенными воздействиями [7; 8; 18–20].

Исследования, проводимые в данной области, свидетельствуют о возможности использования ферментативной активности почв в качестве индикаторного показателя загрязнения почв и для характеристики почвогрунтов, полученных на основе буровых шламов [9; 10].

Существует коррелятивная зависимость напряжённости микробиологических процессов в почве с размножением и активностью всей совокупности почвенных сапрофитных микроорганизмов [10]. Оценить общее состояние почвы можно посредством определения общей численности. При этом в плодородных почвах с высоким содержанием органического вещества численность может достигать миллиардов.

Распад и минерализация свежего органического вещества осуществляются в первую очередь благодаря группе аммонифицирующей микрофлоры, так называемой гнилостной, учитываемой на мясопептонном агаре (МПА). Данная микрофлора использует белки – азотсодержащее органическое вещество.

Следующий этап минерализации опада осуществляется группой, учитываемой на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Данная группа является разнородной по составу группой бактерий, микромицетов, актиномицетов, использующей для питания органические вещества без азота – углеводы и полисахариды, азот в минеральной форме.

Соотношение бактерий, усваивающих органический и минеральный азот (КАА/МПА), может выступать в качестве одного из показателей интенсификации минерализационных процессов в почве. При более энергичном процессе минерализации микроорганизмы, усваивающие минеральный азот, превосходят по численности микрофлору, которая развивается посредством органического азота.

Почвенные грибы и актиномицеты имеют важное значение в процессе превращения широкого круга органических и минеральных веществ в почве. Они продуцируют многие физиологически активные вещества, такие как аминокислоты, витамины, ферменты, антибиотики. Благодаря последним выражены антагонистические свойства, оказывающие влияние на формирование почвенных микробсообществ [11; 12].

Группу неродственных бактерий, которые способны к использованию углеводов как единственного источника углерода и энергии, называют УОБ. Данная группа выделяется

на плотных или жидких минеральных средах (Раймонда и Мюнца) при использовании углеводов или нефти в качестве источника питания. Помимо окисления углеводов, в благоприятных условиях могут использовать более доступные субстраты, а при наличии углеводов могут получать энергию из них. При этом данная группа получает конкурентное преимущество относительно других видов.

Образец бурового шлама или почвогрунта был перемешан и измельчён до однородного состояния. Для всех образцов определена влажность, с учётом которой далее рассчитана численность микрофлоры на 1 грамм сухого бурового шлама или почвогрунта.

Навеска бурового шлама или почвогрунта была помещена в выпарительную чашу, высушена до постоянной массы при 85°C. На основании потери массы после сушки определена влажность образца.

Далее из образца отбиралась навеска 1 г., вносилась в пробирку с 9 мл физраствора (0,9% хлорида натрия), добавлялся по одной капле стерильный ПАВ ТВИН-80, перекрывался стерильной резиновой пробкой и энергично встряхивался в течение одной минуты. После этого отстаивался в течение десяти минут и готовилась серия разведений полученной взвеси в 10, 100, 1000, 10000 и т. д. раз.

Из полученных разведений выполнялся посев на агаризованные среды для определения численности ряда физиологических групп.

Общее число микрофлоры было определено посевом в толщу мясопептонного агара (МПА). Исследуемая взвесь в объёме 1 мл была внесена в стерильную чашу Петри и залита 25-30 мл тёплой среды МПА, перемешана покачиванием. Инкубирование происходило при 30 °С в течение 3-5 суток. Численность выражена в миллионах клеток или колониеобразующих единиц на один грамм сухой почвы, млн КОЕ/г.

Численность сапрофитной микрофлоры (гнилостной, аммонифицирующей белки) определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность МПА (рис. 1). Посевы были подсчитаны через 3-5 суток термостатирования при 30 °С.

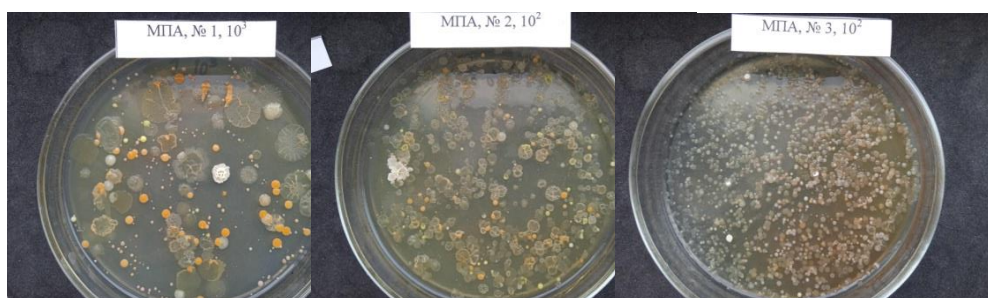


Рис. 1. Внешний вид посевов на МПА (группа сапрофитных бактерий)

В состав МПА входят готовый ГМФ агар, пептон сухой ферментативный, агар бактериологический, вода дистиллированная.

Численность актиномицетов, микромицетов и бактерий, использующих органическое вещество без азота, определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность крахмало-аммиачного арага (КАА). Подсчёт посевов был выполнен через 5-7 суток термостатирования при 30°C.

В состав среды КАА входят крахмал растворимый, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2HPO_4 , MgSO_4 , NaCl , CaCO_3 , агар бактериологический, вода дистиллированная.

Численность углеводородокисляющих бактерий (УОБ) была определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность агаризованной минеральной среды Мюнца с нефтью, выполняющую функции единственного источника углерода и энергии. Подсчёт посевов выполнен через 7–10 суток термостатирования при 30°C.

В состав среды Мюнца входят NaCl , KNO_3 , MgSO_4 , KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , агар бактериологический, нефть стерильная.

Численность микромицетов отдельно определена посевом 0,1 мл разведений взвеси на поверхность среды Чапека. Подсчёт выполнен через 3–5 суток термостатирования при 30°C.

В состав среды Чапека входят среда Чапека сухая, агар бактериологический.

В исследовании использованы следующие образцы почвогрунтов:

№1 – буровой шлам (контроль);

№2 – буровой шлам смешан с диатомитом и доломитовой мукой в соотношении 80:10:10 %;

№3 – буровой шлам смешан с диатомитом, доломитовой мукой, торфом и гуминовым препаратом «Росток» в соотношении 40:10:10:40%;

№4 – буровой шлам смешан с гипсом и глауконитом в соотношении 80:10:10%;

№5 – буровой шлам смешан с гипсом, глауконитом, торфом и гуминовым препаратом «Росток» в соотношении 40:10:10:40%.

Общая численность микрофлоры в образцах варьировалась от 51 до 271 млн КОЕ/г (табл.). Численность сапрофитов (аэробных аммонификаторов) составила 8,5 млн КОЕ/г для образца №4, для остальных образцов – от 34,0 до 62,0 млн КОЕ/г (рис. 1). На долю сапрофитов приходится от 16,7 до 24,8 % от общего количества микрофлоры.

Таблица

Результаты определения влажности и микробиологические анализы почвенных образцов

№	Влаж-ность, %	Численность, млн КОЕ/г							КАА/МПА
		Об-щая	Сапро-фитов	Общая на КАА	УОБ на Мюнца	Грибов на Чапека	Грибов на КАА	Актиноми-цетов на КАА	
1	0,3	271	61,0	99,3	22,0	0,08	0,1	1,0	1,63
2	2,1	204	34,0	31,9	13,6	0,01	0,2	0,2	0,94
3	4,1	250	62,0	50,6	13,0	3,33	10,4	7,3	0,81
4	2,2	51	8,5	8,7	2,0	0,02	0,03	0,6	1,02
5	5,5	210	45,2	57,8	17,8	0,21	0,4	4,9	1,27

Количество микроорганизмов, растущих на среде с минеральным азотом, варьировалось от 31,9 до 99,3 млн КОЕ/г для образцов №№ 1, 2, 3, 5. В образце №4 их количество также было минимальным и составило 8,7 млн КОЕ/г. Так, количество микроорганизмов, растущих на КАА, варьируется в пределах от 15,6 до 36,6 % от общей численности. Количество сапрофитов и растущих на КАА сопоставимо во всех образцах.

Численность УОБ в образце №4 была минимальной и составила 2,0 млн КОЕ/г. В остальных образцах численность УОБ была в пределах от 13,0 до 22,0 млн КОЕ/г.

Данные численности микрофлоры разных физиологических групп в логарифмическом масштабе представлены на рисунке 2. Логарифмическая шкала позволяет сравнить величины разного порядка.

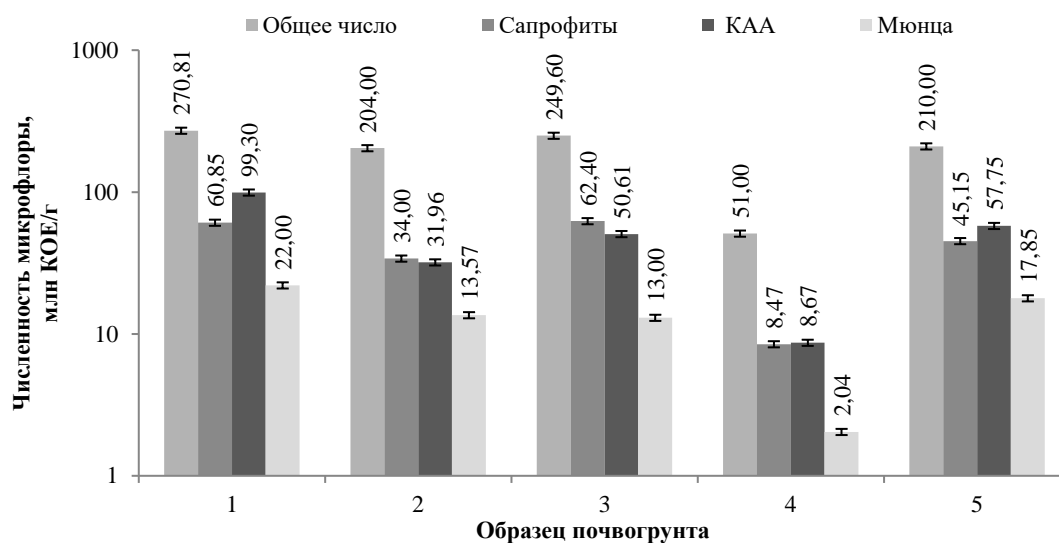


Рис. 2. Численность микрофлоры разных физиологических групп (шкала логарифмическая)

По рисунку 2 видно значимое отличие образца №4 по численности всех исследуемых групп микрофлоры. В данном образце содержится минимальное количество сапрофитов, бактерий, растущих на КАА и углеводородокисляющих бактерий, выращиваемых на среде Мюнца.

Коэффициент минерализации, рассчитываемый как отношение численности микрофлоры, растущей на КАА, к численности микрофлоры, растущей на МПА, был заметно выше единицы в образцах №№ 1 и 5 и составил 1,63 и 1,27 соответственно. В образцах №№ 2 и 4 данный коэффициент был близок к единице и составлял 0,94 и 1,02 соответственно. В образце № 3 наблюдается минимальное отношение КАА к МПА и составляет 0,81, что свидетельствует о наиболее низком темпе происходящих минерализационных процессов (рис. 3).

Почвенные микромицеты являются одними из основных компонентов биоты и имеют непосредственное отношение к процессам почвообразования и круговорота веществ в экосистемах северных территорий [13].

Грибная флора служит индикатором способности почвы к самовосстановлению после антропогенного воздействия [14–17].

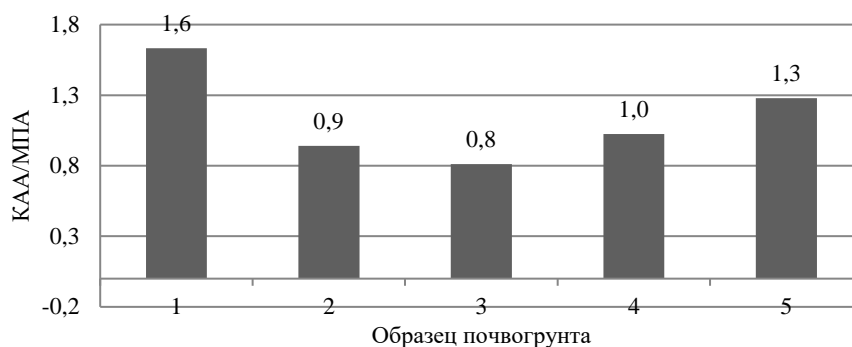


Рис. 3. Коэффициент минерализации (отношение численности микрофлоры, растущей на КАА, к численности микрофлоры, растущей на МПА)

Во всех образцах численность микромицетов была намного ниже, чем бактерий, что является нормой для почвогрунтов. Высокое содержание почвенных грибов может быть связано с такими проблемами, как кислая реакция почвенного раствора, нарушение водно-воздушного режима и другими.

Численность микромицетов, определённая на средах Чапека и КАА, была схожа во всех образцах, кроме №3, где численность составила 3,33 и 10,4 млн КОЕ/г соответственно. В остальных численность микромицетов, определённая на среде Чапека, варьировалась от 0,01 до 0,21 млн КОЕ/г, на КАА – от 0,03 до 0,4 млн КОЕ/г.

Численность актиномицетов в образцах №№ 1, 2, 4 варьировалась в пределах от 0,2 до 1,0 млн КОЕ/г, в образцах с внесением торфа (№№ 3 и 5) зафиксирована наибольшая численность – 7,3 и 4,9 млн КОЕ/г соответственно. При этом их доля в общей численности микрофлоры на КАА для образцов №№ 1 и 2 была наименьшей и составила 0,6 и 1%, выше в образцах №№ 4 и 5 – 6,7 и 8,4%. В образце №3 зафиксирована максимальная доля – 14% (рис. 4).

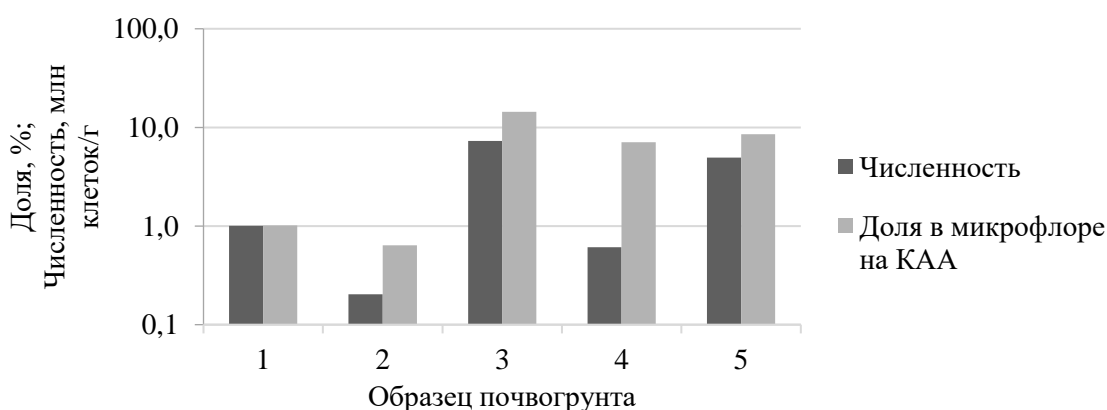


Рис. 4. Численность актиномицетов и их доля (в %) в численности всей микрофлоры на КАА

Актиномицеты способны формировать споры и таким образом переживать периоды неблагоприятных условий: недостаток питания, низкую влажность. В связи с этим высокое содержание актиномицетов может свидетельствовать о неблагоприятных условиях для вегетативных форм микрофлоры.

Результаты исследований показывают ингибирующее действие на микробоценоз водорастворимых солей и нефтепродуктов, входящих в состав бурового шлама, а также щелочной реакции среды бурового шлама. В исследуемых почвогрунтах наблюдается развитие общей численности микрофлоры.

Увеличение разнообразия микробоценоза исследуемых почвогрунтов свидетельствует о снижении концентраций водорастворимых солей и нефтепродуктов относительного исходного образца бурового шлама, а также о наличии дополнительных источников питания в виде торфа.

Таким образом, почвогрунты на основе буровых шламов с добавлением торфа и гуминового препарата «Росток» могут быть использованы как исходный материал для биологической рекультивации нарушенных земель.

Литература

1. Васильченко А.В., Воеводина Т.С. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. №10(185). С. 147–151.
2. Рядинский В.Ю., Соромотин А.В., Денeko Ю.В. Состав и свойства буровых отходов Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2004. №3. С. 51–55.
3. Глазовская М.А., Пиковский Ю.И. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах // Природа. 1980. №5. С. 118–119.
4. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестник Пермского университета. 2007. №5(10). С. 134–141.
5. Вельков В.В. Биоремедиация; принципы, проблемы, подходы // Биотехнология. 1995. №3-4. С. 20–27.
6. Григорьян Г.Р., Николаева Т.Г., Сунгатуллина Л.М. Изменение биологических параметров почвенной экосистемы в агробиоценозах в условиях различных систем земледелия // Георесурсы. 2011. №2(38). С. 9–13.
7. Сенчакова Т.Ю. Микромицеты черноземных почв как объект биоиндикации в антропогенно-трансформированных экосистемах // Наука и современность. 2010. №6-1. С. 55–59.
8. Пикушова Э.А., Букреев Н.А., Москалева С.К. Пшидаток Изменение численности микромицетов в черноземе, выщелоченном в зависимости от технологий возделывания озимой пшеницы сорта Фортуна // Научный журнал КубГАУ. 2012. №81. С. 459–475.
9. Сакаева Э.Х., Рудакова Л.В. Оценка биологической активности техногрунтов на основе буровых шламов для рекультивации нарушенных земель // Теоретическая и прикладная экология. 2020. №4. С. 192–197.
10. Тарасова С.С. Экологическая оценка почвогрунтов на основе буровых шламов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель в условиях Западной Сибири: дисс... канд. биол. наук. Тюмень, 2022. 195 с.

11. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
12. Комаревцева Л.Г. Микробиологическая активность почвы на фоне действия и последствия разных видов удобрений // Вестник АПК Верхневолжья. 2010. №3. С. 43–46.
13. Хабибуллина Ф.М. Характеристика почвенной микобиоты во вторичных лиственных лесах подзоны средней тайги (Республика Коми) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. №1-3. С. 891–895.
14. Назарько М.Д. Изменение состава почвенных микромицетов при интенсивном антропогенном воздействии в северных районах Кубани // Изв. вузов. Пищевая технология. 2007. №4. С. 110–111.
15. Колесникова И.Я., Воронин Л.В. Изменение комплексов почвенных грибов под действием различных систем обработки почвы и удобрений // Ярославский педагогический вестник. Естественные науки. 2011. №1. С. 114–118.
16. Воронин Л.В., Колесникова И.Я. Инициированные комплексы почвенных грибов в агроценозах // Ярославский педагогический вестник. 2012. №1. Т. III (Естественные науки). С. 90–93.
17. Куркина Ю.Н., Нгуен Тхи Лан Хьонг. Микромицеты в почвах Белгородской области под бобовыми культурами // Вестник защиты растений. 2014. №2. С. 51–54.
18. Utobo E.B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // Applied Ecology and Environmental Research. 2015. Vol. 13(1). P. 147–169. https://doi.org/10.15666/aeer/1301_147169
19. Baldrian P. Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis // Plant Soil Environmental. 2009. №55 (9). P. 370–378. <https://doi.org/10.17221/134/2009-PSE>
20. Dariush M.-T., Mina K.M. Crude oil-polluted soil induces ultrastructural and enzyme activity changes in the Shoot of Lentil // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2017. Vol. 10. №1. P. 112–121.

References

1. Vasil`chenko, A.V., & Voevodina, T.S. (2015). Problema e`kologicheskoy ocenki zagryazneniya pochv nefteproduktami. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 10(185), 147-151. (in Russ.).
2. Ryadinskij, V.Yu., Soromotin, A.V., & Deneko, Yu.V. (2004). Sostav i svojstva burovy`x otxodov Zapadnoj Sibiri. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 3, 51-55. (in Russ.).
3. Glazovskaya, M.A., & Pikovskij Yu.I. (1980). Skorost` samoochishheniya pochv ot nefi v razlichny`x prirodny`x zonax. *Priroda*, 5, 118-119. (in Russ.).
4. Nazarov, A.V. (2007). Vliyanie neftyanogo zagryazneniya pochvy` na rasteniya. *Vestnik Permskogo universiteta*, 5(10),134-141. (in Russ.).
5. Vel`kov, V.V. (1995). Bioremediaciya; principy`, problemy`, podxody`. *Biotexnologiya*, 3-4, 20-27. (in Russ.).

6. Grigor`yan, G.R., Nikolaeva, T.G., & Sungatullina, L.M. (2011). Izmenenie biologicheskix parametrov pochvennoj e`kosistemy` v agrobiocenozaх v usloviyax razlichny`x sistem zemledeliya. *Georesursy`*, 2(38), 9-13. (in Russ.).
7. Senchakova, T.Yu. (2010). Mikromicety` chernozemny`x pochv kak ob`ekt bioindikacii v antropogennno-transformirovanny`x e`kosistemax. *Nauka i sovremennost`*, 6-1, 55-59. (in Russ.).
8. Pikushova, E`.A., Bukreev, N.A., & Moskaleva, S.K. (2012). Pshidatok Izmenenie chislennosti mikromicetov v chernozeme, vy`shhelochennom v zavisimosti ot texnologij vozdeley`vaniya ozimoy pshenicy sorta Fortuna. *Nauchny`j zhurnal KubGAU*, 81, 459-475. (in Russ.).
9. Sakaeva, E`.X., & Rudakova, L.V. (2020). Ocenka biologicheskoy aktivnosti texnogrunтов na osnove burovy`x shlamov dlya rekul`tivacii narushenny`x zemel`. *Teoreticheskaya i prikladnaya e`kologiya*, 4, 192-197. (in Russ.).
10. Tarasova, S.S. (2022). E`kologicheskaya ocenka pochvogrunтов na osnove burovy`x shlamov dlya biologicheskogo e`tapa rekul`tivacii narushenny`x zemel` v usloviyax Zapadnoj Sibiri: diss... kand. biol. nauk. Tyumen`, 195. (in Russ.).
11. Zvyaginцев, D.G., Bab`eva, I.P., & Zenova, G.M. (2005). *Biologiya pochv*. M.: Izd-vo MGU, 445. (in Russ.).
12. Komarevceva, L.G. (2010). Mikrobiologicheskaya aktivnost` pochvy` na fone dejstviya i posledejstviya razny`x vidov udobrenij. *Vestnik APK Verxnevolzh`ya*, 3, 43-46. (in Russ.).
13. Xabibullina, F.M. (2014). Xarakteristika pochvennoj mikrobioty` vo vtorichny`x listvenny`x lesax podzony` srednej tajgi (Respublika Komi). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 1-3, 891-895. (in Russ.).
14. Nazar`ko, M.D. (2007). Izmenenie sostava pochvenny`x mikromicetov pri intensivnom antropogennom vozdeystvii v severny`x rajonax Kubani. *Izv. vuzov. Pishhevaya texnologiya*, 4, 110-111. (in Russ.).
15. Kolesnikova, I.Ya., & Voronin, L.V. (2011). Izmenenie kompleksov pochvenny`x gribov pod dejstviem razlichny`x sistem obrabotki pochvy` i udobrenij. *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik. Estestvenny`e nauki*, 1, 114-118. (in Russ.).
16. Voronin, L.V., & Kolesnikova, I.Ya. (2012). Inicirovanny`e komplekсы` pochvenny`x gribov v agrocenozaх. *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik*, 1. vol. III (Estestvenny`e nauki), 90-93. (in Russ.).
17. Kurkina, Yu.N., Nguen, & Txi Lan Xy`ong. (2014). Mikromicety` v pochvax Belgorodskoj oblasti pod bobovy`mi kul`turami. *Vestnik zashhity` rastenij*, 2, 51-54. (in Russ.).
18. Utobo, E.B., & Tewari, L. (2015). Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 13(1), 147-169. https://doi.org/10.15666/aer/1301_147169
19. Baldrian, P. (2009). Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis. *Plant Soil Environmental*, 55 (9), 370-378. <https://doi.org/10.17221/134/2009-PSE>

20. Dariush, M.-T., & Mina, K.M. (2017). Crude oil-polluted soil induces ultrastructural and enzyme activity changes in the Shoot of Lentil. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, vol. 10, 1, 112-121.

Дата поступления: 12.05.2023

Дата принятия: 06.09.2023

© Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., Тарасова С.С., 2023

УДК 504.064.47:332.132(571.53)
<https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/09>

Ржепка Э.А., Соколов С.Н., Ржепка Т.П.

К ВОПРОСУ О ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДАХ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. Rzhepka, S.N. Sokolov, T.P. Rzhepka

TO THE ISSUE OF SOLID MUNICIPAL WASTE IN THE IRKUTSK REGION

Аннотация. В статье представлены данные по твердым коммунальным отходам (ТКО) в Иркутской области как основном источнике загрязнения городских и загородных экосистем. ТКО в настоящее время представляют собой наиболее массовый и опасный вид мусора, способного привести к необратимым последствиям. В последние годы в нашей стране очень активное внимание уделяется вопросам сбора и переработки отходов. Задачи, которые ставят перед собой авторы, заключаются в подробном анализе ситуации с ТКО в Иркутской области и особое внимание уделено территориальному размещению уже действующих объектов и запланированных до 2027 года. К сожалению, население Иркутской области пока не готово к массовому разделению мусора по его происхождению и пригодности к вторичному использованию, но предлагается ряд мер, для изменения ситуации. Использованы статистический, сравнительно-географический, картографический методы, а также сравнительный анализ и синтез. В работе впервые проводится анализ работы региональных операторов в соответствии с федеральным проектом «Комплексная система обращения с ТКО». К 2030 году объем отходов, свозимых на полигоны Иркутской области, необходимо сократить в два раза, а сортироваться должно 100% всего выбрасываемого мусора. В результате исследования получены следующие выводы: область не готова к обработке и переработке отходов определенных категорий, например, стекла или гальванических элементов. Для ряда отходов просто не предусмотрены объекты переработки, что приводит к бесконтрольным выбросам и нарушению окружающей среды (почвы, воды, и атмосферного воздуха). Конечно, Правительство России и Иркутской области активно проводит реформирование системы обращения с ТКО.

Ключевые слова: класс опасности; переработка; полигон; размещение отходов; твердые коммунальные отходы; утилизация; территориальное распределение; хранение.

Сведения об авторах: Ржепка Элина Анатольевна, ORCID-0000-0002-4369-8061, канд. геогр. наук, Байкальский государственный университет / Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск,

Abstract. The article presents data on solid municipal waste (SMW) in the Irkutsk region as the main source of pollution of urban and suburban ecosystems. SMW is currently the most massive and dangerous type of waste, which can lead to irreversible consequences. In Russia, very active attention is being paid to the issues of waste collection and recycling in recent years. The objectives, which the authors set themselves, are a detailed analysis of the situation of SMW in the Irkutsk region. Special attention is focused on the location of already existing facilities as well as planned until 2027 ones. Unfortunately, the population of the Irkutsk region is not yet ready for mass separation of garbage according to its origin and recyclability, but a number of measures are proposed to change the situation. Statistical, comparative-geographical, cartographical and the method of comparative analysis and synthesis were used. The paper presents an analysis of the work of regional operators in accordance with the federal project "Integrated system of SMW management" carried out for the first time. The amount of waste taken to landfills in the Irkutsk region should be reduced by half by 2030 while sorted waste should gain 100 per cent of all garbage thrown away. The study results in the following conclusions: the region is not ready for processing and recycling of certain categories of waste such as glass or galvanic elements. There are simply no recycling facilities for a number of wastes, which leads to uncontrolled emissions and disturbance of the environment (soil, water, and atmospheric air) but the Government of Russia and the Irkutsk Region authorities are actively reforming the system of SMW management.

Keywords: hazard class; recycling; landfill; waste disposal; solid municipal waste; utilization; territorial distribution; storage.

About the authors: Elina A. Rzhepka, ORCID-0000-0002-4369-8061, Candidate of Geographical Sciences, Baikal State University / V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia, rjepka@yandex.ru; Sergey N.

Россия, rjepka@yandex.ru; Соколов Сергей Николаевич, ORCID-0000-0001-5639-6620, д-р геогр. наук, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, snsokolov1@yandex.ru; Ржепка Таисия Павловна, ORCID-0000-0002-2151-5789, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия, tasyarjpk@gmail.com Sokolov, ORCID-0000-0001-5639-6620, Doctor of Geographical Sciences, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, snsokolov1@yandex.ru; Taisia P. Rzhepka, ORCID-0000-0002-2151-5789, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, tasyarjpk@gmail.com

Ржепка Э.А., Соколов С.Н., Ржепка Т.П. К вопросу о твердых коммунальных отходах в Иркутской области // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 101-112. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/09>

Rzhepka, E.A., Sokolov, S.N., & Rzhepka, T.P. (2023). To the Issue of Solid Municipal Waste in the Irkutsk Region. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 101-112. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/09>

Известно, что в целом в Российской Федерации ежегодно производится до 3,8 млрд. т различных отходов, из которых перерабатывается в среднем лишь 10–15%. Твердые коммунальные отходы (ТКО) свозятся на свалки, на которых захоронено около 82 млрд. т мусора [6]. Иркутская область является территорией с высокой техногенной загрязненностью природных систем. Здесь, как и во многих других регионах России, достаточно остро стоит проблема обращения с отходами [18].

Основными производителями твердых бытовых отходов в Иркутской области являются юридические лица, осуществляющие предпринимательскую деятельность и соответственно ведущие хозяйственную активность, в результате которой эти отходы и образуются, и жители региона [8].

С географической точки зрения наиболее важным показателем является территориальная привязка или распределение отходов по условиям размещения источников, которые определяются и способами сбора, и методами утилизации и обезвреживания, транспортирования и хранения [9; 14; 17; 21; 23].

Условия расположения источников образования отходов во многом определяют возможные методы сбора, накопления, транспортирования, обработки, утилизации, обезвреживания, размещения отходов [1].

Если рассматривать карту Иркутской области именно по этим показателям, то в первую очередь проще всего, да и, наверное, точнее всего будет брать в качестве исследуемых единиц муниципальные образования [7]. Причем если у первого муниципального уровня функции советов в основном направлены на решение вопросов землепользования, транспорта и ЖКХ, то муниципальные советы второго уровня отвечают за вопросы образования, здравоохранения и экологический контроль. В Иркутской области выделено 42 муниципальных образования второго уровня, причем из них 10 городских округов и 32 района [13; 24].

Численность населения Иркутской области на 01.01.2023 составила 2363,4 тыс. человек, из них: 1834,5 тыс. человек – городское население (77,6% от общей численности) и 528,9 тыс. человек – сельское население (22,4% от общей численности населения).

С первых месяцев 2019 года в Российской Федерации начали создаваться региональные операторские компании, отвечающие за полную логистику работы с твердыми коммунальными отходами. Причем в некоторых случаях операторы могут иметь всю инфраструктуру на своем балансе, в других – часть инфраструктуры может быть собственностью предприятий партнеров. В Иркутской области действуют два оператора, разделивших между собой всю территорию. За «Южную» зону области отвечает «РТ-НЭО Иркутск», за «Северную» зону – «Братский полигон ТБО» [10].

Учитывая, что в год один житель города производит до 500 кг, а сельский – до 300 кг коммунальных отходов, причем из них около 25% составляют пищевые отходы, от 5 до 10% – бумажные, 50% – полимеры, металл, текстиль и стекло, ежегодно число отходов растет и загромождение территорий мусором имеет угрожающие темпы [3]. В соответствии с приказом Министерства жилищной политики, энергетики и транспорта Иркутской области от 28 июня 2019 г. №58-28-мпр «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Иркутской области» годовой норматив накопления ТКО в регионе установлен дифференцировано в зависимости от муниципальных образований [2].

Согласно федеральному проекту «Комплексная система обращения с ТКО» национального проекта «Экология» в Иркутской области должны неуклонно улучшаться показатели по объему ТКО, направленные на обработку и на утилизацию, то есть вторичную переработку (табл. 1).

Таблица 1

Динамика объема ТКО, направленных на обработку и утилизацию (тыс. т)

Годы	2019	2020	2021	2022	2023	2024 (план)
на обработку	2	2	6	23	328	342
на утилизацию	0	0	1	3	122	124

Из таблицы четко видно, что, начиная с 2022 года, произошел перелом в показателях обрабатываемых отходов. Если запланированные результаты будут совпадать с реальными цифрами, а тенденция увеличения сохранится в заданном объеме, то экологическая ситуация в Иркутской области значительно улучшится.

Несмотря на то, что с 1 января 2019 года отдельный сбор отходов стал обязательным, коммунальщики столкнулись с реальными трудностями, а зачастую и просто сопротивлением населения. Если проводить опрос каждого резидента в отдельности, то практически все понимают важность сортировки мусора и развития предприятий ресайклинга, но в действительности получается обратная картина: потребители равнодушны и ленивы для того, чтобы разделять мусор, значительно быстрее и проще все сбросить в один пакет и донести до ближайшего бака. Для изменения ситуации необходимо принимать меры на уровне государства и создавать социальную рекламу, систему поощрений и штрафов, благодаря которым возможно сдвинуть данный процесс и – самое главное – извлечь из него максимум выгоды не только для каждого жителя, но и для всей страны [12].

Пожалуй, первостепенную роль сможет сыграть усиление экологического образования на всех этапах обучения, с использованием передового опыта других стран в данном

вопросе, введение практических занятий с посещением предприятий по утилизации и переработке отходов, подробным пояснением и видеоподтверждением проблем загрязнения окружающей среды и вариантам их решения. Существуют проекты, когда, житель, купив соответствующий маркированный мешок или иным способом подтвердив, что разделение мусора произвел, может потраченные средства и время конвертировать в скидку на вывоз мусора. Внедрение такого решения было бы отличным предложением для населения. Суммы небольшие, но как важен элемент геймификации и в целом улучшения понимания для кого реализуются подобные программы [20; 22].

Изменения в сфере коммунальных отходов касаются не только жителей многоэтажных домов и благоустроенных квартир, но и владельцев отдельных усадеб (благоустроенных и неблагоустроенных). Как правило, последние практически не заключали договора на вывоз отходов, а пытались утилизировать их собственными силами, сжигая и закапывая. В настоящее время законодательство исключает такой способ уничтожения отходов и для всех жителей оплата рассчитывается по трем показателям, которые умножаются друг на друга и делятся на 12 месяцев:

- накопление ТКО (для жителей Иркутска, Братска и Ангарска – $0,085 \text{ м}^3$ на м^2 , для всех остальных – $0,063 \text{ м}^3$ на м^2);
- площадь жилого помещения без учета количества проживающих;
- тариф по оплате с учетом зоны: для «Северной» зоны – 626,96 руб. за м^2), для «Южной» зоны – 594,53 руб. за м^2 [19].

Проблема с системой сбора ТКО заключается еще и в том, что, к сожалению, даже единых контейнеров (неразделенных для сортировки) не всегда хватает (рис. 1). Кроме того, несвоевременное очищение контейнеров приводит к тому, что рядом с местом выноса отходов образуются стихийные свалки, которые являются местом скопления инфекций, распространения зловонного запаха, обитания насекомых, грызунов и собак [4; 5].

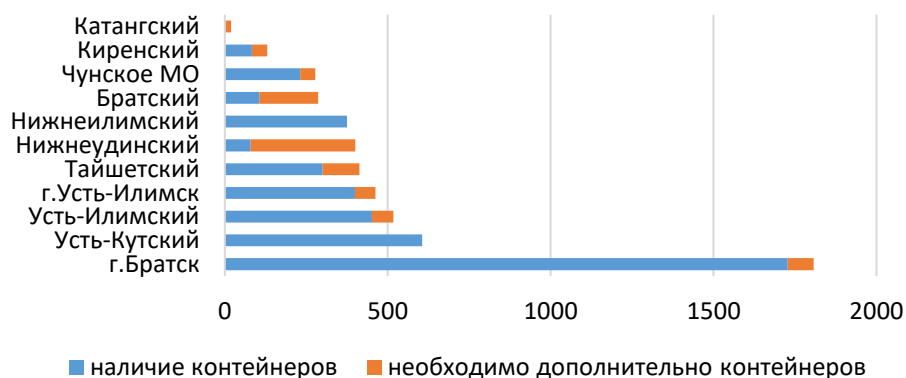


Рис. 1. Наличие контейнеров и их необходимость в 1-й зоне деятельности оператора

На рисунке 1 явно видно, что в 1-й зоне деятельности регионального оператора достаточно серьезная проблема складывается в Братском, Нижнеудинском и Тайшетском районах, где из-за отсутствия необходимого количества контейнеров достаточно большие участки покрываются горами мусорных пакетов. Не исключением является и Катангский

район, где в конце 2020 года не было ни одного специализированного контейнера для сбора коммунальных отходов. Все это приводит к общему ухудшению экологической обстановки.

Согласно Правилам обращения с ТКО, утвержденными Постановлением Правительства России от 12.11.2016 г № 1156, складирование ТКО осуществляется в контейнеры на контейнерных площадках, в мусороприемных камерах, в пакеты или другие, специально предоставленные региональным туроператором, емкости [16].

На рисунке 2 видно, что ситуация с контейнерами в Черемховском и Свирском муниципальных образованиях, а также Осинском, Баяндаевском, Заларинском, Балаганском районах стоит весьма остро. В Зиминском, Куйтунском, Аларском и Нукутском районах по данным Министерства природных ресурсов и экологии Иркутской области на 2020 год практически отсутствовали контейнеры, при том, что их необходимость назрела очень серьезно. В Иркутске при наличии 12275 контейнеров и 108 бункеров, все же не хватает еще 399 штук, и 376 необходимы для замены пришедших в негодность. В Ангарске практически решен вопрос с необходимым количеством контейнеров.

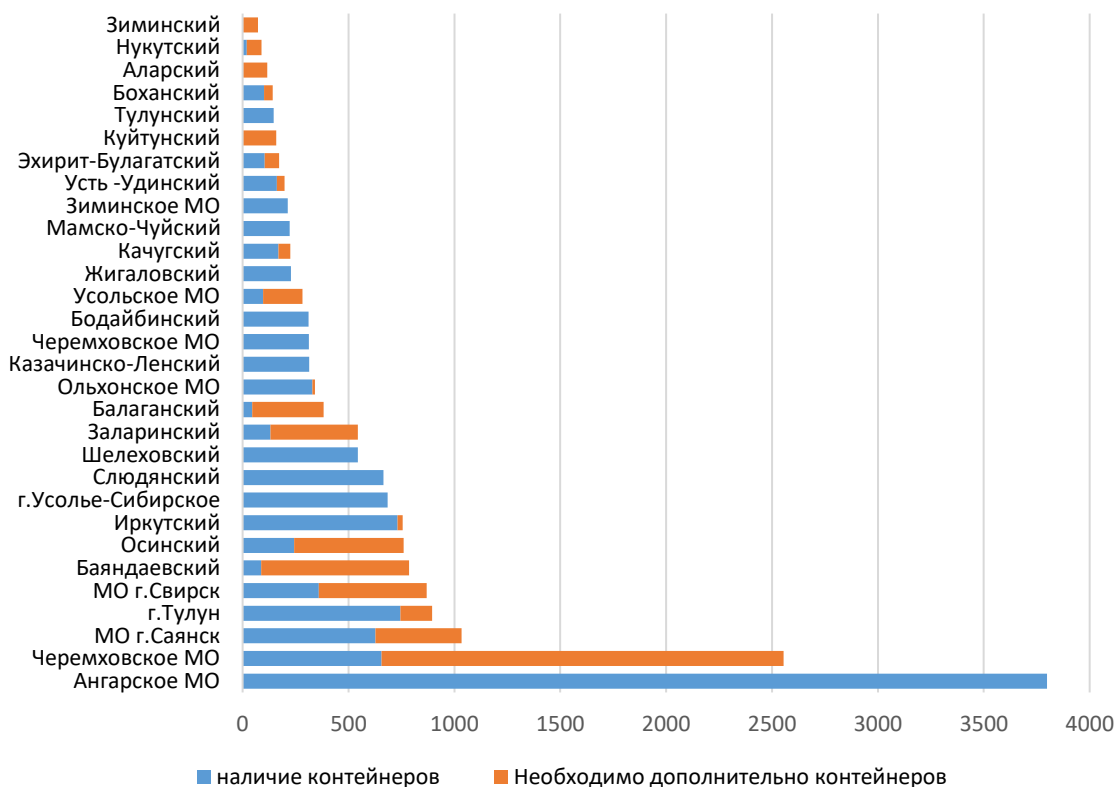


Рис. 2. Наличие контейнеров и их необходимость во 2-й зоне деятельности оператора

В марте 2023 года Правительство Иркутской области и компания ООО «РТ-НЭО Переработка» заключили концессионное соглашение о создании кластера, который будет включать в себя мусоросортировочный завод с комплексом по утилизации ТКО. Его планируют ввести в эксплуатацию к 2025 году. Создаваемый кластер «Центральный», будет включать в себя сортировку и утилизацию ТКО. Мусоросортировочный комплекс с системой утилизации будет построен на территории Ангарского городского округа. Для реализации проекта будут привлечены средства Российского экологического оператора. Мощность

объекта составит до 405 тыс. тонн в год обработки ТКО и до 141 тыс. тонн в год утилизации. Процесс утилизации предполагает систему биокомпостирования. В соответствии с федеральным проектом «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» к 2030 году объем отходов, свозимых на полигоны Иркутской области, необходимо сократить в два раза, а сортироваться должно 100% всего выбрасываемого мусора [15].

В государственный реестр объектов размещения отходов на территории районов Иркутской области включены места нахождения полигонов обработки, утилизации, обезвреживания отходов (рис. 3).

На этом рисунке отражены только те районы Иркутской области, где уже имеются полигоны для сбора и переработки отходов. Практически в каждом районе запланированы объекты для работы с отходами. Например, в Иркутском районе к 2027 году должно быть введено в строй два ресайклинг-центра, а также проведено расширение имеющегося полигона. В Бодайбинском районе на настоящий момент имеется четыре полигона, которые полностью выполняют свои функции и у каждого из полигонов имеется запас вместимости, особенно у полигона, созданного в 2015 году в 9 км от поселка Кропоткин. Те районы, которые не отражены на приведенном рисунке, на 2020 год не имели ни одного полигона, но большинство из них до 2026 года должны быть полностью обеспечены объектами утилизации.

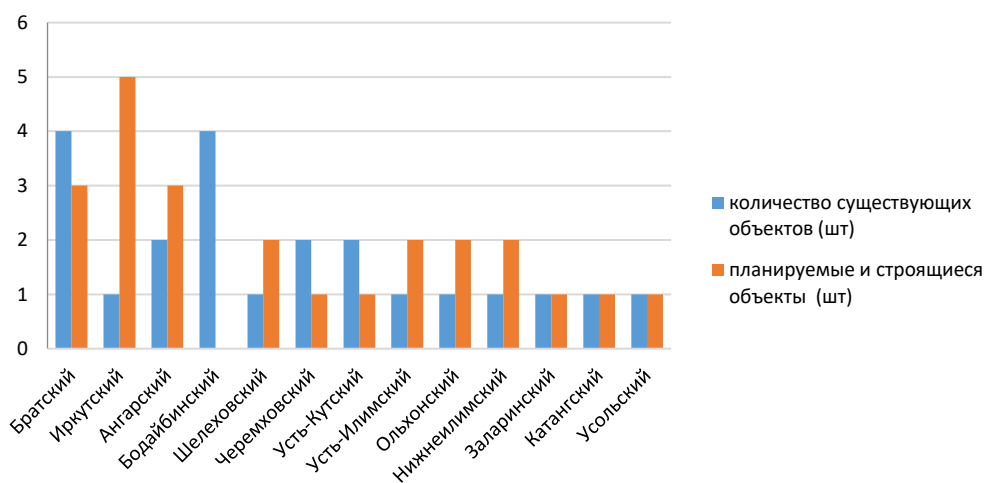


Рис. 3. Количество объектов обработки, утилизации, обезвреживания ТКО по районам области (2020 г.)

Общую картину по области можно видеть на рисунке 4, где отражено территориальное распределение мест нахождения объектов обработки, утилизации, обезвреживания отходов (действующих на 2020 г. и запланированных), а также показатели плотности населения, напрямую связанные с количеством образующихся ТКО.

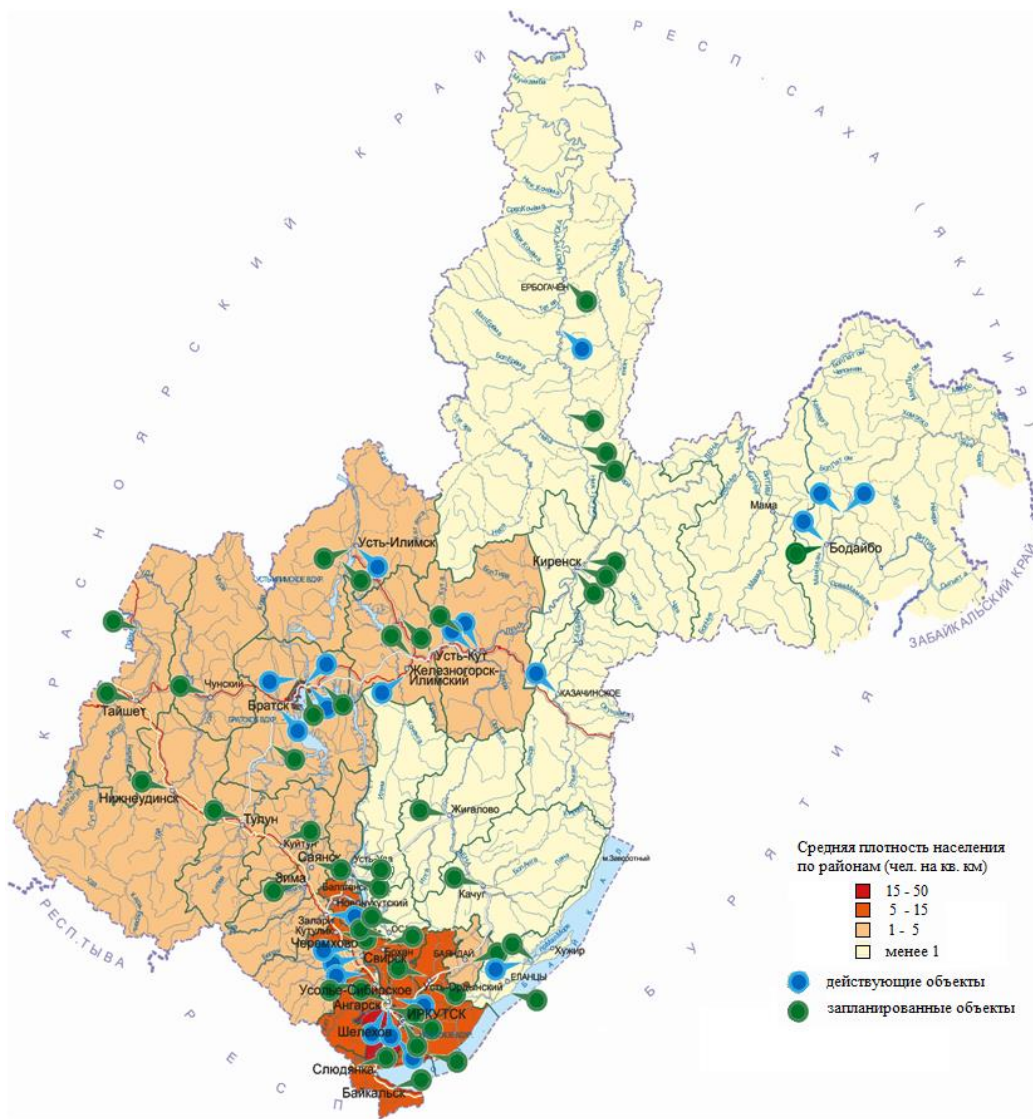


Рис. 4. Географическое распределение мест нахождения объектов обработки, утилизации, обезвреживания ТКО (действующих и запланированных)

На данной картосхеме отчетливо выделяются южные районы с плотностью населения до 50 чел. на км², которые подвергаются наибольшему воздействию. К ним относятся Иркутский, Усольский, Зиминский и часть районов Усть-Ордынского Бурятского округа. Крупные города области стоят особняком и нуждаются в пристальном внимании экологов из-за высокого показателя отходов, выбрасываемых в среднем на каждого жителя.

Региональный оператор по обращению с отходами в южных районах Иркутской области «РТ-НЭО Иркутск» построит в городе Байкальске ресайклинг-центр, где будут принимать отходы на переработку и сроки введения в эксплуатацию, определены 2023 годом. Во всех районах Усть-Ордынского Бурятского округа планируется по одному полигону или мусоросортировочной станции, которые полностью покроют все потребности округа в работе с отходами.

Три специально оборудованных комплекса для размещения отходов запланированы к 2025–2027 годам в Киренском районе, два – в Тайшетском, по одному – в Нижнеудинском, Чунском, Мамско-Чуйском, Качугском, Усть-Удинском районах. В Казачинском районе в

2019 году создан крупный полигон для ТКО вместимостью 200 тыс. т, и он достаточен для района. Несмотря на то, что полигон в Катангском районе работает с 2010 года и его остаточная вместимость составляет 91,3%, тем не менее, в ближайшие годы запланирован пуск сооружений по утилизации отходов поливинилхлорида в селах Непа, Подволошино и Преображенка.

В настоящий момент основная проблема, стоящая перед Правительством Иркутской области и региональными операторами, связана с неполным соответствием категорий ТКО с профилем предприятий, способными осуществить их правильное хранение, переработку и утилизацию. В основном ТКО состоит из стекла, полимерных материалов, бумаги, картона, резины. Часто к ним добавляются и отходы более опасных классов – батарейки, масла, кислоты, ртуть и другие. Если ТКО находятся долгое время без переработки, то за их разложение отвечают консументы, но в климатических условиях Сибири этот процесс происходит весьма медленно, и они могут превратиться в биологические и химические реакторы, ведущие к необратимым процессам в окружающей среде.

Для решения вопросов по оптимизации обращения с твердыми коммунальными отходами на территории Иркутской области необходима комплексная схема, учитывающая всестороннее участие государственных структур и населения, а также проектно-ориентированное управление имеющимися и запланированными инвестициями [11].

Полученные данные о размещении объектов ТКО могут быть использованы при разработке стратегий комплексного социально-экономического развития региона. В результате исследования получены следующие выводы: область не готова к обработке и переработке отходов определенных категорий, например, стекла или гальванических элементов. Для ряда отходов не предусмотрены объекты переработки, что приводит к бесконтрольным выбросам и нарушению окружающей среды (почвы, воды, и атмосферного воздуха).

Литература

1. Астафьев С.А., Хомкалов Г.В., Грушина О.В. Проблемы создания территориальных схем обращения с жилищно-коммунальными отходами на примере Иркутской области // *Vaikal Research Journal*. 2017. Т. 8. №1. С. 9. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2017.8\(1\).9](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2017.8(1).9)
2. Бегунов Д.А., Бегунова Л.А. Проблемы обращения с отходами в Иркутской области // *Транспортная инфраструктура Сибирского региона*. 2019. Т. 1. С. 123-125.
3. Галтаева А.Л., Куклина М.В. Проблемы обращения с отходами и анализ деятельности региональных операторов в Иркутской области // *Молодежный вестник ИрГТУ*. 2019. Т. 9. №2. С. 103–106.
4. Галяутдинов И.И., Конюхов В.Ю. Первые результаты решения проблемы утилизации твердых коммунальных отходов в Иркутской области в 2019 году // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2020. Т. 5. №2(18). С. 130–145. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-2-130-145>

5. Ерофеева М.Р. Реализация приоритетных направлений государственной политики по обращению с ТКО на территории Иркутской области // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2020. Т. 1. С. 249–254.

6. Заборцева Т.И. Проблемы средозащитной инфраструктуры Сибири: экономико-географический подход // Известия РАН. Серия географическая. 2014. №5. С. 47–55. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-5-47-55>

7. Заборцева Т.И. Что делать с отходами: нормативно-законодательные решения и региональная практика // ЭКО. 2016. №6(504). С. 155–167.

8. Заборцева Т.И., Майсюк Е.П., Макаренко Е.Л. Мониторинг обращения с отходами в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2020. №3(162). С. 72–80. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-3\(72-80\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-3(72-80))

9. Ималитдинов В.А. Совершенствование системы обращения с отходами // Твердые бытовые отходы. 2011. №2(56). С. 42–46.

10. Колдобская Н.А. Особенности статистического учета образования твердых отходов в муниципальных образованиях Байкальской природной территории // Экологические проблемы бассейна озера Байкал: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием (Улан-Удэ, 2022 г.). Улан-Удэ, 2022. С. 67–72. <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0621-3-2022-67-72>

11. Лыкова Л.В., Зелинская Е.В. Раздельно собранные отходы - это не мусор, а вторичное сырье // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции (Пенза, 2019 г.). Пенза, 2019. С. 97–101.

12. Моторин Д.Е. Раздельный сбор отходов в контексте реформирования отрасли обращения с твердыми коммунальными отходами // Актуальные проблемы российского права. 2022. Т. 17. №1(134). С. 178–188. <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.134.1.178-188>

13. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. 2018. Т. 28, №4. С. 535–544. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(4\).535-544](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(4).535-544)

14. Румянцева Е.Е. Кризис в области обращения с отходами в России: стратегические цели государственной политики и реальная практика // Экономика промышленности. 2019. Т. 12. №2. С. 159–166. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-2-159-16>

15. Сальникова М.Е., Зелинская Е.В. Методы сортировки твердых коммунальных отходов // Инновационные научные исследования. 2022. №4-2(18). С. 5–15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6613532>

16. Сахапова Т.С., Баранова К.О., Хуснутдинов М.И., Тихонов В.А. Методы обращения с отходами на предприятии: внедрение системы управления по обращению отходами // Mining Industry Journal. 2021. №5. С. 94–98. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-5-94-98>

17. Соколов С.Н. Разработка экологических программ городов и их пригородных зон // Урбоэкология: проблемы и перспективы развития: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции (Ишим, 2018 г.). Ишим, 2018. С. 30–34.

18. Соколов С.Н. Система обращения с отходами в Нижневартовском районе Югры // Муниципальные образования регионов России: проблемы исследования, развития и управления: материалы V всероссийской межведомственной научно-практической конференции с международным участием (Воронеж, 2022 г.). Воронеж, 2022. С. 395–399.

19. Теплицкая М.А., Манюкова И.И. Иркутская область. Сохранение экосистемы региона // Успехи в химии и химической технологии. 2022. Т. 36. №13(262). С. 95–96.

20. Ткачук Л.Т., Корж А.С. Оценка и методика расчета эффективности кластера по переработке и утилизации отходов (на примере Иркутской области) // Кластерная экономика и промышленная политика: теория и инструментарий. СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2015. С. 549–577.

21. Уланова О.В., Шевела М.А. Ситуационный анализ перехода на новую систему в области обращения с отходами в Иркутской области // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. №2(30). С. 5–20. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2018.02.01>

22. Ширапова С.Д., Дугаров Р.А. Современные проблемы управления и обращения твердыми коммунальными отходами в Байкальском регионе // Устойчивое развитие в Восточной Азии: Актуальные эколого-географические и социально-экономические проблемы: Материалы Международной научно-практической конференции (Улан-Удэ, 2018 г.). Улан-Удэ: Бурятский государственный университет, 2018. С. 376–378.

23. Шнитуленко Г.Ю., Фомина Е.Ю. Анализ схемы обращения с отходами в Слюдянском районе Иркутской области // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. №2. С. 35.

24. Щербачева И.Н., Файберг Т.В. Совершенствование финансового регулирования сферы обращения с твердыми коммунальными отходами // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30. №2. С. 281–291. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(2\).281-291](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(2).281-291)

References

1. Astaf'ev, S.A., Khomkalov, G.V., & Grushina, O.V. (2017). Problemy sozdaniya territorial'nykh skhem obrashcheniya s zhilishchno-kommunal'nymi otkhodami na primere Irkutskoi oblasti. *Baikal Research Journal*, vol. 8(1), 9. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2017.8\(1\).9](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2017.8(1).9) (in Russ.).

2. Begunov, D.A., & Begunova, L.A. (2019). Problemy obrashcheniya s otkhodami v Irkutskoi oblasti. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*, (1), 123-125. (in Russ.).

3. Galtaeva, A.L., & Kuklina, M.V. (2019). Problemy obrashcheniya s otkhodami i analiz deyatel'nosti regional'nykh operatorov v Irkutskoi oblasti. *Molodezhnii vestnik IrGTU*, vol. 9(2), 103-106. (in Russ.).

4. Galyautdinov, I.I., & Konyukhov, V.Yu. (2020). Pervye rezul'taty resheniya problemy utilizatsii tverdykh kommunal'nykh otkhodov v Irkutskoi oblasti v 2019 godu. *XXI vek*.

Tekhnosfernaya bezopasnost', vol. 5(2(18)), 130-145. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-2-130-145> (in Russ.).

5. Erofeeva, M.R. (2020). Realizatsiya prioritetnykh napravlenii gosudarstvennoi politiki po obrashcheniyu s TKO na territorii Irkutskoi oblasti. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki*, (1), 249-254. (in Russ.).

6. Zabortseva, T.I. (2014). Problemy sredozashchitnoi infrastruktury Sibiri: ekonomiko-geograficheskii podkhod. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, (5), 47-55. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-5-47-55> (in Russ.).

7. Zabortseva, T.I. (2016). Chto delat' s otkhodami: normativno-zakonodatel'nye resheniya i regional'naya praktika. *EKO*, (6(504)), 155-167. (in Russ.).

8. Zabortseva, T.I., Maisyuk, E.P., & Makarenko, E.L. (2020). Monitoring obrashcheniya s otkhodami v tsentral'noi ekologicheskoi zone Baikal'skoi prirodnoi territorii. *Geografiya i prirodnye resursy*, (3(162)), 72-80. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-3\(72-80\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-3(72-80)) (in Russ.).

9. Imalitdinov, V.A. (2011). Sovershenstvovanie sistemy obrashcheniya s otkhodami. *Tverdye bytovye otkhody*, (2(56)), 42-46. (in Russ.).

10. Koldobskaya, N.A. (2022). Osobennosti statisticheskogo ucheta obrazovaniya tverdyykh otkhodov v munitsipal'nykh obrazovaniyakh Baikal'skoi prirodnoi territorii. In *Ekologicheskie problemy basseina ozera Baikal: Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ulan-Ude, 67-72. <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0621-3-2022-67-72> (in Russ.).

11. Lykova, L.V., & Zelinskaya, E.V. (2019). Razdel'no sobrannye otkhody – eto ne musor, a vtorichnoe syr'e. In *Prirodnorekursnii potentsial, ekologiya i ustoichivoe razvitie regionov Rossii: Sbornik statei XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Penza, 97-101. (in Russ.).

12. Motorin, D.E. (2022). Razdel'nii sbor otkhodov v kontekste reformirovaniya otrasli obrashcheniya s tverdymi kommunal'nymi otkhodami. *Aktual'nye problemy rossiiskogo prava*, vol. 17(1(134)), 178-188. <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.134.1.178-188> (in Russ.).

13. Potapova, E.V. (2018). Problema utilizatsii plastikovykh otkhodov. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 28(4), 535-544. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(4\).535-544](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(4).535-544) (in Russ.).

14. Rummyantseva, E.E. (2019). Krizis v oblasti obrashcheniya s otkhodami v Rossii: strategicheskie tseli gosudarstvennoi politiki i real'naya praktika. *Ekonomika promyshlennosti*, vol. 12(2), 159-166. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-2-159-16> (in Russ.).

15. Sal'nikova, M.E., & Zelinskaya, E.V. (2022). Metody sortirovki tverdyykh kommunal'nykh otkhodov. *Innovatsionnye nauchnye issledovaniya*, (4-2(18)), 5-15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6613532> (in Russ.).

16. Sakhapova, T.S., Baranova, K.O., Khusnutdinov, M.I., & Tikhonov, V.A. (2021). Metody obrashcheniya s otkhodami na predpriyatii: vnedrenie sistemy upravleniya po obrashcheniyu otkhodami. *Mining Industry Journal*, (5), 94-98. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-5-94-98> (in Russ.).

17. Sokolov, S.N. (2018). Razrabotka ekologicheskikh programm gorodov i ikh prigorodnykh zon. In *Urboekosistemy: problemy i perspektivy razvitiya: Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ishim, 30-34. (in Russ.).

18. Sokolov, S.N. (2022). Sistema obrashcheniya s otkhodami v Nizhnevartovskom raione Yugry. In *Munitsipal'nye obrazovaniya regionov Rossii: problemy issledovaniya, razvitiya i upravleniya: materialy V vserossiiskoi mezhdedomstvennoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Voronezh, 395-399. (in Russ.).

19. Teplitskaya, M.A., & Manyukova, I.I. (2022). Irkutskaya oblast'. Sokhranenie ekosistemy regiona. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*, vol. 36(13(262)), 95-96. (in Russ.).

20. Tkachuk, L.T., & Korzh, A.S. (2015). Otsenka i metodika rascheta effektivnosti klastera po pererabotke i utilizatsii otkhodov (na primere Irkutskoi oblasti). In *Klasternaya ekonomika i promyshlennaya politika: teoriya i instrumentarii*. Sankt-Peterburg, 549-577. (in Russ.).

21. Ulanova, O.V., & Shevela, M.A. (2018). Situatsionnii analiz perekhoda na novuyu sistemu v oblasti obrashcheniya s otkhodami v Irkutskoi oblasti. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, (2(30)), 5-20. (in Russ.). <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2018.02.01>

22. Shirapova, S.D., & Dugarov, R.A. (2018). Sovremennye problemy upravleniya i obrashcheniya tverdymi kommunal'nymi otkhodami v Baikal'skom regione. In *Ustoichivoe razvitie v Vostochnoi Azii: Aktual'nye ekologo-geograficheskie i sotsial'no-ekonomicheskie problemy: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ulan-Ude, 376-378. (in Russ.).

23. Shnitulenko, G.Yu., & Fomina, E.Yu. (2017). Analiz skhemy obrashcheniya s otkhodami v Slydyanskoy raione Irkutskoi oblasti. *Molodezhnii vestnik IrGTU*, (2), 35. (in Russ.).

24. Shcherbakova, I.N., & Faiberg, T.V. (2020). Sovershenstvovanie finansovogo regulirovaniya sfery obrashcheniya s tverdymi kommunal'nymi otkhodami. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstv Филиппова ennogo universiteta*, vol. 30(2), 281-291. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(2\).281-291](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(2).281-291) (in Russ.).

Дата поступления: 19.05.2023

Дата принятия: 26.07.2023

© Ржепка Э.А., Соколов С.Н., Ржепка Т.П., 2023

УДК 631.879: 631.45: 631.95
https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/10

*Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А.,
Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М.*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

*A.A. Utombaeva, T.V. Kuznetsova, A.A. Vershinin,
E.R. Zainulgabidinov, A.M. Petrov*

EFFICIENCY OF APPLICATION OF MUNICIPAL WASTEWATER SLUDGE DURING RECLAMATION OF OILY GRAY FOREST SOIL

Аннотация. В условиях модельного эксперимента изучено влияние гранулированного осадка городских сточных вод на характеристики рекультивируемой серой лесной среднесуглинистой почвы с разным уровнем нефтяного загрязнения. Представлены основные физико-химические и микробиологические характеристики осадка сточных вод, сведения о содержании биогенных элементов, токсичности и эффективности деструкции нефтепродуктов в инкубируемых с гранулятом и без него почвенных образцах при разных подходах к рекультивации. Внесение гранулята осадков сточных вод в нефтезагрязненную серую лесную среднесуглинистую почву обогащает микробный пул, приводит к увеличению содержания углерода микробной массы. Дополнительное внесение с гранулированным осадком сточных вод биогенных элементов повышает устойчивость микробоценозов к поллютанту, сокращает сроки восстановления свойств и плодородия нефтезагрязненной почвы. Показано, что внесение в почвенные образцы, содержащие 2,7–19,7 г/кг нефтепродуктов гранулированного осадка сточных вод из расчета 10 т/га приводит к 1,7–2,5-кратной интенсификации деструкционных процессов, снижает токсическое действие поллютанта, что указывает на возможность его эффективного использования при рекультивации нефтезагрязненных почв.

Ключевые слова: осадки сточных вод; почва; нефтепродукты; рекультивация; токсичность; растения; микробный пул; биогенные элементы.

Сведения об авторах: Утомбаева Алина Александровна, ORCID: 0000-0002-7407-9108, мл. науч. сотр., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, semionova.alin@yandex.ru; Кузнецова Татьяна Васильевна ORCID: 0000-0001-7346-6221, науч. сотр. Институт проблем экологии и

Abstract. Under the conditions of a model experiment, the effect of granular sludge of urban wastewater on the characteristics of reclaimed gray forest medium-carbonaceous soil with different levels of oil pollution was studied. The main physicochemical and microbiological characteristics of wastewater sludge, information on the content of biogenic elements, toxicity and efficiency of petroleum products destruction in soil samples incubated with and without granulate under different approaches to reclamation are presented. The introduction of granulate of wastewater sludge into oily gray forest medium-carbonaceous soil enriches the microbial pool, leads to an increase in the carbon content of the microbial mass. The additional introduction of biogenic elements with granular sediment of wastewater increases the resistance of microbocenoses to pollutant, reduces the time for restoration of properties and fertility of oily soil. It has been shown that the introduction of granular sewage sludge into soil samples containing 2.7–19.7 g/kg of petroleum products at the rate of 10 t/ha leads to 1.7–2.5-fold intensification of destruction processes, reduces the toxic effect of the pollutant, which indicates the possibility of its effective use in the reclamation of oily soils.

Keywords: sewage sludge; soil; petroleum products; reclamation; toxicity; plants; microbial pool; biogenic elements.

About the authors: Alina A. Utombaeva, ORCID: 0000-0002-7407-9108, junior researcher for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, semionova.alin@yandex.ru; Tatyana V. Kuznetsova, ORCID:0000-0001-7346-6221, researcher for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences(SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, kuznetsovatatyana@mail.ru; Anatoly A. Vershinin, ORCID: 0000-0002-1807-5727, Candidate of Biological Sciences, senior researcher for the

недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, kuznetsovatatyana@mail.ru; Вершинин Анатолий Андреевич, ORCID: 0000-0002-1807-5727, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, A-vershinin@mail.ru; Зайнулгабидинов Эрик Ренатович, ORCID: 0000-0002-5372-9984, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, comp05@mail.ru; Петров Андрей Михайлович, ORCID: 0000-0002-5117-2609, канд. биол. наук, зав. лаб., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, zpm2@rambler.ru

Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, A-vershinin@mail.ru; Erik R. Zainulgabidinov, ORCID: 0000-0002-5372-9984, Candidate of Biological Sciences, senior researcher for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, comp05@mail.ru.; Andrey M. Petrov, ORCID: 0000-0002-5117-2609 Candidate of Biological Sciences, Head for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, zpm2@rambler.ru

Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А., Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М. Эффективность применения осадка городских сточных вод при рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 113-126. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/10>

Utombaeva, A.A., Kuznetsova, T.V., Vershinin, A.A., Zainulgabidinov, E.R., & Petrov, A.M. (2023). Efficiency of Application of Municipal Wastewater Sludge During Reclamation of Oily Gray Forest Soil. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 113-126. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/10>

Несмотря на попытки всемирного развития «зеленой энергетики», потребление нефти и продуктов ее трансформации в качестве топлива и ресурса для нефтехимической и химической промышленности не только не сокращается, но и увеличивается. В процессе добычи, транспортировки и хранения нефтепродуктов (НП) происходят их аварийные и технологические разливы, что приводит к загрязнению окружающей среды. Вопросы, касающиеся восстановления нефтезагрязненных земель, поднимаются давно, но до сих пор не потеряли своей актуальности. В настоящее время методы биологической рекультивации рассматриваются как наиболее перспективные. Относительно традиционных физико-химических методов почвенной ремедиации во многих случаях эти методы являются наиболее дешевыми и эффективными.

Усмановым с соавторами в процессе исследовательских работ было установлено, что загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами приводит к изменению скорости роста и развития растений [19], показано, что высокие концентрации нефтепродуктов приводят к замедлению развития или гибели растений, что связано с нарушениями водного обмена, затруднением поступления питательных веществ, кислородным голоданием [18].

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами требует проведения комплекса рекультивационных мероприятий, направленных на восстановления свойств и плодородия почв, скорейшее возвращение в хозяйственную деятельность земельных ресурсов.

Рекультивационные мероприятия наряду с приемами технической рекультивации, могут включать внесение повышающих окислительную активность почвенных микроорганизмов органических и минеральных удобрений, посадку растений, обогащение почвы специально селекционированными микробными комплексами, другие направленные на интенсификацию деструкционных процессов в нефтезагрязненной почве приемы. Проведение восстановительных, в том числе фиторекультивационных мероприятий, повышает скорость окисления поллютанта, интенсивность процессов восстановления свойств нефтезагрязненных почв [10; 13]. Фиторемедиация включает весь спектр метаболических процессов по поглощению, аккумуляции и разложению поллютантов, обеспечивает стабильное протекание процесса биологического распада углеводов при относительно невысокой стоимости затрат, не требует снятия плодородного слоя почвы, может применяться на больших площадях. Развитие корневой системы растений улучшает газообмен в глубинных слоях почвы, способствует развитию нефтеокисляющей микробиоты в естественной среде [13].

Рост численности населения крупных городов России приводит к увеличению, образующихся в процессе очистки сточных вод опасных для окружающей среды и здоровья человека осадков, что требует поиска путей их безопасной утилизации.

Во многих странах мира практикуется внесение осадков городских сточных вод (ОСВ) в почву в качестве удобрения, поскольку они содержат большое количество азота, фосфора и других веществ, необходимых для питания растений, богаты органическими веществами [15; 17].

Однако вносить в почву необработанные осадки сточных вод следует с осторожностью. Всегда существует опасность загрязнения грунтовых вод и почв тяжелыми металлами, патогенной микрофлорой, яйцами гельминтов, дурно пахнущими веществами, которые имеются в составе осадков и илов [2; 17].

Невозможность прямого вторичного использования содержащих биологически доступное органическое вещество и биогенные элементы ОСВ определяется необходимостью их предварительного обеззараживания. Термомеханическая обработка осадков решает данную проблему, что позволяет рассматривать обработанный осадок как гранулированный продукт, который может быть использован при рекультивации загрязненных и деградированных почв, в качестве органо-минерального удобрения. Правильное применение ОСВ в качестве комплексных органо-минеральных удобрений, богатых азотом, фосфором и калием позволяет рентабельно повышать плодородие исходно бедных почв и урожайность культур [1].

Цель исследования – изучить влияние внесения гранулированного осадка городских сточных вод на характеристики серой лесной среднесуглинистой почвы в зависимости от уровня нефтяного загрязнения и выбранного подхода к рекультивации.

В эксперименте использовали серую лесную среднесуглинистую почву имеющую следующие характеристики: гумус – 4,4%; органическое вещество – 2,8%; $pH_{вод}$ – 6,25; $P(P_2O_5)_{подв}$ – 10,3 мг/100 г; $K(K_2O)_{подв}$ – 8,1 мг/100 г; $N_{вал}$ – 0,21%.

Почвы были искусственно загрязнены парафинистой, сернистой смолистого типа нефтью Ямашинского месторождения. Содержание НП в исходных опытных образцах составляло: 2,7 г/кг; 6,1 г/кг; 14,4 г/кг; 19,7 г/кг в вариантах В1, В2, В3, В4, соответственно.

С целью изучения возможности интенсификации процессов восстановления свойств нефтезагрязненной почвы в работе был использован термомеханически обработанный ОСВ МУП «Водоканал» г. Казани в виде достаточно устойчивого к влаге гранулята (далее «Гранулят»).

Гранулят характеризуется высоким содержанием биологически доступных органических веществ (табл. 1), отсутствием гельминтов и патогенной микрофлоры [22] и фактически является комплексным органо-минеральным удобрением, с потенциальной возможностью стимуляции почвенных микробиологических процессов [12].

Таблица 1

Основные характеристики гранулята ОСВ

Влажность, %	Орг. в-во, %	Зольность, %	N _{общ.} , %	P _{общ.} , %	K _{общ.} , %	P _{подв.} , мг/кг	pH _{сол.}	Класс опасности
6,3	60,4	39,6	3,0	1,5	0,18	2000	6,2	IV

Проведенный эксперимент включал три параллельных опыта, в которых исследовались (табл. 2):

- чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы без гранулята (опыт Т);
- чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га (опыт М);
- чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га в которые была посажена смесь растений (опыт Ф).

Проводимые опыты условно обозначены: Т – техническая рекультивация; М – микробиологическая рекультивация; Ф – фито-микробиологическая рекультивация.

В опыте Т контролем (К) служила чистая почва, в опытах М и Ф чистая почва с гранулятом.

Таблица 2

Варианты опытов

Т	М	Ф
Чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы	Чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га	
42 суточная инкубация в условиях перемешивания и увлажнения	42 суточная инкубация в условиях перемешивания и увлажнения	42 суточное культивирование растений в условиях увлажнения

В эксперименте в качестве опытных емкостей использовали пластиковые горшки диаметром 11 см и объемом 550 мл, содержащие по 400 г почвы. Количество повторностей в каждом варианте – 3. Инкубирование почв проводили в лабораторных условиях в течение 6 недель при температуре 19–25°C, влажности 20–25%, 16-часовом освещении фитолампами с интенсивностью 4000 люкс. Пробы Т и М в ходе эксперимента периодически перемешивались.

Выбор растений для лабораторно-вегетационного опыта определялся результатами ранее проведенных исследований [20]. В опыте Ф была использована смесь из двух растений: однодольного – рожь посевная (*Secale cereale L.*) и двудольного – вика посевная (*Vicia sativa L.*), которые высевали в почвенные образцы в соотношении 1:1 (6 + 6 растений). Местоположение вегетационных сосудов ежедневно меняли. Через 14 суток инкубации в каждой емкости оставляли по 6 растений (3 + 3). На 42 сутки эксперимента растения аккуратно удаляли, а почвенные образцы анализировали.

Качественный и количественный состав микроорганизмов изучали методом посева почвенной суспензии на диагностические среды с использованием общепринятых методов [9]. Содержание углерода микробной биомассы (Смик) определяли согласно [3–5].

Определение содержания валовых форм азота и фосфора проводили по [14], подвижного фосфора по ГОСТ 26204-91 [6]. Содержание НП в почве определяли ИК-спектрофотометрическим методом на анализаторе КН-2м [16]. Определение острого токсического действия проводили согласно ФР.1.39.2006.02264 [21] на трех тест-растениях: пшеница обыкновенная (*Triticum vulgare L.*); рожь посевная (*Secale cereale L.*); вика посевная (*Vicia sativa L.*).

Режим термомеханической обработки ОСВ МУП «Водоканал» г. Казани обеспечивает получение гранулята, характеристики которого не ограничивают возможность его использования в качестве удобрения под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры, в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов ТБО [7; 8; 22].

Гранулят ОСВ содержит необходимые для развития растений и почвенных микроорганизмов органические вещества и биогенные элементы [11], что существенно повышает ценность получаемого продукта (табл. 1), содержит широкий перечень микроорганизмов, способных обогатить микробиоценозы нарушенных в ходе сельскохозяйственной деятельности, при антропогенном и техногенном воздействии земель (табл. 3).

Таблица 3

Микробиологические характеристики гранулята ОСВ

Микроорганизмы	Количество, КОЕ/г абс. сух. массы
Гетеротрофные	$1 \cdot 10^9$
Углеводородокисляющие	$29.5 \cdot 10^6$
Актиномицеты	$4.9 \cdot 10^7$
Микромицеты	≤ 100
Бактерии, утилизирующие минеральный азот	$1.0 \cdot 10^8$
Целлюлозоразрушающие	$0.5 \cdot 10^4$
Нитрификаторы	1

Начальное содержание (Н) углерода микробной массы (Смик) в образцах серой лесной почвы практически линейно зависело от дозы внесенной нефти (рис. 1). Начальное содержание Смик в почвенных образцах с гранулятом достоверно не отличалось от образцов без гранулята.

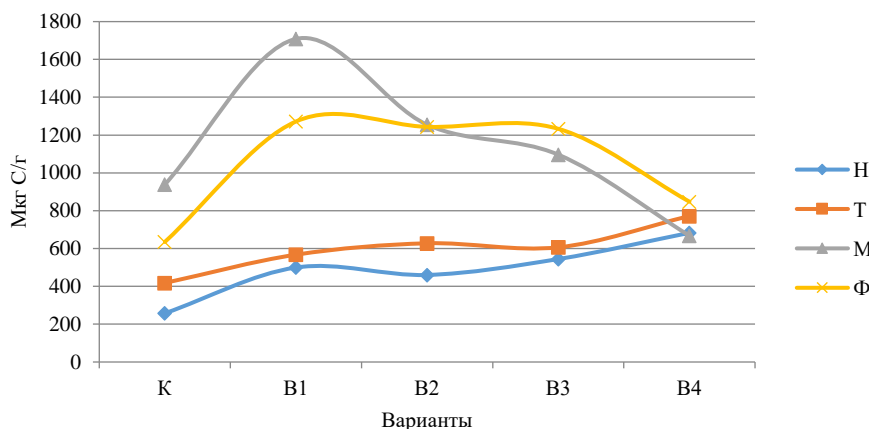


Рис. 1. Содержание углерода микробной биомассы в зависимости от концентрации поллютанта и подхода к рекультивации серой лесной почвы

Инкубирование почвенных образцов опыта Т не привело к значительному росту Смик, содержание которого также линейно зависело от дозы, исходно внесенной в почвенные образцы нефти.

В отличие от опыта с технической рекультивацией, в опыте М максимальное содержание Смик была зарегистрировано в варианте с минимальной испытанной концентрацией поллютанта (В1), с последующим снижением значений Смик по мере увеличения содержания НП в почве. В вариантах В1–В3 опыта Ф содержание Смик имело близкие значения. В вариантах В4 во всех опытах концентрация Смик отличалась незначительно.

Инкубация нефтезагрязненных образцов приводила к увеличению численности большинства исследованных групп микроорганизмов, однако в опытах с гранулятом она была выше, чем в образцах без гранулята (табл. 4). Гранулят ингибировал рост бактерий, утилизирующих минеральный азот (БУМА), стимулировал развитие гетеротрофных (ОМЧ), углеводородокисляющих (УОМ), целлюлозоразрушающих (ЦР) микроорганизмов и нитрификаторов, численность последних в вариантах В1 и В2 опыта М была в десятки, а опыта Ф в сотни раз выше, чем в опыте без гранулята. В вариантах с максимальным содержанием поллютанта (В4) влияние гранулята на микробный пул в опытах нивелируется.

Таблица 4

Изменение численности микроорганизмов в нефтезагрязненных образцах с гранулятом и без после их 42 суточного инкубирования (кратность относительно начального содержания, раз)

Группы микроорганизмов	Варианты											
	В1			В2			В3			В4		
	Т	М	Ф	Т	М	Ф	Т	М	Ф	Т	М	Ф
ОМЧ	2,3	5,4	6,1	0,9	3,2	2,6	1,5	3,7	3,0	1,1	1,1	1,2
УОМ	2,0	2,0	4,4	1,6	2,1	2,5	1,2	2,3	1,6	1,7	1,2	2,2
Актиномицеты	1,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,8	0,3	0,04	0,01	0,1
Микромицеты	1,2	23,6	31,1	1,1	22,8	26,3	1,3	12,7	24,5	1,1	0,9	12,7
БУМА	1,8	0,5	0,3	0,6	0,3	0,3	2,4	0,6	0,2	2,6	0,4	0,3
ЦР	1,7	7,2	9,1	0,2	3,0	3,8	0,5	2,9	4,6	0,8	0,04	1,2
Нитрификаторы	8,0	86,0	138,5	1,0	32,0	139,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Численность микроорганизмов в опытных образцах после инкубации в целом согласуется с результатами определения содержания Смик.

Учитывая роль биогенных элементов в функционировании почвенного биоценоза и деструкции поллютантов, представлялось важным проследить за изменением их содержания в процессе инкубации.

Внесение гранулята в исходную почву приводило к увеличению валового содержания азота в образцах К-В4 на 14–25%, при отсутствии корреляции между содержанием азота и НП в почве. Валовое содержание фосфора в образцах после внесения гранулята также повысилось, причем в вариантах В3 и В4 значительно, увеличение составило 59% и 39%, соответственно.

В вариантах опыта Т после инкубирования валовое содержание азота и фосфора в пробах практически не изменилось (рис. 2). Содержание $N_{вал}$ в опытах с гранулятом было закономерно выше, чем без него. Причем в большинстве образцов после культивирования растений оно было выше, чем в опыте с микробиологической рекультивацией. Валовое содержание фосфора в опытах М и Ф после инкубации было выше, чем в опыте без гранулята.

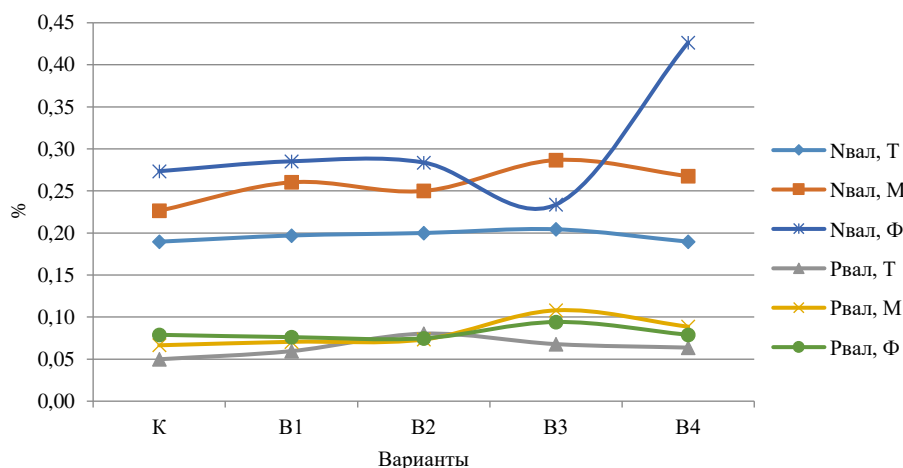


Рис. 2. Валовое содержание азота и фосфора (P_2O_5) в почвенных образцах после эксперимента

Следует отметить, что доля подвижных форм фосфора в опытах с гранулятом также была выше, чем в опыте без него (табл. 5).

Таблица 5

Доля подвижных форм фосфора в почвенных образцах после эксперимента

Варианты	Опыты		
	Т	М	Ф
К	0,07	0,11	0,10
В1	0,05	0,10	0,09
В2	0,03	0,09	0,09
В3	0,05	0,07	0,06
В4	0,04	0,09	0,10

Результаты проведенных анализов показали, что в вариантах, исходно содержащих 2,7 г/кг нефтепродуктов, эффективность их деструкции во всех опытах имела близкие значения.



При более высоких концентрациях загрязнителя в присутствии гранулята интенсивность разложения НП была в 1,7–2,5 раза выше (рис. 3). В опыте Ф, в отсутствие перемешивания почвы в вариантах В3 и В4 скорость разложения загрязнителя была ниже, чем в опыте М.

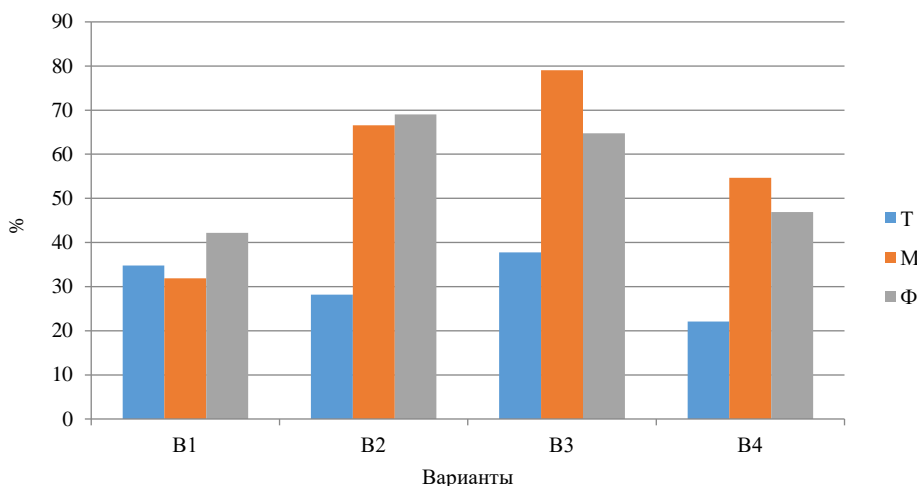


Рис. 3. Эффективность деструкции нефтепродуктов при разных подходах к рекультивации серой лесной почвы

Наряду со снижением содержания НП во всех опытах наблюдалось уменьшение токсичности по отношению ко ржи посевной и вике посевной (рис. 4, 5). После инкубирования все варианты опыта Ф были не токсичны для ржи посевной, при этом в вариантах В1 и В2 наблюдалась стимуляция роста корней (рис. 4). Хотя конечное содержание нефтепродуктов в опытах с микробиологической и фито-микробиологической рекультивацией сопоставимо, в вариантах В3 и В4 опыта М сохраняется токсическое действие загрязнителя на растения (фитозффект более 20%). В опыте без гранулята (Т) в вариантах В2-В4 зарегистрировано острое токсическое действие на рожь посевную.

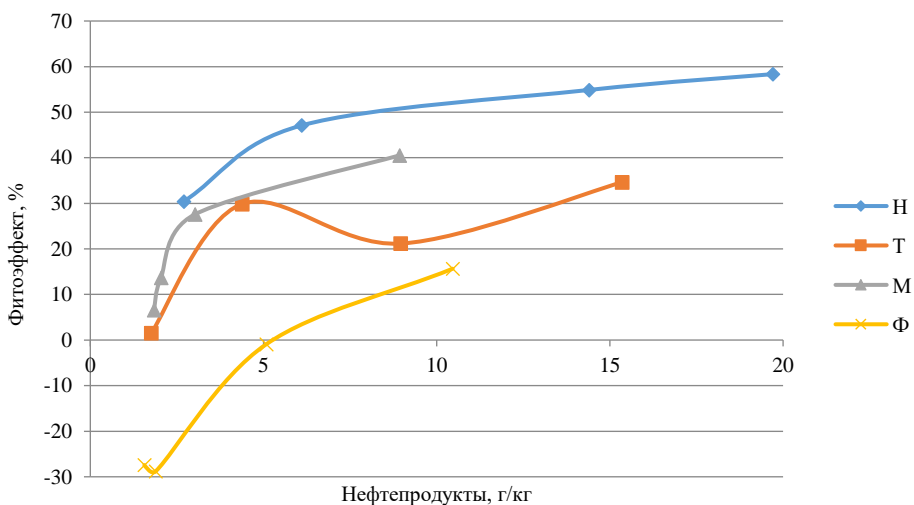


Рис. 4. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на рост корней ржи посевной (Н – токсичность нефтезагрязненных проб до инкубирования)

После инкубации незначительная токсичность для вики посевной проявлялась в варианте В3 опыта Т и варианте В4 опыта Ф. При микробиологической рекультивации варианты В1 и В2 оказывали стимулирующее действие на рост корней вики, а в остальных вариантах опыта токсичность отсутствовала (рис. 5).

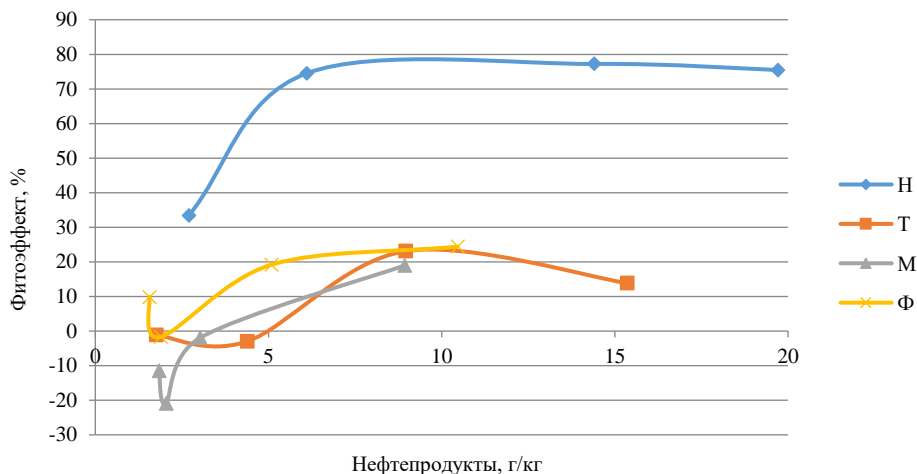


Рис. 5. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на рост корней вики посевной

Хотя исходные загрязненные нефтью образцы для пшеницы обыкновенной были менее токсичны, чем для ржи и вики, после инкубации большинство почвенных образцов ингибировали рост корней пшеницы, причем токсичность в вариантах В2-В4 опыта М, была выше, чем вредное воздействие исходных нефтезагрязненных образцов (рис. 6).

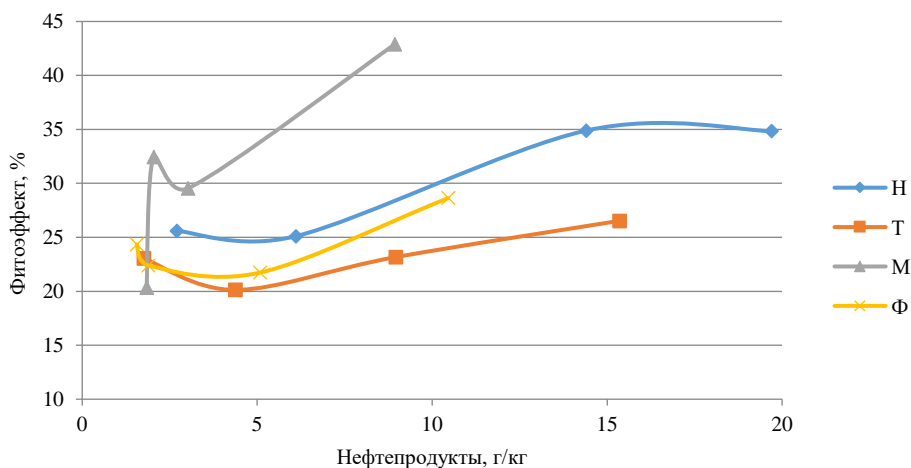


Рис. 6. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на рост корней пшеницы обыкновенной

Полученные результаты еще раз подтверждают более высокую устойчивость ржи и вики посевных в сравнении с пшеницей обыкновенной к токсичному действию нефти и продуктов ее трансформации [20].

1. Проведенные исследования показали, что внесение гранулята осадков сточных вод в нефтезагрязненную серую лесную среднесуглинистую почву обогащает микробный пул, приводит к увеличению содержания углерода микробной массы.

2. Дополнительное внесение с гранулированным осадком сточных вод биогенных элементов повышает устойчивость микробоценозов к поллютанту, сокращает сроки восстановления свойств и плодородия нефтезагрязненной почвы.

3. В присутствии гранулята интенсифицируются процессы окисления содержащихся в почве нефтепродуктов, эффективность деструкции которых определяется, как их концентрацией, так и выбранным подходом к биологической рекультивации.

4. Сопоставление токсичности почвенных образцов с разным уровнем нефтяного загрязнения после технической, микробиологической и фито-микробиологической рекультивации показало, что ответная реакция на остаточное содержание поллютанта зависит от вида, выбранного в качестве тест-объекта растения.

5. Результаты проведенных опытов позволяют выбрать наиболее экономически и экологически эффективную технологию рекультивации почв при разных уровнях их нефтяного загрязнения.

6. Использование осадков сточных вод городских очистных сооружений в виде гранулированного продукта позволит утилизировать опасный для окружающей среды отход, снизить затраты и получить дополнительный экологический эффект при рекультивации нефтезагрязненных почв.

Литература

1. Бадарч Б., Васенев И.И., Сюняев Н.К. Агроэкологическая оценка последствий применения осадка сточных вод на дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах / Материалы международной научно-практической конференции (Нижний Новгород, 11-12 декабря 2014 г.). 2014. С. 34–37.

2. Буренков С.В., Грачев А.Н., Забелкин С.А. Термическая утилизация иловых осадков сточных вод методом быстрого пиролиза в сеточном реакторе // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 40–43.

3. Вершинин А.А., Каримуллин Л.К., Петров А.М., Кузнецова Т.В. Влияние фиторекультивационных мероприятий на активность микробного сообществанефтезагрязненной аллювиальной дерновой почвы // Российский журнал прикладной экологии. 2021. №1. С. 52–57.

4. Вершинин А.А., Каримуллин Л.К., Утомбаева А.А., Петров А.М. Микробный углерод серых лесных почв в условиях длительного нефтяного загрязнения // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 2. С. 47–55. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.2.47.55>

5. Вершинин А.А., Петров А.М., Каримуллин Л.К., Шурмина Н.В. Культивирование высших растений и дыхательная активность нефтезагрязненных почв // *Российский журнал прикладной экологии*. 2016. №3. С. 46–51.

6. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО: утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29.12.91 № 2389: дата введения 01.07.93

7. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений.

8. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия.

9. Егоров Н.С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

10. Зайнулгабидинов Э.Р., Игнатьев Ю.А., Петров А.М. Влияние фиторемедиации на профиль углеводов нефти в аллювиальных дерновых почвах // *Российский журнал прикладной экологии*. 2021. №2. С. 53–60.

11. Исследование и оценка физико-химических, токсикологических и микробиологических характеристик гранулята – термически обработанного илового осадка биологических очистных сооружений канализации и научное обоснование направлений его утилизации» / Отчет Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан. Казань, 2022. 23 с.

12. Каримуллин Л.К., Петров А.М., Вершинин А.А., Князев И.В. Ферментативная активность серой лесной почвы после внесения гранулята осадка городских сточных вод // «Химия и инженерная экология – XXII». Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной 90-летию кафедры общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (Казань, 23-24 сентября 2022 г). 2022. С. 220–223.

13. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Шамаева А.А., Григориади А.С. Биологическая активность чернозема выщелоченного, загрязненного продуктами сгорания попутного нефтяного газа, и возможности ее восстановления при фиторемедиации // *Почвоведение*. 2009. №4. С. 498–503.

14. Мещеряков А.М. Разложение почв серной и хлорной кислотами для определения азота и фосфора // *Почвоведение*. 1963. № 5. С. 21–30.

15. Плеханова И.О. Степень самоочищения агродерново-подзолистых супесчаных почв, удобренных осадком сточных вод // *Почвоведение*, 2017. №4. С. 506–512. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17040086>

16. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектromетрии.

17. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.

18. Усманов И.Ю., Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И. Распространение влияния нефтяного шлама // Вестник Нижневартковского гос. ун-та. 2015. №3. С. 84–94.
19. Усманов И.Ю., Овечкина Е.С., Юмагулова Э.Р., Иванов В.Б., Щербаков А.В., Шаяхметова Р.И. Проблемы самовосстановления экосистем Среднего Приобья при антропогенных воздействиях нефтедобывающего комплекса // Вестник Нижневартковского гос. ун-та. 2015. №1. С. 79–86.
20. Утомбаева А.А., Зайнулгабидинов Э.Р., Кузнецова Т.В., Петров А.М. Скрининг растений для фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Российский журнал прикладной экологии, 2022. №1. С. 68–75. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.68.75>
21. ФР.1.39.2006.02264 Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв.
22. Экологический сертификат соответствия № RA.RU.11HA15.П.00114 «Удобрение органическое гранулированное на основе осадков сточных вод, изготавливаемое серийно по ТУ 37.00.20-001-03317648-2022 на очистных сооружениях канализации г. Казани». Выдано ООО «БИФАР-Экология» срок действия 16.08.2022–15.08.2025 г.

References

1. Badarch. B., Vasenev. I.I., & Syunyaev. N.K. (2014). Agroekologicheskaya ocenka posledejstviya primeneniya osadka stochnyx vod na dernovo-podzolisty'e pochvy legkogo granulometricheskogo sostava. *Perspektivy i problemy razmeshheniya otkodov proizvodstva i potrebleniya v agroekosistemax*. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Nizhnij Novgorod, 11-12 dekabrya 2014 g.), 34-37. (in Russ.).
2. Burenkov, S.V., Grachev, A.N., & Zabelkin, S.A. (2016). Termicheskaya utilizaciya ilovyx osadkov stochnyx vod metodom bystrogo piroliza v setochnom reaktore. *Vestnik texnologicheskogo universiteta*, vol. 19, 22, 40-43. (in Russ.).
3. Vershinin, A.A., Karimullin, L.K., Petrov, A.M., & Kuznecova, T.V. (2021). Vliyanie fitorekul'tivacionnyx meropriyatij na aktivnost mikrobnogo soobshhestvaneftezagryaznennoj allyuvial'noj dernovoj pochvy. *Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii*, №1, 52-57. (in Russ.).
4. Vershinin, A.A., Karimullin, L.K., Utombaeva, A.A., & Petrov, A.M. (2022). Mikrobnyj uglerod seryx lesnyx pochv v usloviyax dlitel'nogo neftyanogo zagryazneniya. *Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii*, 2, 47-55. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.2.47.55> (in Russ.).
5. Vershinin, A.A., Petrov, A.M., Karimullin, L.K., & Shurmina, N.V. (2016). Kul'tivirovanie vysshix rastenij i dyxatel'naya aktivnost neftezagryaznennyx pochv. *Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii*, 3, 46-51. (in Russ.).
6. GOST 26204-91. Pochvy. Opredelenie podvizhnyx soedinenij fosfora i kaliya po metodu Chirikova v modifikacii CINA0: utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Komiteta standartizacii i metrologii SSSR ot 29.12.91 № 2389: data vvedeniya 01.07.93 (in Russ.).
7. GOST R 17.4.3.07-2001. Oхрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при испол`зовании их в качестве удобрений. (in Russ.).

8. GOST R 54651-2011. Udobreniya organicheskie na osnove osadkov stochny`x vod. Texnicheskie usloviya. (in Russ.).

9. Egorov, N.S. (1995). Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po mikrobiologii. M.: Izd-vo MGU, 224. (in Russ.).

10. Zajnulgabidinov, E`R., Ignat`ev, Yu.A., & Petrov, A.M. (2021). Vliyanie fitoremediacii na profil` uglevodorodov nefti v allyuvial`ny`x dernovy`x pochvax. *Rossijskij zhurnal prikladnoj e`kologii*, 2, 53-60. (in Russ.).

11. Issledovanie i ocenka fiziko-ximicheskix, toksikologicheskix i mikrobiologicheskix xarakteristik granulyata – termicheski obrabotannogo ilovogo osadka biologicheskix ochistny`x sooruzhenij kanalizacii i nauchnoe obosnovanie napravlenij ego utilizacii» / Otchet Institut problem e`kologii i nedropol`zovaniya Akademii nauk Respubliki Tatarstan. Kazan`, 2022. 23. (in Russ.).

12. Karimullin, L.K., Petrov, A.M., Vershinin, A.A., & Knyazev, I.V. (2022). Fermentativnaya aktivnost` seroj lesnoj pochvy` posle vneseniya granulyata osadka gorodskix stochny`x vod. *Ximiya i inzhenernaya e`kologiya – XXII*. Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (shkola molody`x ucheny`x), posvyashhennoj 90-letiyu kafedry` obshhej ximii i e`kologii Kazanskogo nacional`nogo issledovatel`skogo texnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva – KAI (Kazan`, 23-24 sentyabrya 2022 g). 220-223. (in Russ.).

13. Kireeva, N.A., Novoselova, E.I., Shamaeva, A.A., & Grigoriadi, A.S. (2009). Biologicheskaya aktivnost` chernozema vy`shhelochennogo, zagryaznennogo produktami sgoraniya poputnogo neftyanogo gaza, i vozmozhnosti ee vosstanovleniya pri fitoremediacii. *Pochvovedenie*, 4, 498-503. (in Russ.).

14. Meshheryakov, A.M. (1963). Razlozhenie pochv sernoj i xlornoj kislotami dlya opredeleniya azota i fosfora. *Pochvovedenie*, 5, 21-30. (in Russ.).

15. Plexanova, I.O. (2017). Stepen` samoochishheniya agrodernovo-podzolisty`x supeschany`x pochv, udobrenny`x osadkom stochny`x vod. *Pochvovedenie*, 4, 506-512. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17040086> (in Russ.).

16. PND F 16.1:2.2.22-98 Kolichestvenny`j ximicheskij analiz pochv. Metodika vy`polneniya izmerenij massovoj doli nefteproduktov v mineral`ny`x, organogenny`x, organo-mineral`ny`x pochvax i donny`x otlozheniyax metodom IK-spektrometrii. (in Russ.).

17. Re`uce, K., & Ky`rstya, S. (1986). Bor`ba s zagryazneniem pochvy`. M.: Agropromizdat, 221. (in Russ.).

18. Usmanov, I.Yu., Ovechkina, E.S., & Shayaxmetova, R.I. (2015). Rasprostranenie vliyaniya neftyanogo shlama. *Vestnik Nizhnevartovskogo gos. un-ta*, 3, 84-94. (in Russ.).

19. Usmanov, I.Yu., Ovechkina, E.S., Yumagulova, E`R., Ivanov, V.B., Shherbakov, A.V., & Shayaxmetova, R.I. (2015). Problemy` samovosstanovleniya e`kosistem Srednego Priob`ya pri antropogenny`x vozdeystviyax neftedoby`vayushhego kompleksa. *Vestnik Nizhnevartovskogo gos. un-ta*, 1, 79-86. (in Russ.).

20. Utombaeva, A.A., Zajnulgabidinov, E`R., Kuznecova, T.V., & Petrov, A.M. (2022). Ckrining rastenij dlya fitoremediacii neftezagryaznenny`x pochv. *Rossijskij zhurnal prikladnoj e`kologii*, 1, 68-75. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.68.75> (in Russ.).

21. FR.1.39.2006.02264 Metodika vy`polneniya izmerenij vsxozhesti semyan i dliny` kornej prorostkov vy`sshix rastenij dlya opredeleniya toksichnosti texnogenno zagryaznenny`x pochv. (in Russ.).

22. E`kologicheskij sertifikat sootvetstviya № RA.RU.11NA15.P.00114 «Udobrenie organicheskoe granulirovannoe na osnove osadkov stochny`x vod, izgotavlivaemoe serijno po TU 37.00.20-001-03317648-2022 na ochistny`x sooruzheniyax kanalizacii g. Kazani». Vy`dano ООО «BIFAR-E`kologiya» srok dejstviya 16.08.2022–15.08.2025 g. (in Russ.).

Дата поступления: 13.03.2023

Дата принятия: 06.09.2023

© Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А.,
Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М., 2023