ISSN 2713-1572

2026

Том 16. № 4

ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ

NATURAL SYSTEMS AND RESOURCES

Volume 16. No. 4

ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

VOLGOGRAD STATE UNIVERSITY

ISSN 2713-1572



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ

2026
Том 16. № 4

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

NATURAL SYSTEMS AND RESOURCES

2026
Volume 16. No. 4



NATURAL SYSTEMS AND RESOURCES

2026. Vol. 16. No. 4

Academic Periodical

First published in 2011

4 issues a year

Founder:
Federal State Autonomous
Educational Institution
of Higher Education
"Volgograd State University"

The journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Registration Number **ПИ № ФС77-74483** of November 30, 2018)

The journal is included into the **Russian Science Citation Index**

The journal is also included into the following Russian and international databases: **Google Scholar** (USA), **Open Academic Journals Index** (Russia), **ProQuest** (USA), **VINITI Database RAS** (Russia), **"CyberLeninka" Scientific Electronic Library** (Russia), **"Socionet" Information Resources** (Russia), **IPRbooks E-Library System** (Russia), **E-Library System "University Online Library"** (Russia)

Editorial Staff:

Prof., Dr. *E.A. Ivantsova* – Chief Editor (Volgograd)
Prof., Dr. *V.V. Novochadov* – Deputy Chief Editor (Volgograd)
Assoc. Prof., Cand. *Yu.A. Zimina* – Executive Secretary and Copy Editor (Volgograd)
Prof., Dr. *L.A. Anisimov* (Volgograd)
Dr., Senior Researcher *V.P. Voronina* (Volgograd)
Prof., Dr. *A.A. Okolelova* (Volgograd)
Assoc. Prof., Dr. *V.A. Sagalaev* (Volgograd)
Prof., Dr. *V.V. Tanyukevich* (Novocherkassk)
Assoc. Prof., Dr. *V.G. Yuferev* (Volgograd)

Editorial Board:

Prof., Dr. *S.A. Bartalev* (Moscow); Prof., Dr. *M.N. Belitskaya* (Volgograd); Prof., Dr. *Yu.K. Vinogradova* (Moscow); Assoc. Prof., Dr. *D.S. Vorobyev* (Tomsk); Prof., Acad. of RAS *I.F. Gorlov* (Volgograd); Assoc. Prof., Dr. *P.M. Dzhambetova* (Grozny); Prof., Dr. *S.I. Kolesnikov* (Rostov-on-Don); Prof., Dr., Acad. of RAS *I.P. Kruzhilin* (Volgograd); Prof., Acad. of RAS *K.N. Kulik* (Volgograd); Assoc. Prof., Dr., Acad. of RANH *M.G. Mustafaev* (Baku, Azerbaijan); Prof., Dr., Acad. of RAS *A.S. Rulev* (Volgograd); Prof., Dr., Corr. Member of RAS *M.I. Slozhenkina* (Volgograd); Prof. of RAS, Dr. *N.V. Tiutiuma* (Astrakhan Oblast, Solyonoye Zaymishche); Prof., Dr. *A.V. Khoperskov* (Volgograd); Assoc. Prof., Dr. *S.R. Chalov* (Moscow); Prof., Acad. of RAS *A.A. Chibilev* (Orenburg); Prof., Dr. *G.Yu. Yamskikh* (Krasnoyarsk)

Editor of English texts is *D.A. Novak*
Making up by *Yu.A. Nikitina*
Technical editing by *N.M. Vishnyakova, Yu.A. Nikitina*

Passed for printing on Sept. 22, 2026.
Date of publication: Nov. 24, 2026.
Format 60×84/8. Offset paper. Typeface Times.
Conventional printed sheets 7.2. Published pages 7.7.
Number of copies 500 (1st printing 1–27 copies).
Order 105. «C» 27.

Open price

Address of the Printing House:
Bogdanova St, 32, 400062 Volgograd.
Postal Address:
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd.
Publishing House of Volgograd State University.
E-mail: izvolgu@volsu.ru

Address of the Editorial Office and the Publisher:
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd.
Volgograd State University.
Tel.: (8442) 46-16-39. Fax: (8442) 46-18-48.
E-mail: vestnik11@volsu.ru

Journal website: https://ns.jvolsu.com
English version of the website:
https://ns.jvolsu.com/index.php/en/

© Volgograd State University, 2026

ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ

2026. Т. 16. № 4

Научно-теоретический журнал

Основан в 2011 году

Выходит 4 раза в год

Учредитель:
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (регистрационный номер **ПИ № ФС77-74483** от 30 ноября 2018 г.)

Журнал включен в базу **Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)**

Журнал также включен в следующие российские и международные базы данных: **Google Scholar** (США), **Open Academic Journals Index** (Россия), **ProQuest** (США), **ВИНИТИ** (Россия), **Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»** (Россия), **Соционет** (Россия), **Электронно-библиотечная система IPRbooks** (Россия), **Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»** (Россия)

Редакционная коллегия:
д-р с.-х. наук, проф. *Е.А. Иванцова* – главный редактор (г. Волгоград)
д-р мед. наук, проф. *В.В. Новочадов* – зам. главного редактора (г. Волгоград)
канд. хим. наук, доц. *Ю.А. Зимина* – ответственный и технический секретарь (г. Волгоград)
д-р геол.-минер. наук, проф. *Л.А. Анисимов* (г. Волгоград)
д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. *В.П. Воронина* (г. Волгоград)
д-р биол. наук, проф. *А.А. Околелова* (г. Волгоград)
д-р биол. наук, доц. *В.А. Сагалаев* (г. Волгоград)
д-р с.-х. наук, проф. *В.В. Танюкевич* (г. Новочеркасск)
д-р с.-х. наук, доц. *В.Г. Юферев* (г. Волгоград)

Редакционный совет:
д-р техн. наук, проф. *С.А. Барталев* (г. Москва); д-р биол. наук, проф. *М.Н. Белицкая* (г. Волгоград); д-р биол. наук, проф. *Ю.К. Виноградова* (г. Москва); д-р биол. наук, доц. *Д.С. Воробьев* (г. Томск); проф., акад. РАН *И.Ф. Горлов* (г. Волгоград); д-р биол. наук, доц. *П.М. Джамбетова* (г. Грозный); д-р с.-х. наук, проф. *С.И. Колесников* (Ростов-на-Дону); д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН *И.П. Кружилин* (г. Волгоград) проф., акад. РАН *К.Н. Кулик* (г. Волгоград); д-р с.-х. наук, доц., акад. РАЕ *М.Г. Мустафаев* (г. Баку, Азербайджан); д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН *А.С. Рулев* (г. Волгоград); д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН *М.И. Сложенкина* (г. Волгоград); д-р с.-х. наук, проф. РАН *Н.В. Тютюма* (Астраханская обл., с. Соленое Займище); д-р физ.-мат. наук, проф. *А.В. Хоперсков* (г. Волгоград); д-р геогр. наук, доц. *С.Р. Чалов* (г. Москва); д-р геогр. наук, проф., акад. РАН *А.А. Чибилев* (г. Оренбург); д-р геогр. наук, проф. *Г.Ю. Ямских* (г. Красноярск)

Редактор английских текстов *Д.А. Новак*
Верстка *Ю.А. Никитиной*
Техническое редактирование
Н.М. Вишняковой, Ю.А. Никитиной

Подписано в печать 22.09 2026 г.
Дата выхода в свет: 24.11 2026 г.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 7,2. Уч.-изд. л. 7,7.
Тираж 500 экз. (1-й завод 1–27 экз.). Заказ 105. «С» 27.

Свободная цена

Адрес типографии:
400062 г. Волгоград, ул. Богданова, 32.
Почтовый адрес:
400062 г. Волгоград, просп. Университетский, 100.
Издательство
Волгоградского государственного университета.
E-mail: izvolgu@volsu.ru

Адрес редакции и издателя:
400062 г. Волгоград, просп. Университетский, 100.
Волгоградский государственный университет.
Тел.: (8442) 46-16-39. Факс: (8442) 46-18-48.
E-mail: vestnik11@volsu.ru

Сайт журнала: https://ns.jvolsu.com
Англояз. версия сайта журнала:
https://ns.jvolsu.com/index.php/en/

© ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ, ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ

Онистратенко Н.В., Капелина А.С. Перспективы интродукции павловнии войлочной в систему городского озеленения и лесопроизводства в условиях аридно-техногенного прессинга в Волгоградской области 5

Чернова Е.А., Зорькина О.В. Проектирование растительных объектов с учетом декоративно-фенологического спектра: принципы непрерывности и сочетаемости 20

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Онистратенко Н.В., Пермякова О.В., Сафонова А.П. Анализ применимости общих и специальных методов полевых исследований морских экосистем на прибрежных черноморских рифах 31

Устинов Д.А. Роль геоинформационных систем в мониторинге лесных пожаров 44

Макеева К.Н. Создание проекта для оценки численности и мониторинга восточной степной гадюки (Vipera renardi) на типовой территории 53

Бакаева Ю.В. Почвоподобные тела на Земле и в космосе 61

БИОИНЖЕНЕРИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

Дьяченко Т.О., Гетманенко А.Ю. Влияние условий культивирования на способность бактерий к биодеградации полиэтилентерефталата 70

CONTENTS

FORESTRY, SILVICULTURE, FOREST CROPS, AGROFORESTRY, GREENING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

Onistratenko N.V., Kapelina A.S Prospects for the Introduction of Paulownia tomentosa into the Urban Greening and Forestry Systems Under Arid and Technogenic Pressure in the Volgograd Region 5

Chernova E.A., Zorkina O.V. Design of Plant Objects Taking into Account the Decorative and Phenological Spectrum: Principles of Continuity and Compatibility 20

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Onistratenko N.V., Permyakova O.V., Safonova A.P. The Analysis of the Applicability of General and Special Methods in Field Research of Marine Ecosystems on the Black Sea Coastal Reefs 31

Ustinov D.A. The Role of Geographic Information Systems in Forest Fire Monitoring 44

Makeeva K.N. Creating a Project for Assessing and Monitoring the Number of Eastern Steppe Viper (Vipera renardi) in a Typical Territory 53

Bakaeva Yu.V. Soil-Like Bodies on Earth and in Space 61

BIOENGINEERING AND BIOTECHNOLOGY

Dyachenko T.O., Getmanenko A.Yu. The Effect of Cultivation Conditions on the Ability of Bacteria to Carry Out Biodegradation Polyethylene Terephthalate 70

www.volsu.ru

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ, ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ

DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.1

UDC 502.132(470.45)
LBC 28.592.9(2Рос-4Вог)

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF PAULOWNIA TOMENTOSA INTO THE URBAN GREENING AND FORESTRY SYSTEMS UNDER ARID AND TECHNOGENIC PRESSURE IN THE VOLGOGRAD REGION

Nikolay V. Onistratenko
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Anna S. Kapelina
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to studying the prospects for introducing *Paulownia tomentosa* into the urban greening and forestry system of the Volgograd Region under conditions of aridization and anthropogenic impact. The relevance of the study is due to the urgent need to find resilient tree species for greening the region, where traditional species cannot cope with the combined effects of drought and anthropogenic pollution. Paulownia tomentosa is of particular interest as a fast-growing, drought-resistant species with valuable economic characteristics. As a result of the research, unique characteristics of Paulownia tomentosa in the conditions of the Volgograd Region were identified. Over a five-year breeding period, four promising genotypes of the "Paulownia Volkova" series were selected from thousands of seedlings; they demonstrate high adaptability to local conditions. The successful adaptation to extreme climatic conditions is of particular importance. The obtained results confirm the feasibility of introducing Paulownia tomentosa in the Volgograd Region, provided that certain agrotechnical requirements are met and optimal growing conditions are created. The plant can become a valuable component of urban greening and forestry production in the region.

Key words: urban greening, urban ecosystem, Paulownia tomentosa, zoned cultivar, cloning.

Citation. Onistratenko N.V., Kapelina A.S. Prospects for the Introduction of Paulownia tomentosa into the Urban Greening and Forestry Systems Under Arid and Technogenic Pressure in the Volgograd Region. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2026, vol. 16, no. 4, pp. 5-19. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.1

© Онистратенко Н.В., Капелина А.С., 2026

УДК 502.132(470.45)
ББК 28.592.9(2Рос-4Вог)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТРОДУКЦИИ ПАВЛОВНИИ ВОЙЛОЧНОЙ В СИСТЕМУ ГОРОДСКОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ И ЛЕСОПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ АРИДНО-ТЕХНОГЕННОГО ПРЕССИНГА В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Николай Владимирович Онистратенко
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Анна Сергеевна Капелина
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена изучению перспектив внедрения павловнии войлочной (*Paulownia tomentosa*) в систему городского озеленения и лесного хозяйства Волгоградской области в условиях аридизации и антропогенного воздействия. Актуальность исследования обусловлена острой необходимостью поиска устойчивых древесных пород для озеленения региона, где традиционные виды не справляются с комплексным воздействием засухи и антропогенного загрязнения. Павловния войлочная представляет особый интерес как быстрорастущая, засухоустойчивая порода с ценными хозяйственными качествами. В результате проведенных исследований выявлены уникальные характеристики павловнии войлочной в условиях Волгоградской области. За пятилетний период селекционной работы из тысяч сеянцев отобраны четыре перспективных генотипа серии «Павловния Волкова», демонстрирующие высокую адаптивность к местным условиям. Особое значение имеет успешная адаптация к экстремальным климатическим условиям. Полученные результаты подтверждают перспективность внедрения павловнии войлочной в условиях Волгоградской области при соблюдении определенных агротехнических требований и создании оптимальных условий выращивания. Растение может стать ценным компонентом городского озеленения и лесохозяйственного производства в регионе.

Ключевые слова: городское озеленение, урбоэкосистема, павловния войлочная, районированный сорт, клонирование.

Цитирование. Онистратенко Н. В., Капелина А. С. Перспективы интродукции павловнии войлочной в систему городского озеленения и лесопроизводства в условиях аридно-техногенного прессинга в Волгоградской области // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 4. – С. 5–19. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.1

Введение

Проблема дефицита устойчивых древесных насаждений в Волгоградской области в настоящее время стоит особенно остро [4; 7; 10–12; 20; 23; 27]. С одной стороны, климат области характеризуется как аридный – жарким сухим летом, малым количеством осадков, высокой испаряемостью и регулярными засухами. С другой стороны, промышленные центры – Волгоград и Волжский – создают техногенную нагрузку: загрязнение атмосферы выбросами предприятий, запыленность, тяжелые металлы в почвах и перегрев городских территорий [2; 3; 6; 29–30]. Традиционно используемые в озеленении Волгограда древесные породы уже не справляются с комплексом современных стрессовых факторов.

Интродукция растений в Волгоградской области связана с адаптацией видов к специфическим условиям региона. Климат Волгоградской области изменяется с северо-запада на юго-восток, где значительно увеличивается континентальность, уменьшается количество осадков и возрастает засушливость [1; 5; 21]. Таким образом, регион характеризуется резко континентальным климатом с жарким летом, недостатком осадков, сильными ветрами и высокой солнечной радиацией, что создает особые требования к выбору интродуцентов. Исследования в этой области направлены на расширение ассортимента деко-

ративных, лекарственных и хозяйственно ценных растений, а также на сохранение редких и эндемичных видов.

В настоящее время основу зеленого фонда Волгограда составляют растения-интродуценты. В зоне сухих степей, которыми характеризуется природная зона Волгоградской области, в естественных насаждениях произрастают вяз мелколистный (*Ulmus pumila* L.), лох узколистный (*Elaeágnus angustifylia*), дуб черешчатый порослевой (*Quercus robur* L.) [24].

Городские зеленые насаждения представлены разнообразным ассортиментом древесных растений, насчитывающим от 18 до 24 видов. Среди наиболее распространенных в парках и скверах деревьев выделяются:

– вяз мелколистный (*U. pumila* L.), встречаемость 31,0 %;

– клен серебристый (*Acer sacchárinum*), встречаемость 15,0 %;

– клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), встречаемость 7,0 %;

– робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.), встречаемость 15,0 %;

– ясень зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borch), встречаемость 6,0 %.

Из хвойных пород высажены:

– сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), встречаемость 16,0 %;

– ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), встречаемость 7,0 %;

– можжевельник (виды) (*Juníperus*), встречаемость 3,0 %;

– туя западная (*Thuja occidentalis* L.), встречаемость 3,0 % [24].

Интродукция растений в Волгоградской области – это сложный и трудоемкий процесс, требующий учета климатических, почвенных и экологических особенностей региона. Успешная адаптация интродуцентов позволяет не только разнообразить зеленые насаждения, но и сохранить биоразнообразие, а также создать основу для селекционной работы.

Научный и практический интерес представляет поиск древесных растений-интродуцентов, способных не только выживать, но и активно выполнять экологические и хозяйственные функции в стрессовых условиях [23]. К числу таких культур относится павловния войлочная (*Paulownia tomentosa*).

В мировой практике эта порода зарекомендовала себя как одна из самых быстрорастущих (до 2–4 м в год), засухоустойчивых (стержневой корень до 9 м), с ценной древесиной и кормовой листвой. Однако в условиях Волгоградской области ее потенциал практически не изучен.

Таким образом, актуальность нашего исследования определяется необходимостью научно обоснованной оценки перспектив интродукции павловнии войлочной в Волгоградской области как потенциально ценной, быстрорастущей, устойчивой к аридно-техногенному прессингу древесной породы, способной обогатить видовой состав зеленых насаждений и повысить их экологическую и хозяйственную эффективность.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленных задач нами были использованы методы развернутого анализа научной и технической литературы. Полученные данные подвергались анализу и систематизации.

Методологическая база настоящего исследования построена на сочетании теоретических (метод литературного анализа) и эмпирико-статистических (методы статистической обработки данных) подходов. Такое сочетание обеспечивает комплексность изучения проблемы интродукции павловнии войлочной в условия Волгоградской области: литературный анализ позволяет обобщить имеющийся научный опыт и выявить ключевые факторы, определяющие успешность интродукции; статистические методы обеспечивают объективность и достоверность выводов, полученных на основе собственных эмпирических данных [13].

Также в ходе исследования нами был произведен анализ результатов опыта по созданию адаптированного к почвенно-климатическим условиям Волгоградской области поколения саженцев павловнии войлочной [19].

Для выработки технологии массового производства посадочного материала нами был реализован опыт по лабораторному клонированию вегетативных частей павловнии в лабораторных условиях [14].

Применение широкого спектра статистических методов (от элементарной описатель-

ной статистики до многомерных методов анализа) соответствует сложности объекта исследования и позволяет решать поставленные задачи на современном методологическом уровне. Особое значение придается проверке статистических гипотез и оценке достоверности различий, что является необходимым условием для формулирования научно обоснованных рекомендаций по выбору наиболее перспективных сортовых линий павловнии для практического использования в городском озеленении и лесопроизводстве Волгоградской области [9].

SWOT-анализ представляет собой метод стратегического планирования, используемый для оценки факторов и явлений, влияющих на реализацию проекта или достижение цели. Название метода является аббревиатурой английских терминов: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). В классическом понимании SWOT-анализ предполагает разделение факторов на внутренние (сильные и слабые стороны объекта) и внешние (возможности и угрозы, исходящие из окружающей среды) [22].

Павловния войлочная (*Paulownia tomentosa*) представляет собой вид листопадных древесных растений, принадлежащих к роду Павловния (Paulownia Siebold & Zucc.) семейства Павловниевые (Paulowniaceae Nakai).

Естественный ареал рода ограничен территорией Китая, при этом *Paulownia tomentosa* является наиболее широко распространенным в культуре видом благодаря своей относительной морозостойкости и декоративным качествам.

Павловния войлочная в естественных условиях произрастания достигает высоты 15–20 м, отдельные экземпляры могут вырастать до 25 м при диаметре ствола до 0,6–1,0 м [17]. Крона раскидистая, округлая или яйцевидная, формируется мощными скелетными ветвями. Ствол прямой, у молодых деревьев кора гладкая светло-серая, с возрастом становится слаботрещиноватой.

Листья павловнии войлочной характеризуются значительными размерами: длина листовой пластинки составляет 20–30 см, у молодых быстрорастущих экземпляров может достигать 50 см. Форма листьев широкояйцевидная или сердцевидная, с заостренной верхушкой и цельным краем. Листорасположение супротивное, на молодом приросте листья могут формироваться в мутовках по три и быть крупнее, чем на взрослых побегах. Черешки длинные, 15–25 см [18].

Цветки павловнии войлочной собраны в крупные метельчатые соцветия длиной до 30–50 см. Цветки обоеполые, крупные – до 6 см в диаметре, с трубчатым венчиком, напоминающим цветки наперстянки. Окраска венчика бледно-фиолетовая, сиреневая или голубовато-фиолетовая [18].

Плод представляет собой сухую деревянистую коробочку широкояйцевидной формы длиной 3–4,5 см. Окраска незрелых плодов зеленоватая, с возрастом становится коричневой, поверхность железисто-опушенная. В одной коробочке содержится от 1 200 до 2 300 семян. Семена мелкие, крылатые, масса 1 000 семян составляет всего 0,15–0,25 г. Крылатая структура семян обеспечивает их эффективное распространение ветром (анемохория) на значительные расстояния [25].

Павловния войлочная признана одним из наиболее быстрорастущих древесных растений умеренного пояса. В оптимальных условиях произрастания годовой прирост в высоту может достигать 2–3 м, а у молодых растений на богатых почвах – до 4 м. В первые 5–7 лет жизни темпы роста максимальны, к 10 годам деревья могут достигать высоты 15–20 м при диаметре ствола 30–40 см. Такая скорость роста обусловлена высокой интенсивностью фотосинтеза крупных листьев и эффективной проводящей системой [15].

Павловния является исключительно светолюбивым видом, требова-тельным к полноценному солнечному освещению. В молодом возрасте способна выносить некоторое затенение, но для нормального роста и развития, особенно для формирования генеративных органов, требует открытых местоположений. При недостатке света рост замедляется, растения вытягиваются, формируют ослабленные побеги [16].

Термальный режим является ключевым фактором, лимитирующим распространение павловнии. Вид происходит из регионов с теплым умеренным и субтропическим климатом.

По данным различных источников, взрослые растения с одревесневшими побегами способны выдерживать кратковременные понижения температуры до –25...–33 °С. Молодые неодревесневшие побеги повреждаются уже при –15 °С [8].

Сумма активных температур, необходимая для нормального развития, составляет не менее 3 000–3 500 °С. Продолжительность безморозного периода должна превышать 150 дней.

Павловния войлочная характеризуется как засухоустойчивый вид, способный переносить продолжительные летние засушливые периоды [16]. Засухоустойчивость обеспечивается глубокой корневой системой, способной извлекать влагу из глубоких горизонтов почвы, а также опушением листьев, снижающим транспирационные потери. В то же время для достижения максимальной продуктивности вид требует достаточного увлажнения, особенно в первые годы жизни.

Результаты и обсуждение

Успешность интродукции и культивирования павловнии войлочной в условиях Волгоградской области определяется не только соответствием биологических свойств вида природно-климатическим факторам региона, но и применением адаптированных агротехнических приемов, компенсирующих негативное влияние лимитирующих факторов.

Исследуемый вид обладает комплексом уникальных биологических свойств. Морфологическое строение павловнии отражает ее адаптацию к условиям произрастания. Крупные листья с войлочным опушением выполняют не только фотосинтетическую функцию, но и способствуют эффективному улавливанию пыли и снижению транспирационных потерь, что повышает устойчивость вида к атмосферному загрязнению и засушливым периодам [8]. А исключительная скорость роста и мощная стержневая корневая система, которая обусловливает засухоустойчивость растения и способность закреплять почву на склонах, особенно актуально в условиях аридного климата и эрозионных процессов, характерных для Волгоградской области.

Климат Волгоградской области умеренно континентальный и характеризуется холодной малоснежной зимой и продолжительным жарким и сухим летом, изменяется с северо-запада на юго-восток, где значительно увеличивается континентальность, уменьшается количество осадков и возрастает засушливость [1].

Основными лимитирующими факторами при выращивании павловнии в регионе выступают:

– низкие зимние температуры (абсолютный минимум может достигать –30 °С и ниже);

– дефицит атмосферного увлажнения (300–400 мм осадков в год при высокой испаряемости);

– сильные ветра;

– частые суховеи и засушливые периоды в летнее время;

– специфические почвенные условия.

Таким образом, климат Волгоградской области в целом подходит для выращивания *Paulownia tomentosa*, но с оговорками и необходимостью соблюдения специальных агротехнических мер.

Опыт по получению выровненного поголовья павловнии войлочной, приспособленного к почвенно-климатическим условиям Волгоградской области, связан с деятельностью экоактивиста Андрея Волкова (см. рис. 1). Его работа направлена на создание сорта, способного выдерживать палящее солнце, пронизывающие ветра и зимние морозы региона.

Семена приобретались в регионах РФ и странах ближнего зарубежья.

В рамках опыта по адаптации павловнии войлочной к почвенно-климатическим условиям Волгоградской области применяется поэтапная технология выращивания саженцев с постепенной закалкой.

На первом этапе саженцы культивируют в защищенном грунте – в теплице (см. рис. 2).

Основной метод размножения – черенкование, что позволяет сохранять ключевые качества отобранных деревьев (морозостойкость, сила роста, адаптивность к местному климату).

В теплице саженцы наращивают корневую систему и вегетативную массу, не испытывая стресса от суровых внешних факторов. Это критически важно для павловнии, поскольку молодые растения особенно чувствительны к заморозкам, засухе и ветру.



Рис. 1. Посадочная площадка

Примечание. Источник: [19].



Рис. 2. Саженцы павловнии в теплице

Примечание. Источник: [19].

По достижении определенного этапа развития (обычно после формирования 4–6 настоящих листьев и устойчивой корневой системы) начинается этап постепенной адаптации (закалки).

После 2–3 недель закалки, когда растения демонстрируют устойчивость (активный рост, упругие листья, отсутствие стрессовых реакций), их высаживают в открытый грунт.

Деревья по краям площадки формируют мощную якорную корневую систему преимущественно с наветренной стороны. Защищенные деревья в центре площадок развивают преимущественно мочковатую корневую систему. Годовалые саженцы показывают впечатляющие показатели развития корневой системы – уже в первый год корни распространяются на 1,5 м в каждую сторону от ствола. Это создает прочную основу для дальнейшего быстрого роста растения.

Зимой 2025–2026 гг. критическими факторами стали затяжные морозы и резкие суточные перепады температуры: суточная амплитуда превышала 30 °С, что привело к массовым морозобойным повреждениям камбия и гибели надземной части у большинства образцов.

Из-за этого на селекционной площадке погибло более 95 % растений. Но при этом контрольные образцы той же генетической линии, высаженные в городской среде (защита от ветра, тепловой остров), продемонстрировали выживаемость на уровне 90 %. Таким образом, условия площадки являются экстремальным стресс-тестом, значительно более жестким, чем типовые условия озеленения.

Из тысяч сеянцев, полученных из семян *Paulownia tomentosa* (сравнительные испытания с посадочным материалом из питомников РФ и стран СНГ показали их неудовлетворительную зимостойкость), в результате отбора выделено 4 уникальных генотипа (серия «Павловния Волкова»). В таблице 1 представлено сравнение четырех образцов за два года. Дополнительные стимуляторы и подкормы не использовались в ходе селекционной работы.

На основе данных из таблицы можно отметить схожие показатели роста. А повреждения (зимние ожоги) отмечаются только у образцов Вл-1 и Вл-2. В то же время образцы Вл-3 и Вл-4 проявили абсолютную зимостойкость без каких-либо обработок. Кора, камбий, генеративные почки не имеют повреждений после прохождения экстремального зимнего периода.

Выделенные генотипы (Вл-3 и Вл-4) рекомендуются как базовый посадочный материал для дальнейшего размножения и внедрения в городское и защитное лесоразведение.

Для создания устойчивых насаждений павловнии в Волгоградской области критическое значение имеет качество исходного посадочного материала. Применяются два основных способа размножения: семенной (генеративный) и вегетативный (клонирование, черенкование, микроклональное размножение).

Основным недостатком семенного размножения является генетическая неоднородность получаемого материала, что особенно важно при создании промышленных плантаций, где требуются выравненные по хозяйственно-ценным признакам растения.

Для сохранения ценных сортовых признаков и получения генетически однородного посадочного материала применяют вегетативное размножение. В практике культивирования павловнии используются следующие методы:

– Размножение корневыми черенками. Это наиболее простой и доступный метод. Павловния обладает высокой способностью к корнеотпрысковому размножению: черенки боковых корней однолетних сеянцев могут использоваться для размножения непосредственно в поле. Метод вегетативного размножения корневыми черенками является эффективным, при этом особое внимание следует уделять основным экологическим факторам, влияющим на развитие растений (температура, влажность и тип субстрата) [8].

– Размножение стеблевыми черенками. Используют одревесневшие или зеленые черенки. Одревесневшие черенки заготавливают осенью, хранят во влажном песке при температуре 0... + 2 °С, высаживают весной в субстрат. Зеленые черенки нарезают в июне-июле с молодых побегов, обрабатывают стимуляторами корнеобразования и высаживают в условия искусственного тумана [26].

– Микроклональное размножение (in vitro). Наиболее современный и эффективный метод, позволяющий в короткие сроки получить большое количество генетически однородного, оздоровленного посадочного материала. Технология включает введение в культуру in vitro, пролиферацию микрочеренков на питательных средах, укоренение и адаптацию растений к условиям ex vitro [14].

Для размножения павловнии войлочной нами проводились исследования по микро- и макроклонированию. В качестве субстрата была приготовлена питательная среды Мурасиге-Скуга, куда и были помещены корни, почки и неодревесневшие участки, имевшие вторичные и третичные структуры. В первом эксперименте (микроклонирование) производилась инокуляция вставочной меристемы (одревесневшего стебля), апикальной меристемы, включающей одревесневшие стебли и корни.

Таблица 1

Сравнение образцов четырех генотипов

Показатель	Образцы Вл-1 и Вл-2 (2 шт.)	Образцы Вл-3 и Вл-4 (2 шт.)
Высота	> 7 м	> 7 м
Диаметр ствола	15 см	13,5 см
Повреждения	Повреждение коры с южной стороны (зимний ожог вследствие инсоляции)	Повреждений нет

Ниже в таблицах 2 и 3 представлены результаты наблюдений за эксплантами после проведения их макро- и микроклонирования.

Из таблицы 1 видно, что выживших эксплантов по результатом микроклонального размножения нет.

Таблица 2

Результаты опыта по микроклонированию корневых и стеблевых меристем павловнии войлочной

№	Инокуляция экспланта	1-й день	2-й день	3-й день	1-я неделя	2-я неделя	3-я неделя	4-я неделя	5-я неделя
Вставочная меристема (одревеснешего стебля)									
1	На поверхность среды	сохранно	сохранно	каллусообразование	нарастание каллуса	остановка роста	остановка роста	гибель	–
2	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	гибель	–	–
3	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	остановка роста	остановка роста	гибель
4	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	нарастание каллуса	остановка роста	остановка роста	гибель
5	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	остановка роста	гибель	–
Апикальная меристема (одревеснешего стебля)									
1	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	гибель	–	–	–	–
2	На поверхность среды	сохранно	сохранно	гибель	–	–	–	–	–
3	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	остановка роста	гибель	–
4	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	остановка роста	гибель	–
5	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	остановка роста	гибель	–
Апикальная меристема (корень)									
1	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	гибель	–	–	–	–
2	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	гибель	–	–	–	–
3	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	остановка роста	гибель	–
4	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	нарастание каллуса	гибель	–
5	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	каллусообразование	остановка роста	гибель	–

Таблица 3

Результаты опыта по макроклонированию корневых и стеблевых черенков павловнии войлочной

№	Инокуляция экспланта	1-й день	2-й день	3-й день	1-я неделя	2-я неделя	3-я неделя	4-я неделя	5-я неделя
Черенок одревеснешего стебля									
1	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	раскрытие почки	гибель	–	–
2	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	раскрытие почки	гибель	–	–
3	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	раскрытие почки	остановка роста	гибель	–
4	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	образование придаточного корня	остановка роста	остановка роста	гибель
5	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	раскрытие почки	образование придаточного корня	остановка роста	гибель
Участок одревеснешего корня									
1	На поверхность среды	сохранно	гибель	–	–	–	–	–	–
2	На поверхность среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	образование придаточного корня	остановка роста	остановка роста	гибель
3	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	образование придаточного корня	остановка роста	остановка роста	гибель
4	В толщу среды	сохранно	сохранно	сохранно	сохранно	образование придаточного корня	остановка роста	остановка роста	гибель
5	В толщу среды	сохранно	гибель	–	–	–	–	–	–

Макроклональное размножение предполагает фактическое черенкование растение в стерильных лабораторных условиях (см. табл. 3).

По результатам макроклонирования (см. табл. 3) также не наблюдается положительных результатов. Так же, как и при микроклонировании, на 5-й неделе наблюдается гибель всех оставшихся участков растения.

В итоге проведенного эксперимента отмечается отрицательный результат по микроклональному размножению павловнии войлочной.

Выращивание павловнии войлочной в Волгоградской области возможно, но требует тщательного подхода. Успех зависит от выбора подходящего места (защищенного от ветра, солнечного, с дренируемой почвой), регулярного полива в первые годы жизни дерева, использования методов размножения, сохраняющих материнские свойства (черенкование), и защиты от весенних заморозков. Селекционные работы, направленные на выведение сортов, адаптированных к местным условиям, могут повысить шансы на успешное культивирование. Однако необходимо учитывать, что в условиях региона дерево может не проявлять всех своих декоративных качеств.

Успешная интродукция павловнии войлочной в Волгоградской области требует комплексного научного сопровождения, включающего следующие направления:

– селекционная работа. Выявление и размножение наиболее зимостойких, быстрорастущих и продуктивных генотипов, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям региона;

– разработка адаптированных агротехнологий. Совершенствование приемов размножения, посадки, ухода, защиты от неблагоприятных факторов с учетом специфики региона;

– мониторинг состояния насаждений. Организация системы наблюдений за ростом, развитием, устойчивостью растений в различных условиях произрастания (городские посадки, защитные лесные полосы, плантационные культуры);

– оценка экологических функций. Изучение фитомелиоративного по-тенциала, способности к аккумуляции загрязнителей, влияния на почвенные процессы, биоразнообразие;

– экономическое обоснование. Разработка технологических карт, оценка инвестиционной привлекательности, определение рыночных ниш для продукции из павловнии.

Проведенный анализ позволяет заключить, что павловния войлочная обладает значительным потенциалом для использования в лесном хозяйстве и городском озеленении Волгоградской области. Наиболее перспективными направлениями внедрения культуры являются:

– создание защитных лесных насаждений различного целевого назначения (полезащитных, противоэрозионных, пастбищезащитных);

Таблица 4

Матрица SWOT-анализа интродукции павловнии войлочной в условиях Волгоградской области

Сильные стороны	Слабые стороны
– высокие темпы роста; – хозяйственная универсальность; – экологическая пластичность; – фитомелиоративные свойства; – аккумуляция тяжелых металлов; – высокая декоративность	– недостаточная морозостойкость; – чувствительность к заморозкам; – требовательность к влаге в первые годы; – повреждение дереве от сильного ветра; – низкая биостойкость древесины; – отсутствие районированных сортов
Возможности	**Угрозы**
– использование для городского озеленения; – применение в лесном хозяйстве; – фиторемедиация; – экономическая выгода; – селекционная работа по созданию зимостойких сортовых линий, адаптированных к условиям региона; – улучшение микроклимата	– экстремальные погодные явления; – аридизация климата; – неправильный выбор исходного материала

– биологическая рекультивация нарушенных и техногенно-загрязненных земель;

– плантационное выращивание для получения древесины, биотоплива и кормовой массы;

– обогащение ассортимента декоративных древесных растений, используемых в озеленении населенных пунктов.

В экологических исследованиях, и особенно в работах по интродукции растений, применение SWOT-анализа позволяет системно оценить совокупность биологических, экологических, климатических, хозяйственных и социально-экономических факторов, определяющих перспективность внедрения нового вида в регионе (см. табл. 4). Данный метод дает возможность не только выявить положительные и отрицательные аспекты интродукции, но и определить направления для минимизации рисков и максимального использования преимуществ [22].

SWOT-анализ подтверждает необходимость дифференцированного подхода к использованию павловнии в различных секторах экономики и природопользования региона. Интродукция павловнии должна рассматриваться не как альтернатива традиционным породам, а как дополнение к ним, позволяющее решать специфические задачи.

Заключение

Анализ биологических свойств павловнии войлочной показывает, что данный вид обладает комплексом уникальных характеристик, определяющих его высокий интродукционный потенциал. Исключительная скорость роста, достигающая 2–4 м в год, позволяет получать товарную продукцию в короткие сроки и существенно сокращать период окупаемости инвестиций. Мощная корневая система, проникающая на глубину до 9 метров, обусловливает высокую засухоустойчивость растения и его способность эффективно закреплять почву на склонах, предотвращая развитие эрозионных процессов. Это качество приобретает особое значение в условиях аридного климата и активного проявления водной и ветровой эрозии, характерных для Волгоградской области. Крупные листья выполняют не только фотосинтетическую функцию, но и способствуют эффективному улавливанию пылевых частиц и снижению транспирационных потерь, что повышает устойчивость вида к атмосферному загрязнению и засушливым периодам. Вместе с тем температурный режим является ключевым лимитирующим фактором распространения павловнии.

Успешное выращивание данной культуры в условиях Волгоградской области требует применения адаптированных агротехнических приемов, компенсирующих негативное влияние лимитирующих факторов. Критическое значение имеет качество исходного посадочного материала, при этом предпочтение следует отдавать вегетативному размножению, включая размножение корневыми черенками и микроклональное размножение, обеспечивающим сохранение ценных сортовых признаков и получение генетически однородного материала.

Современная хозяйственная роль павловнии войлочной характеризуется исключительным многообразием, что позволяет рассматривать данную культуру как стратегический ресурс для различных отраслей экономики. Древесина павловнии обладает уникальными физико-механическими свойствами: исключительно низкой плотностью, относящей ее к категории самых легких промышленно используемых пород; низкой теплопроводностью, что делает ее ценным изоляционным материалом.

Высокая теплота сгорания древесины и быстрый набор биомассы делают павловнию перспективной культурой для зеленой энергетики.

Листья павловнии отличаются уникальным химическим составом с содержанием сырого протеина до 20 %, что позволяет использовать их в животноводстве в качестве кормовой добавки. Цветки являются ценным ранневесенним медоносом с высокой продуктивностью. Различные органы павловнии содержат биологически активные вещества, включая флавоноиды, что открывает перспективы использования вида в фармацевтической и косметической промышленности.

Способность павловнии аккумулировать в различных органах ионы тяжелых металлов позволяет использовать растение для фиторемедиации техногенно-загрязненных территорий и в качестве биоиндикатора загрязне-

ния почв. Мощная корневая система эффективно закрепляет почву, предотвращая эрозию, а листовой опад, богатый азотом, быстро разлагается и улучшает почвенное плодородие. В контексте глобальных климатических изменений важной функцией павловнии является способность к быстрому депонированию углерода, что в два-три раза превышает показатели дубовых насаждений.

Перспективы применения павловнии в лесном хозяйстве и городском озеленении Волгоградской области можно оценивать как значительные. В лесном хозяйстве наиболее перспективными направлениями являются создание защитных лесных насаждений различного целевого назначения. Фиторемедиационный потенциал вида открывает возможности для биологической рекультивации нарушенных и техногенно загрязненных земель. Экономический потенциал павловнии создает предпосылки для организации в регионе энергетических плантаций для производства твердого биотоплива, сырьевых плантаций для деревообрабатывающей промышленности и плантаций кормового назначения для животноводства.

В городском озеленении павловния может найти применение в аллейных и рядовых посадках вдоль улиц и бульваров, в солитерных и групповых посадках в парках и скверах, для создания санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий и вдоль транспортных магистралей. Высокие декоративные качества сочетаются с устойчивостью к загрязнению воздуха, пылезадерживающей способностью и засухоустойчивостью, что делает павловнию ценным компонентом зеленой инфраструктуры в условиях техногенного прессинга.

Проведенный SWOT-анализ подтверждает принципиальную возможность и перспективность интродукции павловнии войлочной в Волгоградской области при условии комплексного учета лимитирующих факторов и реализации адаптированных технологических решений.

Таким образом, проведенное исследование позволяет заключить, что павловния войлочная обладает значительным потенциалом для использования в лесном хозяйстве и городском озеленении Волгоградской области при условии комплексного учета лимитирующих факторов и реализации адаптированных технологических решений. Успешная интродукция павловнии может внести существенный вклад в решение приоритетных задач регионального развития: повышение лесистости и улучшение экологической обстановки, создание новых рабочих мест в лесном и сельском хозяйстве, перерабатывающей промышленности, развитие возобновляемой энергетики, улучшение эстетического качества городской среды, выполнение международных обязательств по связыванию углерода и смягчению последствий изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году» / редкол.: Е. П. Православнова [и др.] ; Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Волгоград : ТЕМПОРА, 2025. – 300 с.

2. Иванцова, Е. А. Аридные экосистемы в условиях техногенного прессинга / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов, Н. В. Онистратенко // Академический вестник ELPIT. – 2018. – Т. 3, № 4 (6). – С. 22–28.

3. Иванцова, Е. А. Естественные и аграрные экосистемы юга России в условиях техногенного прессинга / Е. А. Иванцова, Н. В. Онистратенко // Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Элиста, 2019. – С. 577–580.

4. Иванцова, Е. А. Исторические аспекты изучения функционирования зеленых насаждений в условиях урбанизированной среды / Е. А. Иванцова, Р. В. Овсянкин // Научно-производственное обеспечение социально-экономической и экологической деятельности в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Вестник РАСХН, 2014. – С. 199–203.

5. Иванцова, Е. А. Оптимизация фитосанитарного состояния агробиоценозов Нижнего Поволжья : дис. ... д-ра с.-х. наук / Иванцова Елена Анатольевна. – Саратов, 2009. – 453 с.

6. Иванцова, Е. А. Характер взаимодействия компонентов антропогенно-трансформированных экосистем юга России / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 3 (55). – С. 79–86.

7. Иванцова, Е. А. Экологическая оценка и оптимизация состояния зеленых насаждений г. Волгограда / Е. А. Иванцова, К. В. Миронова // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году экологии в России. – с. Соленое Займище, 2017. – С. 124–129.

8. Иманбердиева, Н. А. Особенности выращивания Paulownia PAO TONG Z07 / Н. А. Иманбердиева, Ж. С. Санжарбекова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2023. – № 6. – С. 17–23.

9. Новикова, С. С. Социологические и психологические методы исследования в социальной работе / С. С. Новикова, А. В. Соловьев. – М. : Изд-во МГСУ «Союз», 1998. – 496 с.

10. Овсянкин, Р. В. Воздействие антропогенной нагрузки на насаждения в функциональных зонах урбанизированной среды г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 350–356.

11. Овсянкин, Р. В. Компьютерное картографирование сохранности зеленых насаждений в городских ландшафтах / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2 (42). – С. 134–140.

12. Овсянкин, Р. В. Состояние древесных насаждений южной промзоны г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 544–547.

13. Онистратенко, Н. В. Геоботанический анализ естественных и антропогенно измененных травянистых сообществ Юга России в ходе полевой практики : учеб.-метод. пособие для бакалавров и магистрантов направления подготовки «Экология и природопользование» / Н. В. Онистратенко, Е. А. Иванцова ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет», Институт естественных наук, Кафедра экологии и природопользования. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2020. – 112 с.

14. Особенности клонального размножения павловнии войлочной (Paulownia tomentosa) / И. В. Ширнина [и др.] // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2024. – Т. 28, № 1. – С. 89–96.

15. Павловния в России: самый подробный гайд // Paulownia Russia. – 2026. – URL: https://www.paulownia-russia.com/blog/rost-pavlovnii-po-regionam-2026

16. Павловния войлочная – экодерево XXI века // Procvetok. – 2019. – URL: https://procvetok.com/156003/

17. Павловния войлочная // Ботанический сад БФУ им. И. Канта. – 2022. – URL: https://bio.edukbsu.ru/product/павловния-войлочная/#tab-additional_information

18. Павловния войлочная: шелковое дерево и рекордсмен роста // Журнал «ЛПК Сибири». – 2025. – URL: https://lpk-sibiri.ru

19. Павловния Волкова: как волгоградец стал экоактивистом и вывел новый сорт дерева // РИАЦ. – 2025. – URL: https://riac34.ru/news/202530/?ysclid=mp1995h8b6994915885

20. Половинкина, Ю. С. Экологические аспекты оптимизации городской среды (на примере г. Волгограда) / Ю. С. Половинкина, Е. А. Иванцова //Антропогенная трансформация геопространства: история и современность : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград : ВолГУ, 2014. – С. 134–138.

21. Снижение негативного воздействия на агроценозы путем управления примыкающими природно-антропогенными системами / Е. А. Иванцова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2017. – Т. 19, № 4 (41). – С. 138–146. – DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2017.4.15

22. Технология SWOT-анализа / А. Г. Бачинский [и др.] // Форум молодых ученых. – 2020. – № 3 (43). – С. 67–72.

23. Тихонова, А. А. Оценка жизненного состояния древесной растительности санитарно-защитной зоны АО «ФНЦП «Титан-Баррикады» в Волгограде / А. А. Тихонова, Е. А. Иванцова // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – № 3. – С. 22–27.

24. Токарева, Т. Г. Интродуценты в городских зеленых насаждениях г. Волгограда / Т. Г. Токарева // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2018. – № 147. – С. 157–159.

25. Тыщенко, Е. Л. Павловния войлочная как биоиндикатор степени загрязненности почв / Е. Л. Тыщенко, Ю. Ф. Якуба // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2014. – № 29. – С. 18–27.

26. Холявко, В. С. Дендрология и основы зеленого строительства : учебник для средних сельских профессионально-технических училищ / В. С. Холявко, Д. А. Глоба-Михайленко. – М. : Высш. шк., 1980. – 248 с.

27. Экологическая оценка городских агломераций на основе индикаторов устойчивого развития / Е. А. Иванцова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 143–156. – DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13

28. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using GIS-Technologies / E. A. Ivantsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problem and Solutions. – 2019. – P. 012036.

29. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction / N. B. Onistratenko [et al.] // Ekologia (Bratislava). – 2016. – Vol. 35, no. 3. – P. 205–212.

30. Mapping and Assessment of Sealing Rate of Soils in the City of Volgograd / O.A. Gordienko [et al.] // Eurasian Soil Science. – 2019. – Vol. 52, no. 11. – C. 1439–1446.

REFERENCES

1. Pravoslavnova E.P. et al., eds. *Doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2024 godu»* [Report "On the State of the Environment in the Volgograd region in 2024"]. Volgograd, TEMPORA Publ., 2025. 300 p.

2. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Onistratenko N.V. Aridnyye ekosistemy v usloviyakh tekhnogennogo pressinga [Arid Ecosystems Under Technogenic Pressure]. *Akademicheskiy vestnik ELPIT*, 2018, vol. 3, no. 4 (6), pp. 22-28.

3. Ivantsova E.A., Onistratenko N.V. Yestestvennyye i agrarnyye ekosistemy yuga Rossii v usloviyakh tekhnogennogo pressinga [Natural and Agricultural Ecosystems of Southern Russia Under Man-Made Pressure]. *Sotsialno-ekonomicheskiye i ekologicheskiye aspekty razvitiya Prikaspiyskogo regiona: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Socio-Economic and Environmental Aspects of the Development of the Caspian Region. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Elista, 2019, pp. 577-580.

4. Ivantsova E.A., Ovsyankin R.V. Istoricheskiye aspekty izucheniya funktsionirovaniya zelenykh nasazhdeniy v usloviyakh urbanizirovannoy sredy [Historical Aspects of Studying the Functioning of Green Spaces in Urban Environments]. *Nauchno-proizvodstvennoye obespecheniye sotsialno-ekonomicheskoy i ekologicheskoy deyatelnosti v APK: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Scientific and Industrial Support for Socio-Economic and Environmental Activities in the Agro-Industrial Complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Moscow, Vestnik RASKhN, 2014, pp. 199-203.

5. Ivantsova E.A. *Optimizatsiya fitosanitarnogo sostoyaniya agrobiotsenozov Nizhnego Povolzhya: dis. ... d-ra s.-kh. nauk* [Optimization of the Phytosanitary State of the Lower Volga Region Agrobiocenoses. Dr. Agriculture sci. diss.]. Saratov, 2009. 453 p.

6. Ivantsova E.A., Novochadov V.V. Kharakter vzaimodeystviya komponentov antropogenno-transformirovannykh ekosistem yuga Rossii [The Nature of Interaction Between Components of Anthropogenically Transformed Ecosystems in Southern Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2019, no. 3 (55), pp. 79-86.

7. Ivantsova E.A., Mironova K.V. Ekologicheskaya otsenka i optimizatsiya sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy g. Volgograda [Environmental Assessment and Optimization of Volgograd's Green Spaces]. *Nauchno-prakticheskiye puti povysheniya ekologicheskoy ustoychivosti i sotsialno-ekonomicheskoye obespecheniye selskokhozyaystvennogo proizvodstva: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. godu ekologii v Rossii* [Scientific and Practical Ways to Improve Environmental Sustainability and Socioeconomic Support for Agricultural Production. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Year of Ecology in Russia]. Solyonoye Zaymishche, 2017, pp. 124-129.

8. Imanberdieva N.A., Sanzharbekova Zh.S. Osobennosti vyrashchivaniya Paulownia PAO TONG Z07 [Features of Growing Paulownia PAO TONG Z07]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2023, no. 6C, pp. 17-23.

9. Novikova S.S., Soloviev A.V. *Sotsiologicheskie i psikhologicheskie metody issledovaniya v sotsialnoy rabote* [Sociological and Psychological Research Methods in Social Work]. Moscow, Izd-vo MGSU «Soyuz», 1998. 496 p.

10. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Vozdeystviye antropogennoy nagruzki na nasazhdeniya v funktsionalnykh zonakh urbanizirovannoy sredy g. Volgograda [Impact of Anthropogenic Load on Plantings in the Functional Zones of the Urbanized Environment of Volgograd]. *Ekologicheskaya bezopasnost i okhrana okruzhayushchey sredy v regionakh Rossii: teoriya i praktika: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Environmental Safety and Environmental Protection in the Regions of Russia: Theory and Practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 350-356.

11. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Kompyuternoye kartografirovaniye sokhrannosti zelenykh nasazhdeniy v gorodskikh landshaftakh [Computer Mapping of the Preservation of Green Spaces in Urban Landscapes]. *Izvestiya*

Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2016, no. 2 (42), pp. 134-140.

12. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Sostoyaniye drevesnykh nasazhdeniy yuzhnoy promzony g. Volgograda [The State of Tree Plantations in the Southern Industrial Zone of Volgograd]. *Geopolitika i ecogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions], 2014, vol. 10, no. 2, pp. 544-547.

13. Onistratenko N.V., Ivantsova E.A. *Geobotanicheskiy analiz yestestvennykh i antropogenno izmenennykh travyanistykh soobshchestv Yuga Rossii v khode polevoy praktiki: ucheb.-metod. posobiye dlya bakalavrov i magistrantov napravleniya podgotovki «Ekologiya i prirodopolzovaniye»* [Geobotanical Analysis of Natural and Anthropogenically Altered Grass Communities in Southern Russia During Field Practice. Texbook for Bachelor's and Master's Students Majoring in "Ecology and Environmental Management"]. Volgograd, Izd-vo VolGU, 2020, 112 p.

14. Shirnina I.V. et al. Osobennosti klonalnogo razmnozheniya pavlovnii voylochnoy (Paulownia tomentosa) [Specifics of Clonal Propagation of Paulownia tomentosa]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 89-96.

15. Pavlovniya v Rossii: samyy podrobnyy gayd [Paulownia in Russia: The Most Detailed Guide]. *Paulownia Russia*, 2026. URL: https://www.paulownia-russia.com/blog/rost-pavlovnii-po-regionam-2026

16. Pavlovniya voylochnaya – ekoderevo XXI veka [Paulownia tomentosa – Ecotree of the 21st Century]. *Procvetok*, 2019. URL: https://procvetok.com/156003/

17. Pavlovniya voylochnaya [Paulownia tomentosa]. *Botanicheskiy sad BFU im. I. Kanta* [Botanical Garden of the Immanuel Kant Baltic Federal University], 2022. URL: https://bio.edukbsu.ru/product/павловния-войлочная/#tab-additional_information

18. Pavlovniya voylochnaya: shelkovoye derevo i rekordsmen rosta [Paulownia tomentosa: Silk Tree and Growth Record Holder]. *Zhurnal «LPK Sibiri»* [Timber Industry of Siberia], 2025. URL: https://lpk-sibiri.ru

19. Pavlovniya Volkova: kak volgogradets stal ekoaktivistom i vyvel novyy sort dereva [Paulownia Volkova: How a Volgograd Resident Became an Ecoactivist and Bred a New Tree Variety]. *RIAC*, 2025. URL: https://riac34.ru/news/202530/?ysclid=mp1995h8b6994915885

20. Polovinkina Yu.S., Ivantsova E.A. Ekologicheskiye aspekty optimizatsii gorodskoy sredy (na primere g. Volgograda) [Environmental Aspects of Urban Environment Optimization (Based on the Example of Volgograd)]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: istoriya i sovremennost: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Anthropogenic Transformation of Geospatial Space: History and Modernity. Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, VolGU, 2014, pp. 134-138.

21. Ivantsova E.A., Onistratenko N.V., Holodenko A.V., Tihonova A.A., Novochadov V.V. Snizheniye negativnogo vozdeystviya na agrotsenozy putem upravleniya primykayushchimi prirodno-antropogennymi sistemami [Reducing the Negative Impact on Agrocenoses by Managing Adjacent Natural and Anthropogenic Systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2017, vol. 19, no. 4 (41), pp. 138-146. DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2017.4.15

22. Bachinsky A.G., Dmitriev N.A., Avlasevich D.V., Kirillov A.A. Tekhnologiya SWOT-analiza [SWOT Analysis Technology]. *Forum molodykh uchenykh* [Forum of Young Scientists], 2020, no. 3 (43), pp. 67-72.

23. Tihonova A.A., Ivantsova E.A. Otsenka zhiznennogo sostoyaniya drevesnoy rastitelnosti sanitarno-zashchitnoy zony AO «FNTSP «Titan-Barrikady» v Volgograde [Assessment of the Living Condition of Woody Vegetation of the Sanitary Protection Zone of FNPC "Titan-Barricades" in Volgograd]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories], 2020, no. 3, pp. 22-27.

24. Tokareva T.G. Introdutsenty v gorodskikh zelenykh nasazhdeniyakh g. Volgograda [Introduced Species in Urban Green Spaces of Volgograd]. *Biologiya rasteniy i sadovodstvo: teoriya, innovatsii* [Plant Biology and Gardening: Theory, Innovation], 2018, no. 147, pp. 157-159.

25. Tyshchenko E.L., Yakuba Yu.F. Paulovniya voylochnaya kak bioindikator stepeni zagryaznennosti pochv [Paulownia tomentosa as a Bioindicator of Soil Pollution Level]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* [Fruit Growing and Viticulture in Southern Russia], 2014, no. 29, pp. 18-27.

26. Kholyavko V.S., Globa-Mikhailenko D.A. *Dendrologiya i osnovy zelenogo stroitelstva: uchebnik dlya srednikh selskikh professionalno-tekhnicheskikh uchilishch* [Dendrology and Basics of Green Construction. Textbook for Secondary Rural Vocational Schools]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1980. 248 p.

27. Ivantsova E.A., Postnova M.V., Sagalaev V.A., Matveeva A.A., Holodenko A.V. Ekologicheskaya otsenka gorodskikh aglomeratsiy na osnove indikatorov ustoychivogo razvitiya [The Environmental Assessment of Urban Agglomerations on the Basis of Sustainable Development Indicators]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo*

universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2019, vol. 21, no. 2, pp. 143-156. DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13

28. Ivantsova E.A., Matveeva A.A., Onistratenko N.V., Ovsyankin R.V. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using GIS-Technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problem and Solutions*, 2019, p. 012036.

29. Onistratenko N.B., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnicov D.A. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction. *Ekologia (Bratislava)*, 2016, vol. 35, no. 3, pp. 205-212.

30. Gordienko O.A., Manaenkov I.V., Kholodenko A.V., Ivantsova E.A. Mapping and Assessment of Sealing Rate of Soils in the City of Volgograd. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 11, pp. 1439-1446.

Information About the Authors

Nikolay V. Onistratenko, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, onistratenko@volsu.ru

Anna S. Kapelina, Laboratory Assistant, Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, epb-221_483354@volsu.ru

Информация об авторах

Николай Владимирович Онистратенко, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, onistratenko@volsu.ru

Анна Сергеевна Капелина, лаборант кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, epb-221_483354@volsu.ru

www.volsu.ru

CC BY

DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.2

UDC 712.4:635.925
LBC 42.378

DESIGN OF PLANT OBJECTS TAKING INTO ACCOUNT THE DECORATIVE AND PHENOLOGICAL SPECTRUM: PRINCIPLES OF CONTINUITY AND COMPATIBILITY

Ekaterina A. Chernova
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Olga V. Zorkina
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. For a long time, sanitary-hygienic and planning requirements came first in urban greening practice. Year-round ornamental value was taken into account less often, and this led to the spread of uniform plantings that lose their expressiveness as soon as flowering or leaf fall is over. City dwellers, however, see green spaces in every season. The ornamental properties of individual species are described in the literature in considerable detail, whereas the ornamental value of a planting as a whole, changing over time, has been studied far less. The aim is to systematize the principles of forming seasonal plant compositions from woody and shrub species with regard to the continuous color dynamics of the year and to propose a recommended assortment of species for the urban environment. The material comprised recent Russian and foreign publications on ornamental dendrology, landscape architecture, and urban greening; analysis, systematization, and comparative-descriptive methods were applied. The main elements of seasonal ornamental value of woody and shrub plants (crown shape, bark color, flowering, fruiting, and autumn foliage color) are characterized; principles of forming compositions with a continuous ornamental effect are outlined – tiering, color combination, and phenological compatibility; the types of plant objects (solitary plantings, groups, hedges, and mixed borders) and their role in color dynamics are analyzed; a recommended assortment of species with high seasonal ornamental value is proposed, emphasizing conifers as the basis of a year-round ornamental framework. Key principles are continuity of the ornamental effect, tiering, elaborated color design, and phenological compatibility of species; the decorative and phenological spectrum remains an effective tool for eliminating gaps in ornamental value at the design stage.

Key words: ornamental value of woody and shrubby plants, continuity of the decorative effect, color scheme of the composition, selection of an assortment, urban greening, decorative and phenological spectrum, conifers in year round composition.

Citation. Chernova E.A., Zorkina O.V. Design of Plant Objects Taking into Account the Decorative and Phenological Spectrum: Principles of Continuity and Compatibility. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2026, vol. 16, no. 4, pp. 20-30. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.2

© Чернова Е.А., Зорькина О.В., 2026

УДК 712.4:635.925
ББК 42.378

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ДЕКОРАТИВНО-ФЕНОЛОГИЧЕСКОГО СПЕКТРА: ПРИНЦИПЫ НЕПРЕРЫВНОСТИ И СОЧЕТАЕМОСТИ

Екатерина Андреевна Чернова
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Ольга Владимировна Зорькина

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В практике городского озеленения на первом месте долго стояли санитарно-гигиенические и планировочные требования. Круглогодичная декоративность насаждений учитывалась реже, и это привело к распространению однотипных посадок, теряющих выразительность сразу после цветения или листопада. Однако горожанин видит зеленые насаждения во все сезоны. Декоративные свойства отдельных видов описаны в литературе достаточно подробно, а декоративность насаждения как целого, меняющегося во времени, изучена гораздо хуже. Цель статьи – систематизировать принципы формирования сезонных растительных композиций из древесно-кустарниковых пород с учетом непрерывной цветовой динамики года и предложить рекомендуемый ассортимент пород для городской среды. Материалом послужили отечественные и зарубежные научные публикации последних лет по декоративному древоводству, ландшафтной архитектуре и городскому озеленению; применены методы анализа и систематизации литературных данных, сравнительно-описательный метод. Охарактеризованы основные элементы сезонной декоративности древесных и кустарниковых растений – форма кроны, окраска коры, цветение, плодоношение, осенняя окраска листвы; изложены принципы формирования композиций с непрерывным декоративным эффектом – ярусность, колористическое сочетание, фенологическая совместимость; проанализированы типы растительных объектов (солитер, группа, живая изгородь, миксбордер) и их роль в создании цветовой динамики; предложен рекомендуемый ассортимент пород с высокой сезонной декоративностью для условий городской среды, отдельно выделена роль хвойных пород как основы круглогодичного декоративного каркаса. Ключевыми принципами формирования сезонных композиций служат непрерывность декоративного эффекта, ярусность, колористическая проработанность и фенологическая совместимость видов; декоративно-фенологический спектр остается эффективным инструментом устранения «провалов» декоративности на стадии проектирования.

Ключевые слова: декоративность древесных и кустарниковых растений, непрерывность декоративного эффекта, колористическое решение композиции, подбор ассортимента, озеленение городов, декоративно-фенологический спектр, хвойные в круглогодичной композиции.

Цитирование. Чернова Е. А., Зорькина О. В. Проектирование растительных объектов с учетом декоративно-фенологического спектра: принципы непрерывности и сочетаемости // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 4. – С. 20–30. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.2

Санитарно-гигиенические и планировочные функции насаждений долгое время определяли подход к озеленению городов; длительная декоративность оставалась второстепенным требованием. Итог такого подхода хорошо знаком: однообразные посадки, которые выглядят выигрышно две-три недели в году. Житель города видит их постоянно, и эстетическое впечатление складывается не из отдельных ярких эпизодов, а из того, как насаждение меняет облик от месяца к месяцу.

Если исходить из цветовой динамики, ассортимент приходится подбирать иначе. Породу оценивают не по одному признаку, а по всему набору сезонных состояний: как выглядит крона летом и зимой, когда и чем цветет растение, что дает плодоношение, какой становится листва осенью. Такая оценка позволяет составить группу, где угасающий декоративный эффект сразу подхватывает соседний вид. Изучен вопрос неравномерно. По декоративным качествам отдельных родов и семейств накоплен большой материал; насаждение как система, работающая во времени, описано скупее. Методики оценки сезонной декоративности предлагали разные авторы, но общепринятой и пригодной для проектной практики системы пока несуществует [9; 10; 14].

Цель работы – свести воедино принципы построения сезонных композиций из древесно-кустарниковых пород и на этой основе предложить ассортимент для городских объектов. В задачи входило описание элементов декоративности по сезонам, изложение композиционных приемов, которые обеспечивают непрерывность декоративного эффекта, и характеристика видов, пригодных для условий города.

1. Декоративные свойства древесно-кустарниковых пород как основа сезонных композиций. Под декоративностью древесных и кустарниковых растений понимают те их морфологические и физиологические особенности, которые человек оценивает как эстетически значимые. Основными ее элементами служат: форма и архитектоника кроны, окраска и фактура коры и побегов, листья, цветки и соцветия,

плоды и ягоды [10]. Каждый из этих элементов имеет неодинаковое значение в разные периоды года, что и определяет характер сезонной динамики декоративности конкретного вида.

Форма кроны – наиболее устойчивый декоративный признак, сохраняющий значение во все сезоны. Колонновидные, шаровидные, плакучие и раскидистые кроны создают пространственный каркас композиции, воспринимаемый в безлиственном состоянии не менее выразительно, чем в период вегетации. Именно архитектоника кроны определяет силуэт растения зимой, когда ветвление становится главным декоративным элементом [14]. Окраска коры и молодых побегов в безлиственный период приобретает первостепенное значение: ярко-красные побеги дерена белого (*Cornus alba*), желто-зеленые ивы пурпурной – создают выраженный колористический эффект на фоне снега. Декоративность коры изучена, в частности на видах рода *Lonicera*: около 8 % из 46 исследованных видов жимолости характеризуются наибольшей степенью декоративности именно зимой, привлекая внимание необычной фактурой коры и сохраняющимися яркими плодами [1].

Весенний сезон характеризуется двумя волнами декоративности. Первая – цветение до распускания листьев: форзиция (*Forsythia* spp.), миндаль трехлопастный (*Prunus triloba*), вишня войлочная (*Prunus tomentosa*). Вторая – распускание листвы с характерными для многих видов бронзовым, красноватым или ярко-зеленым оттенками. Летняя декоративность определяется листовым пологом – его плотностью, фактурой и колористическими характеристиками. Монотонность зеленого фона преодолевается включением пород с нетипичной окраской: пурпурнолистных форм скумпии (*Cotinus coggygria* f. *purpureus*), серебристых листьев лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia*), голубой хвои ели колючей (*Picea pungens*).

Осенняя декоративность формируется двумя группами признаков: осенней окраской листвы и декоративностью плодов. Плоды многих кустарников сохраняются на ветвях значительно дольше листьев, обеспечивая эффект вплоть до середины зимы. Исследования на видах рода *Lonicera* показали, что 42 % из 47 изученных видов обладают наибольшей степенью декоративности в летне-осенний период именно благодаря эффектным, хорошо заметным плодам [2]. Аналогичную роль играют калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), боярышники (*Crataegus* spp.), рябина, шиповники [7].

Среди методов оценки декоративности наиболее распространена балльная система с фиксацией оценок в строго определенные фенологические фазы. Важным дополнением служит декоративно-фенологический спектр – графическое отображение периодов и интенсивности декоративности вида по месяцам года, позволяющее выявлять «провалы» на проектируемом объекте [10]. Политомический ключ, разработанный Трушевой и Резчиковой, формализует этот процесс: 8 разделов ключа обеспечивают описание растения по 36 параметрам, что значительно сокращает трудоемкость подбора ассортимента [25].

2. Принципы формирования сезонных растительных композиций с учетом цветовой динамики. Формирование растительных объектов с непрерывной сезонной декоративностью строится на нескольких взаимосвязанных принципах. Изолированное применение любого из них не обеспечивает результата: ярусно правильно выстроенная, но колористически не проработанная композиция так же лишена сезонной выразительности, как и красиво подобранная по цвету, но фенологически неграмотно составленная группа.

Принцип непрерывности декоративного эффекта означает, что угасание одного декоративного состояния должно перекрываться нарастанием следующего. На практике это требует включения видов с пиками декоративности в разные периоды года: ранневесенних цветущих (форзиция, миндаль), среднесезонных (чубушник, спирея), летне-осенних (гортензия, калина) и зимнедекоративных (дерен с красными побегами, виды с сохраняющимися плодами). Данный принцип хорошо иллюстрирует опыт коллекций декоративных кустарников в дендрологических садах: большинство из 51,3 % кустарников коллекции дендросада им. В.Н. Нилова отличаются декоративностью в весенне-летне-осенний период, формируя непрерывный декоративный фон на протяжении трех сезонов [8]. Декоративно-фенологический спектр, иллюстрирующий данный принцип, представлен на рисунке 1.

Принцип ярусности предполагает формирование пространственной структуры из не-

скольких горизонтальных уровней – верхнего (деревья), среднего (высокие кустарники 1,5–3 м), нижнего (кустарники до 1 м) и приземного (травянистые многолетники). Ярусность обеспечивает не только пространственную выразительность, но и функциональную эффективность: растения разных ярусов не конкурируют за световые ресурсы, что позволяет формировать плотные насыщенные посадки. Декоративные качества растений – величина, цвет листьев, коры и цветков, форма кроны – на разных этапах развития существенно варьируются, что открывает широкие возможности для создания многочисленных вариантов многоярусных сезонных композиций [7]. Схема сочетания пород с различной формой кроны в многоярусной композиции показана на рисунке 2.

Принцип колористического сочетания опирается на законы цветовой гармонии при-

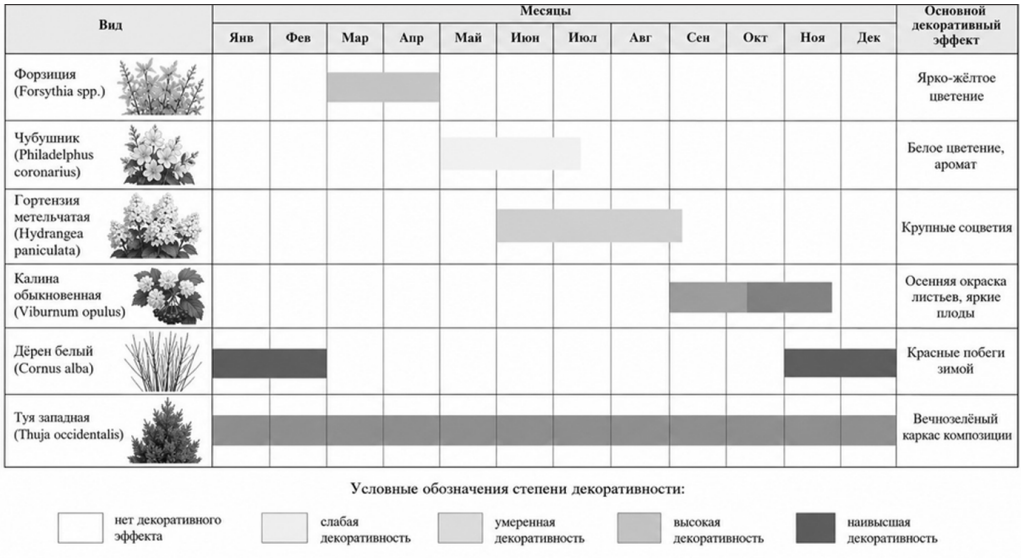

Рис. 1. Декоративно-фенологический спектр древесно-кустарниковых пород в сезонной композиции (автор Е.А. Чернова)

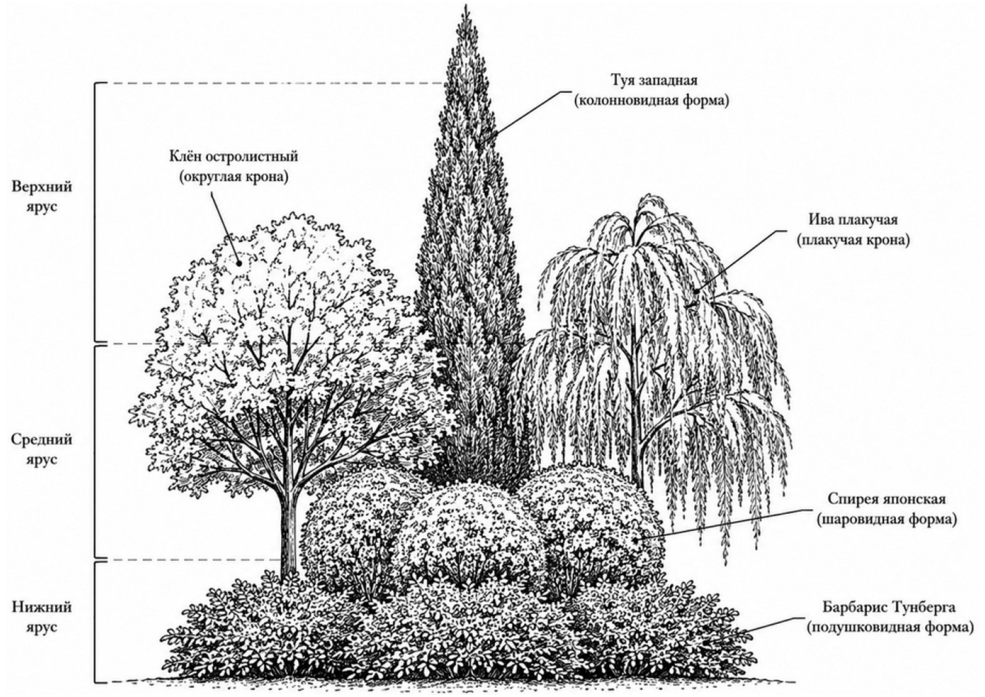

Рис. 2. Схема сочетания древесно-кустарниковых пород с различной формой кроны в многоярусной композиции (автор Е.А. Чернова)

менительно к растительным материалам. Монохромные решения строятся на оттенках одного цвета, контрастные – на принципиально разной окраске соседних видов: золотисто-желтые листья барбариса ‘Aurea’ рядом с темно-пурпурными ‘Atropurpurea’ (рис. 3).

Монохромный вариант колористического решения в бело-кремовой гамме приведен на рисунке 4.

При этом цветовое решение должно быть проработано для каждого из сезонов. Для весеннего оформления городских пространств уместны яркие тона; летом предпочтительнее сдержанная гамма – белые, голубоватые, фиолетовые оттенки, которые уравновешивают общее колористическое впечатление [7].

Фенологическая совместимость означает, что собранные в композицию виды близки по экологическим требованиям, но расходятся по срокам декоративности. Подбор по принципу «один отцветает – другой только раскрывается» невозможен без фенологических календарей, составленных для конкретной климатической зоны. Есть и обратная сторона: когда несколько видов выходят на пик одновременно и при этом неудачно сочетаются по цвету, композиция начинает распадаться визуально. Р.А. Карписонова с соавторами

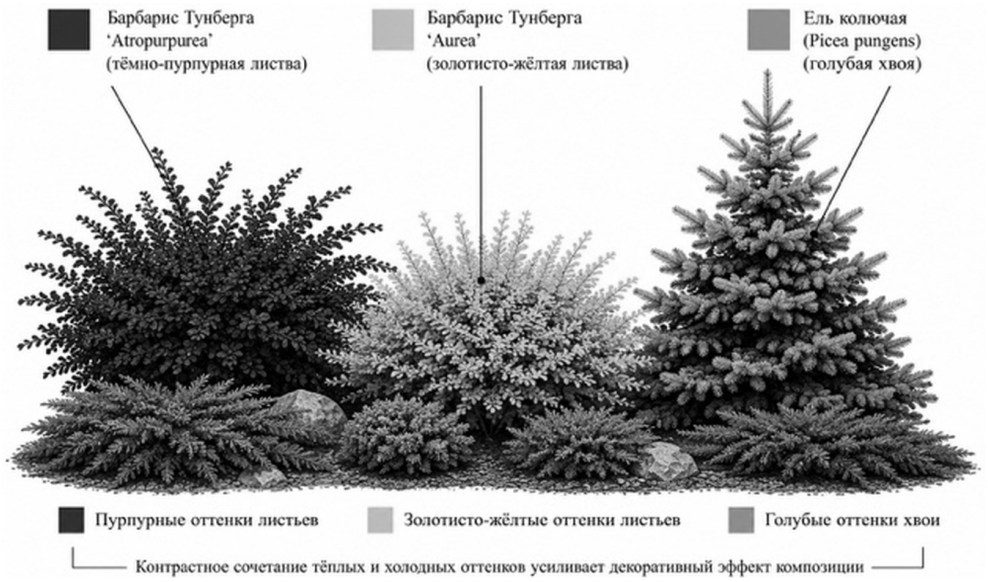

Рис. 3. Пример контрастного колористического сочетания древесно-кустарниковых пород (автор Е.А. Чернова)

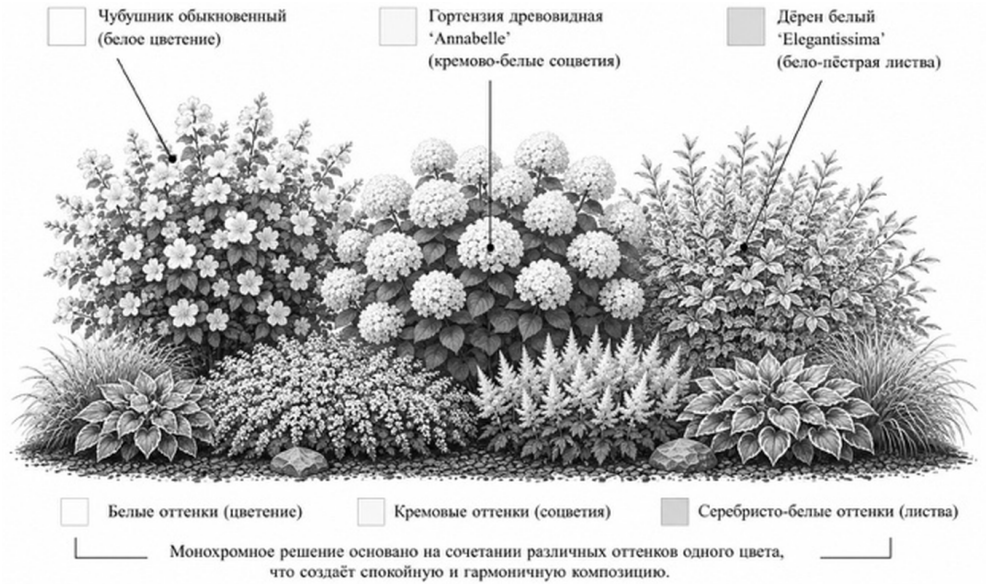

Рис. 4. Пример монохромного колористического решения в бело-кремовой гамме (автор Е.А. Чернова)

подчеркивают, что подбор декоративных растений нуждается в экологическом обосновании – совместимость определяют не только эстетические соображения, но и требования к освещенности, влажности и почве [26].

Возможности разных типов растительных объектов в создании цветовой динамики неодинаковы. Труднее всего приходится солитеру: он ограничен биологией одного вида, поэтому в одиночную посадку берут породы, декоративные в несколько сезонов, – декоративные яблони, рябины, сортовые клены. Группа гибче, поскольку смешанный состав дает возможность менять доминанту в течение года. Живую изгородь обычно составляют из одного-двух видов, но кизильник (Cotoneaster), барбарис или пузыреплодник удерживают привлекательность бомльшую часть года и в такой посадке. Ближе всего к идее непрерывной цветовой динамики стоит миксбордер, где кустарники, многолетники и небольшие деревья сменяют друг друга в пиках декоративности [10].

В проектной работе декоративно-фенологический спектр удобен тем, что данные по всем намеченным видам накладываются друг на друга и «пустые» месяцы, когда ни один вид не дает заметного эффекта, видны сразу. Теории ландшафтного проектирования прием известен давно, в практике городского озеленения применяется редко – отсюда и объекты, невыразительные зимой и ранней весной [25]. Именно многопородные группы с последовательной сменой акцентов посетители парков оценивают выше других и связывают с наиболее комфортной средой для отдыха [5].

3. Ассортимент древесно-кустарниковых пород для сезонных композиций в условиях городской среды. Первым условием остается устойчивость породы к городским факторам: загазованности воздуха, засолению и уплотнению почвы [11–14; 16–19; 21; 28; 29]. Эстетические соображения вступают в силу позже – обсуждать декоративный потенциал вида имеет смысл лишь тогда, когда его толерантность к условиям конкретного места подтверждена.

Из кустарников многосезонной декоративностью выделяется род Spiraea: подбором видов цветение растягивается с апреля по август, то есть на весь весенне-летний период. На июнь и начало июля приходится обильное цветение вейгелы (Weigela), дейции (Deutzia) и чубушника (Philadelphus). Боярышник (Crataegus) держит декоративность круглый год, но по-разному: весной это цветение, летом – плотная темно-зеленая листва, осенью – ярко-красные плоды, остающиеся на ветвях до морозов, зимой – фактурная кора и рисунок ветвления [24].

Все чаще в декоративные городские посадки включают и ягодные кустарники. Жимолость съедобная (*Lonicera caerulea*), ирга (*Amelanchier*), черноплодная рябина (*Aronia melanocarpa*), шиповник (*Rosa rugosa*) обеспечивают декоративность на протяжении трехчетырех сезонов: цветение весной, яркая листва летом, плодоношение осенью. Исследования О.Е. Ханбабаевой и соавторов показали, что 65 % изученных видов ягодных кустарников относятся к наиболее перспективной группе для городских условий; они характеризуются высокой зимостойкостью и устойчивой декоративностью [27].

Виды рода *Lonicera* составляют один из наиболее перспективных родов для сезонных городских композиций. Комплексная оценка 47–49 видов жимолости на коллекциях ГБС РАН выявила, что около 34 % видов получили высокий балл декоративности в период плодоношения; особую ценность представляют виды с долго сохраняющимися яркими плодами – жимолость татарская (*L. tatarica*), жимолость Маака (*L. maackii*). При правильном подборе видов жимолостей возможно обеспечить последовательную смену декоративных состояний с мая по февраль включительно [3].

Семейство Rosaceae в целом представляет богатейший ресурс для сезонных городских композиций. Особо перспективны декоративные яблони (*Malus* spp.): весеннее цветение с крупными белыми или розовыми цветками, привлекательная крона разнообразных форм, и, что принципиально важно, мелкие плоды, долго сохраняющиеся на ветвях и обеспечивающие декоративный эффект с сентября по январь-февраль [22]. И.М. Гаранович выявил около 200 видов из 60 родов и 40 семейств, пригодных для расширения ассортимента городских насаждений за счет декоративных плодов [6]. При этом растения с

декоративными плодами не только улучшают эстетику парков и садов, но и служат кормовой базой для птиц, что повышает их экологическую ценность в городской среде.

Недостаточность видового разнообразия в реальных городских посадках подтверждается исследованиями парковых пространств. Так, Л.И. Аткина и соавторы, анализируя территории вузов Екатеринбурга, зафиксировали типичные ошибки в подборе ассортимента, ведущие к значительным провалам декоративности в зимне-весенний период [4]. Это наблюдение характерно для большинства категорий городских озелененных территорий и подтверждает необходимость системного подхода к проектированию сезонных ансамблей [9; 11; 12; 17; 20].

Хвойные породы занимают особое место в системе сезонных городских композиций, обеспечивая круглогодичный декоративный каркас. В зимнее время на фоне безлиственных листопадных пород ель, туя, можжевельник и сосна формируют плотный визуальный объем, недостижимый никакими другими средствами. По наблюдениям в Оренбуржье, туя (Thuja), можжевельник (Juniperus), ель (Picea) и лиственница (Larix) обнаруживают заметную пластичность и приживаются в городских условиях: зимние повреждения у них невелики и на декоративности почти не сказываются [15]. В сезонной композиции хвойным логично отводить роль структурной основы, вокруг которой и выстраивается вся схема смены состояний листопадных пород.

Расширять ассортимент городских посадок можно двумя путями – вводя новые виды и осваивая декоративные сорта уже привычных культур. К.Г. Ткаченко отмечает, что на северо-западе России из-за потепления натурализуются виды, прежде считавшиеся здесь нежизнестойкими; потенциальный ассортимент за счет этого заметно расширяется [23]. Дальше многое зависит от питомников, государственных и частных: именно они делают посадочный материал перспективных сортов доступным. Ботанические сады располагают результатами многолетних испытаний и могут служить надежным источником сведений о декоративных и экологических свойствах таких растений [14].

Заключение

Проектировать растительный объект с опорой на цветовую динамику – значит рассматривать декоративный потенциал каждой породы во все четыре сезона и собирать ассортимент так, чтобы декоративные доминанты сменяли друг друга. На это работают непрерывность декоративного эффекта, ярусная организация пространства, продуманная колористика каждого сезонного состояния и фенологическая совместимость видов. Декоративно-фенологический спектр по-прежнему остается рабочим инструментом: он позволяет заметить и закрыть «провалы» декоративности еще при подборе пород.

Насаждения, привлекательные круглый год, горожане используют активнее, и психологический климат такой среды благоприятнее. Ассортимент для подобных объектов собирают из видов с несовпадающими пиками декоративности, проверенных в данной климатической зоне и устойчивых к городским нагрузкам; хвойные породы входят в него обязательно – как круглогодичная структурная основа. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой региональных декоративно-фенологических спектров и формированием баз данных по декоративности интродуцированных видов в условиях меняющегося климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, Д. С. Декоративные качества видов рода Lonicera L. в зимний период в средней полосе России / Д. С. Александров, В. Н. Сорокопудов, Н. А. Трусов // Современное садоводство. – 2022. – № 1. – С. 27–36.

2. Александров, Д. С. Декоративные качества видов рода Lonicera L. в период плодоношения в Нечерноземье / Д. С. Александров, В. Н. Сорокопудов, Н. А. Трусов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 9. – С. 76–87.

3. Александров, Д. С. Оценка декоративных качеств различных видов жимолости в средней полосе России / Д. С. Александров, В. Н. Сорокопудов, Н. А. Трусов // Современное садоводство. – 2022. – № 1. – С. 11–26.

4. Аткина, Л. И. Особенности парковых зон университетов города Екатеринбурга / Л. И. Аткина, Н. А. Ефимова, У. А. Сафронова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. – 2022. – № 3 (68). – С. 75–82.

5. Воронина, В. П. Ландшафтный подход в озеленении зон активного отдыха в городских парках / В. П. Воронина, Н. В. Курапина, О. Н. Медведицкова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 6 (78). – С. 47–64.

6. Гаранович, И. М. Древесно-кустарниковые растения с декоративными плодами для озеленения / И. М. Гаранович // Ботанические сады в современном мире. – 2023. – № 3. – С. 55–57.

7. Гюльмамедова, Ш. А. Оформление композиций в парках и садах Апшерона / Ш. А. Гюльмамедова // Ботанические сады в современном мире. – 2024. – № 5. – С. 41–45.

8. Демидова, Н. А. Коллекция красивоцветущих кустарников дендрологического сада им. В.Н. Нилова «СевНИИЛХ» / Н. А. Демидова, Т. М. Дуркина, Л. Г. Гоголева // Лесохозяйственная информация. – 2021. – № 1. – С. 56–72.

9. Зализняк, Е. А. Актуальность разработки методики оценки экологического состояния зеленых насаждений г. Волгограда / Е. А. Зализняк, Е. А. Иванцова // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 14–21. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.3.2

10. Залывская, О. С. Оценка декоративности насаждений / О. С. Залывская, Н. А. Бабич // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2020. – № 6 (378). – С. 98–110.

11. Иванцова, Е. А. Исторические аспекты изучения функционирования зеленых насаждений в условиях урбанизированной среды / Е. А. Иванцова, Р. В. Овсянкин // Научно-производственное обеспечение социально-экономической и экологической деятельности в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Вестник РАСХН, 2014. – С. 199–203.

12. Иванцова, Е. А. Экологическая оценка городских агломераций на основе индикаторов устойчивого развития / Е.А. Иванцова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 143–156. – DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13

13. Иванцова, Е. А. Экологическая оценка и оптимизация состояния зеленых насаждений г. Волгограда / Е. А. Иванцова, К. В. Миронова // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году экологии в России. – с. Соленое Займище, 2017. – С. 124–129.

14. Калугин, Ю. Г. Некоторые аспекты использования древесных растений в городском ландшафте / Ю.Г. Калугин // Ботанические сады в современном мире. – 2023. – № 3. – С. 85–88.

15. Кухлевская, Ю. Ф. Определение степени адаптивной способности, декоративности и успешности интродукции некоторых хвойных деревьев и кустарников в условиях Оренбуржья (на примере города Оренбурга) / Ю. Ф. Кухлевская, А. И. Колтунова, Е. В. Пикалова // Экосистемы. – 2020. – № 24 (52). – С. 108–116.

16. Овсянкин, Р. В. Воздействие антропогенной нагрузки на насаждения в функциональных зонах урбанизированной среды г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 350–356.

17. Овсянкин, Р. В. Компьютерное картографирование сохранности зеленых насаждений в городских ландшафтах / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2 (42). – С. 134–140.

18. Овсянкин, Р. В. Состояние древесных насаждений южной промзоны г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 544–547.

19. Овсянкин, Р. В. Состояние зеленых насаждений в промышленной зоне г. Волгограда / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2 (42). – С. 119–127.

20. Половинкина, Ю. С. Экологические аспекты оптимизации городской среды (на примере г. Волгограда) / Ю. С. Половинкина, Е. А. Иванцова // Антропогенная трансформация геопространства: история и современность : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград : ВолГУ, 2014. – С. 134–138.

21. Тихонова, А. А. Оценка жизненного состояния древесной растительности санитарно-защитной зоны АО «ФНЦП “Титан-Баррикады”» в Волгограде / А. А. Тихонова, Е. А. Иванцова // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – № 3. – С. 22–27.

22. Ткаченко, К. Г. Красивоцветущие древесные растения для городского озеленения / К. Г. Ткаченко // Hortus Botanicus. – 2023. – С. 330–372.

23. Ткаченко, К. Г. Перспективный ассортимент декоративных растений для современного городского озеленения / К. Г. Ткаченко // Ботанические сады в современном мире. – 2024. – № 6. – С. 131–135.

24. Ткаченко, К. Г. Перспективы внедрения в городское озеленение красивоцветущих древесных видов семейства Rosaceae / К. Г. Ткаченко // Ботанические сады в современном мире. – 2023. – № 3. – С. 199–203.

25. Трушева, Н. А. Политомический ключ для подбора растений по декоративным, фенологическим, фенотипическим признакам при озеленении городов Юга России / Н. А. Трушева, О. Н. Резчикова // Новые технологии. – 2023. – № 4. – С. 212–228.

26. Экологическое обоснование отбора декоративных многолетников для городского озеленения / Р. А. Карписонова [и др.] // Hortus Botanicus. – 2017. – Т. 12. – С. 356–361.

27. Ягодные кустарники в ландшафтной архитектуре городских мегаполисов / О. Е. Ханбабаева [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6 (159). – С. 105–115.

28. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using GIS-Technologies / E. A. Ivantsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problem and Solutions. – 2019. – P. 012036.

29. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction / N.B. Onistratenko [et al.] // Ekologia (Bratislava). – 2016. – Vol. 35, no. 3. – P. 205–212.

REFERENCES

1. Aleksandrov D.S., Sorokopudov V.N., Trusov N.A. Dekorativnye kachestva vidov roda Lonicera L. v zimniy period v sredney polose Rossii [Ornamental Qualities of Lonicera L. Species in the Winter Period in Central Russia]. *Sovremennoe sadovodstvo* [Contemporary Horticulture], 2022, no. 1, pp. 27-36.

2. Aleksandrov D.S., Sorokopudov V.N., Trusov N.A. Dekorativnye kachestva vidov roda Lonicera L. v period plodonosheniya v Nechernozeme [Ornamental Qualities of Lonicera L. Species During the Fruiting Period in the Non-Black Earth Region]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2022, no. 9, pp. 76-87.

3. Aleksandrov D.S., Sorokopudov V.N., Trusov N.A. Otsenka dekorativnykh kachestv razlichnykh vidov zhimolosti v sredney polose Rossii [Ornamental Qualities Assessment of Various Honeysuckle Species in Central Russia]. *Sovremennoe sadovodstvo* [Contemporary Horticulture], 2022, no. 1, pp. 11-26.

4. Atkina L.I., Efimova N.A., Safronova U.A. Osobennosti parkovykh zon universitetov goroda Ekaterinburga [Peculiarities of the Park Zones of the Universities of Yekaterinburg]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii imeni V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy Named After V.R. Filippov], 2022, no. 3 (68), pp. 75-82.

5. Voronina V.P., Kurapina N.V., Medveditskova O.N. Landshaftnyj podkhod v ozelenenii zon aktivnogo otdykha v gorodskikh parkakh [Landscape Approach to Greening Active Recreation Zones in Urban Parks]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], 2024, no. 6 (78), pp. 47-64.

6. Garanovich I.M. Drevesno-kustarnikovye rasteniya s dekorativnymi plodami dlya ozeleneniya [Woody and Shrub Plants with Ornamental Fruits for Landscaping]. *Botanicheskie sady v sovremennom mire* [Botanical Gardens in the Modern World], 2023, no. 3, pp. 55-57.

7. Gyulmamedova Sh.A. Oformlenie kompozitsiy v parkakh i sadakh Apsherona [Composition Design in the Parks and Gardens of Absheron]. *Botanicheskie sady v sovremennom mire* [Botanical Gardens in the Modern World], 2024, no. 5, pp. 41-45.

8. Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G. Kollektsiya krasivotsvetushchikh kustarnikov dendrologicheskogo sada im. V. N. Nilova «SevNIILKh» [Collection of Flowering Ornamental Shrubs of the V.N. Nilov Dendrological Garden]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2021, no. 1, pp. 56-72.

9. Zaliznyak E.A., Ivantsova E.A. Aktualnost razrabotki metodiki otsenki ekologicheskogo sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy g. Volgograda [The Relevance of the Developing of a Methodology for Assessing the Ecological State of Green Spaces in Volgograd]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 3, pp. 14-21. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.3.2

10. Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Otsenka dekorativnosti nasazhdeniy [Assessment of Ornamental Value of Plantings]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forestry Journal], 2020, no. 6 (378), pp. 98-110.

11. Ivantsova E.A., Ovsyankin R.V. Istoricheskiye aspekty izucheniya funktsionirovaniya zelenykh nasazhdeniy v usloviyakh urbanizirovannoy sredy [Historical Aspects of Studying the Functioning of Green Spaces in Urban

Environments]. *Nauchno-proizvodstvennoye obespecheniye sotsialno-ekonomicheskoy i ekologicheskoy deyatelnosti v APK : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Scientific and Industrial Support for Socio-Economic and Environmental Activities in the Agro-Industrial Complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Moscow, Vestnik RASKhN, 2014, pp. 199-203.

12. Ivantsova E.A., Postnova M.V., Sagalaev V.A., Matveeva A.A., Holodenko A.V. Ekologicheskaya otsenka gorodskikh aglomeratsiy na osnove indikatorov ustoychivogo razvitiya [The Environmental Assessment of Urban Agglomerations on the Basis of Sustainable Development Indicators]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2019, vol. 21, no. 2, pp. 143-156. DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2019.2.13

13. Ivantsova E.A., Mironova K.V. Ekologicheskaya otsenka i optimizatsiya sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy g. Volgograda [Environmental Assessment and Optimization of Volgograd's Green Spaces]. *Nauchno-prakticheskiye puti povysheniya ekologicheskoy ustoychivosti i sotsialno-ekonomicheskoye obespecheniye selskokhozyaystvennogo proizvodstva: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. godu ekologii v Rossii* [Scientific and Practical Ways to Improve Environmental Sustainability and Socioeconomic Support for Agricultural Production. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Year of Ecology in Russia]. Solyonoye Zaymishche, 2017, pp. 124-129.

14. Kalugin Yu.G. Nekotorye aspekty ispolzovaniya drevesnykh rasteniy v gorodskom landshafte [Some Aspects of Using Woody Plants in the Urban Landscape]. *Botanicheskie sady v sovremennom mire* [Botanical Gardens in the Modern World], 2023, no. 3, pp. 85-88.

15. Kukhlevskaya Yu.F., Koltunova A.I., Pikalova E.V. Opredelenie stepeni adaptivnoy sposobnosti, dekorativnosti i uspeshnosti introduktsii nekotorykh khvoynykh derevyev i kustarnikov v usloviyakh Orenburzhya (na primere goroda Orenburga) [Determination of the Degree of Adaptive capacity, Ornamental Value and Introduction Success of Some Coniferous Trees and Shrubs in the Orenburg Region (The Case of Orenburg City)]. *Ekosistemy* [Ecosystems], 2020, no. 24 (52), pp. 108-116.

16. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Vozdeystviye antropogennoy nagruzki na nasazhdeniya v funktsionalnykh zonakh urbanizirovannoy sredy g. Volgograda [The Impact of Anthropogenic Load on Plantings in the Functional Zones of the Urbanized Environment of Volgograd]. *Ekologicheskaya bezopasnost i okhrana okruzhayushchey sredy v regionakh Rossii: teoriya i praktika: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Environmental Safety and Environmental Protection in the Regions of Russia: Theory and Practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 350-356.

17. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Kompyuternoye kartografirovaniye sokhrannosti zelenykh nasazhdeniy v gorodskikh landshaftakh [Computer Mapping of the Preservation of Green Spaces in Urban Landscapes]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2016, no. 2 (42), pp. 134-140.

18. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Sostoyaniye drevesnykh nasazhdeniy yuzhnoy promzony g. Volgograda [The State of Tree Plantations in the Southern Industrial Zone of Volgograd]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions], 2014, vol. 10, no. 2, pp. 544-547.

19. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Sostoyaniye zelenykh nasazhdeniy v promyshlennoy zone g. Volgograda [The State of Green Spaces in the Industrial Zone of Volgograd]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2016, no. 2 (42), pp. 119-127.

20. Polovinkina U.S., Ivantsova E.A. Ekologicheskiye aspekty optimizatsii gorodskoy sredy (na primere g. Volgograda) [Environmental Aspects of Urban Environment Optimization (Based on the Example of Volgograd)]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: istoriya i sovremennost: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Anthropogenic Transformation of Geospace: History and Modernity. Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, VolGU, 2014, pp. 134-138.

21. Tihonova A.A., Ivantsova E.A. Otsenka zhiznennogo sostoyaniya drevesnoy rastitelnosti sanitarno-zashchitnoy zony AO «FNTSP "Titan-Barrikady"» v Volgograde [Assessment of the Living Condition of Woody Vegetation of the Sanitary Protection Zone of FNPC "Titan-Barricades" in Volgograd]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories], 2020, no. 3, pp. 22-27.

22. Tkachenko K.G. Krasivotsvetushchie drevesnye rasteniya dlya gorodskogo ozeleneniya [Flowering Woody Plants for Urban Landscaping]. *Hortus Botanicus*, 2023, pp. 330-372.

23. Tkachenko K.G. Perspektivnyj assortiment dekorativnykh rasteniy dlya sovremennogo gorodskogo ozeleneniya [Prospective Assortment of Ornamental Plants for Modern Urban Landscaping]. *Botanicheskie sady v sovremennom mire* [Botanical Gardens in the Modern World], 2024, no. 6, pp. 131-135.

24. Tkachenko K.G. Perspektivy vnedreniya v gorodskoe ozelenenie krasivotsvetushchikh drevesnykh vidov semeystva Rosaceae [Prospects for Introducing Flowering Woody Species of the Rosaceae Family into Urban Landscaping]. *Botanicheskie sady v sovremennom mire* [Botanical Gardens in the Modern World], 2023, no. 3, pp. 199-203.

25. Trusheva N.A., Rezchikova O.N. Politomicheskiy klyuch dlya podbora rasteniy po dekorativnym, fenologicheskim, fenotipicheskim priznakam pri ozelenenii gorodov Yuga Rossii [A Polytomous Key for Plant Selection by Ornamental, Phenological and Phenotypic Characteristics in Landscaping of Cities of Southern Russia]. *Novye tekhnologii* [New Technologies], 2023, no. 4, pp. 212-228.

26. Karpisonova R.A., Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva Yu.A. Ekologicheskoe obosnovanie otbora dekorativnykh mnogoletnikov dlya gorodskogo ozeleneniya [Ecological Substantiation of the Selection of Ornamental Perennials for Urban Landscaping]. *Hortus Botanicus*, 2017, vol. 12, pp. 356-361.

27. Khanbabaeva O.E., Berezkina I.V., Sorokopudov V.N., Sorokopudova O.A. Yagodnye kustarniki v landshaftnoy arkhitekture gorodskikh megapolisov [Berry Shrubs in the Landscape Architecture of Urban Megacities]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU], 2020, no. 6, pp. 105-115.

28. Ivantsova E.A., Matveeva A.A., Onistratenko N.V., Ovsyankin R.V. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using GIS-Technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problem and Solutions*, 2019, p. 012036

29. Onistratenko N.B., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnicov D.A. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction. *Ekologia (Bratislava)*, 2016, vol. 35, no. 3, pp. 205-212.

Information About the Authors

Ekaterina A. Chernova, Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, LDb-241_225351@volsu.ru

Olga V. Zorkina, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, ov.zorkina@volsu.ru

Информация об авторах

Екатерина Андреевна Чернова, студент, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, LDb241_225351@volsu.ru

Ольга Владимировна Зорькина, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, ov.zorkina@volsu.ru

www.volsu.ru

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.3

UDC 502.51:551.46
LBC 26.221.8

THE ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF GENERAL AND SPECIAL METHODS IN FIELD RESEARCH OF MARINE ECOSYSTEMS ON THE BLACK SEA COASTAL REEFS

Nikolay V. Onistratenko
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Olga V. Permyakova
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Anna P. Safonova
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. Moving into the depths of the ocean is one of the most exciting and promising problems of our time. In terms of scientific and practical significance, it is not only not inferior to the task of mastering space but also, in many respects, surpasses it. Total backlog of ocean science in the past and occurrence today. At the current stage of development of many sciences and related practical areas, the need for underwater research data is indisputable. The article presents a study of the variety of methods of underwater environmental monitoring, taking into account the geological, climatic, and hydrological features of the planned scientific search area – the Maly Utrish lagoon, located within the Utrish State Nature Reserve. In the course of the analysis of the presented methods, we substantiated and described in detail a set of methods for environmental research using light-water equipment – a scuba + compensator vest, a wetsuit, masks and fins, as well as research equipment and tools.

Key words: aqual ecosystem, reef, Maly Utrish, scuba, scuba diver – researcher, research methods.

Citation. Onistratenko N.V., Permyakova O.V., Safonova A.P. The Analysis of the Applicability of General and Special Methods in Field Research of Marine Ecosystems on the Black Sea Coastal Reefs. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2026, vol. 16, no. 4, pp. 31-43. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.3

© Онистратенко Н.В., Пермякова О.В., Сафонова А.П., 2026

УДК 502.51:551.46
ББК 26.221.8

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ОБЩИХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ НА ПРИБРЕЖНЫХ ЧЕРНОМОРСКИХ РИФАХ

Николай Владимирович Онистратенко
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Ольга Владимировна Пермякова
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Александра Петровна Сафонова
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Прорыв в океанские глубины – одна из самых многообещающих задач нашего времени. На современном этапе развития многих наук и смежных практических направлений потребность в данных подводных исследований бесспорна. Статья представляет исследование многообразия методов подводного экологического мониторинга с учетом геологических, климатических и гидрологических особенностей района планируемого научного поиска – Малоутришской лагуны, расположенной в пределах Государственного природного заповедника «Утриш». В ходе анализа представленных методов нами был обоснован и подробно описан комплекс методов экологического исследования с применением легководолазного оборудования – комплекта «акваланг + жилет-компенсатор», гидрокостюма, маски и ласт, а также исследовательской техники и инструментов.

Ключевые слова: аквальная экосистема, риф, Малый Утриш, акваланг, аквалангист-исследователь, методы исследования.

Цитирование. Онистратенко Н. В., Пермякова О. В., Сафонова А. П. Анализ применимости общих и специальных методов полевых исследований морских экосистем на прибрежных черноморских рифах // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 4. – С. 31–43. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.3

Введение

Проникновение в глубины океана – одна из наиболее увлекательных и многообещающих проблем современности. По научному и практическому значению она не только не уступает задаче овладения космосом, но и во многом ее превосходит.

Общее отставание науки об океане в прошлом и возникновение сегодня разнообразных научных и практических проблем обусловили необычайно быстрые темпы развития современной океанографии. Такое стремительное развитие интереса к морям и океанам вызвано не только практическими потребностями. Многие современные науки – такие, как геология, геофизика, палеогеография, геохимия, палеоклиматология, биология, ищут в глубинах океана решение важнейших узловых проблем. Если, например, расшифровать особенности толщи отложений океанского дна, перед нами откроется история Земли. В настоящее время и в нашей стране, и за рубежом начато осуществление проектов бурения через всю толщу донных осадков, в разных частях Мирового океана, для того чтобы восстановить его историю [5].

Экологические вызовы современности вынуждают человечество активно расширять систему мониторинга состояния окружающей среды. Влияние общеклиматических и антропогенных тенденций особенно остро сказывается на эндемичных, специфических сообществах, сообществах, находящихся в состоянии эволюционного становления, а также подверженных масштабному воздействию хозяйственной и индустриальной деятельности человека [6; 8–13; 24–29; 31]. К таким чувстви-

тельным экосистемам относятся разноранговые экосистемы Черного моря.

«Океаны и моря, – писал академик Л.А. Зенкевич, – представляют собой в наиболее ярко выраженной степени целостный природный объект с тесным взаимодействием и взаимообусловленностью всех протекающих в нем процессов» [22].

Вся совокупность населяющих моря и океаны живых организмов образует биологические ресурсы Мирового океана. В результате роста и развития этих организмов происходит новообразование биомассы – биологическое продуцирование, об уровне которого судят по величине продукционных показателей [2; 15–17].

Само существование Черного моря является геоэкологическим условием, формирующим экологический облик Евразии и всей биосферы. Являясь крупным водным объектом, море формирует климат региона, что влияет и на его гидрологию. Общие тектонические процессы формируют донные структуры и рельеф побережья. В прочной взаимосвязи функционируют глубоководные, прибрежные экосистемы и береговые ландшафты. Исторически сложившаяся в регионе хозяйственно-социальная система в свою очередь обусловила обратное воздействие человека на продуктивность и устойчивость морских экосистем.

Анализ их качественных и количественных характеристик, оценка динамики и реакции на антропогенный стресс – важнейшая задача экологического мониторинга глубоководья и прибрежных вод Черного моря. Важной задачей для каждого исследователя выступает выработка методологии мониторинга определенных подводных ландшафтов с учетом их объективных характеристик – глубины, сложения рельефа дна, течений и близости береговой линии, а также субъективных особенностей исследователя – целей и задач исследования, материально-технического обеспечения, стратегии и длительности исследований.

Целью нашего исследования стал выбор комплекса методов экологического мониторинга прибрежных рифов Утришской лагуны, как типичного участка морского шельфа. Для достижения поставленной цели нами были сформулированы практические задачи: проанализировать геологические, гидрологические и климатические характеристики объекта исследования для выбора подходящих инструментов мониторинга; проанализировать и систематизировать многообразие применяемых в мониторинге моря методов и подходов; выбрать методы, применимые в планируемом мониторинге рифовой экосистемы в пределах мелководной лагуны.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленных задач нами были использованы методы развернутого анализа научной и технической литературы. Также производился анализ информации, предоставляемой интернет-источниками – специализированными базами данных и онлайн-картами. Полученные данные подвергались анализу и систематизации.

Система методов исследования зависит от условий предполагаемого объекта. Формат исследований рифовых экосистем Утришской лагуны обусловлен особенностями рельефа, слагающих пород и глубин объекта. Государственный природный Заповедник “Утриш” расположен в Краснодарском крае в границах муниципальных образований – городов Анапа и Новороссийск, в 18 км к юго-востоку от Анапы, между селом Сукко и хутором Дюрсо. С севера его территория ограничена Навагирским хребтом и долиной реки Сукко, на востоке – долиной реки Дюрсо, а на юге и юго-западе – Черноморским побережьем. Площадь заповедника на сегодняшний день составляет 9 910,33 га земельно-лесного фонда и 1 428,43 га морской акватории, включая 2 участка внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации, примыкающие к юго-западному побережью Абрауского полуострова между водотоками Широкая Щель и Водопадная Щель [14].

Район Утриша, выдающийся в море – часть полуострова Абрау, здесь шельф имеет большую протяженность. В области мысов течения обычно более сильные, что способствует вымыванию легких фракций и приводит к заглублению зоны песков на большие глубины, чем в районе вогнутого берега. Ширина шельфа на траверзе Малой Утришской лагуны

южнее м. Малый Утриш составляет более 10 километров. Материковая отмель на объекте представляет собой относительно выровненную поверхность. Бровка шельфа на траверзе м. Малый Утриш в плане представляет собой изгиб, выпуклой стороной обращенный в сторону моря. На протяжении двух международных морских миль глубины литоральной части колеблются в пределах 20–40 м (рис. 1).

Дальнейший свал на глубины до 60–80 м ограничивает использование некоторых методов исследования. В районе м. Малый Утриш донные осадки представлены алевритово-пелитовыми илами. Здесь наблюдается обнажение древних осадков с высокой долей ракуши (преимущественно Dreissena spp., обитавшая в данном районе более 7 тыс. лет назад), а среди современных организмов доминирующую роль играют двустворчатые моллюски Modiolula phaseolina. Расположенные в пределах лагуны подводные рифы являются останцами, их вершинные поверхности представлены тектонически расчлененным рельефом, по ряду морфологических признаков есть основание предполагать, что выступы представляют собой относительно крупные оползневые блоки или, возможно, сбросы [7]. Близость рифов к поверхности делает их экотонными объектами, характеризующимися взрывом биоразнообразия, а также определяют выбор приемлемых методов подводных исследований.

Результаты и обсуждение

Для исследования морских объектов в различных отраслях науки, рыбного промысла, нефтедобычи и транспорта применяется широкий спектр методов, которые условно можно объединить в группы в зависимости от конкретных объектов исследования и изучаемых их свойств и характеристик.

Следует отметить группу общеприменимых методов, таких, как методы визуального наблюдения, метод трансект (разрезов), дистанционные методы (методы космической навигации). Чаще всего для определения границ экосистемы применяется флористический принцип – именно фитоценоз считается той узнаваемой частью биоты, которую можно четко привязать к определенной территории [21]. Подобный подход с учетом особенностей формирования растительного сообще-



Рис. 1. Район исследований рифовых экосистем Утришской лагуны в пределах ФГБУ «Государственный заповедник “Утриш”»

Примечание. Источник: [30].

ства в водной среде применим и для выделения границ исследуемой морской экосистемы. Большая часть узкоспециальных методов могут избирательно объединяться при комплексном подходе.

Химико-аналитические методы основаны на использовании химических реакций. Эффект анализа регистрируется визуально. Для анализа применяются индикаторные реакции, титриметрия, аппаратный метод. Отбор анализируемых образцов осуществляется общепринятыми методами – вручную (в емкости, скребками, ковшами), батометрами, драгами, специализированными робототехническими устройствами.

Методы мониторинга морских экосистем включают большую часть гидробиологических методов:

1. *Планктонные исследования* (методика отбора гидробиологических проб; методы лова планктона с применением орудий лова – планктонных сачков и сетей, батометров, планктонных трубок и др.):

а) *методы исследования зоопланктона* – методика ручного отбора проб зоопланктона; сетяной метод сбора; методы раздельного водозачерпывания и отделения планктона от воды; методы фильтрации и отстаивания батометрической пробы; метод фиксирования пробы; методы качественной обработки проб зоопланктона с целью видового определения и оценки онтогенетической фазы; количественная обработка проб зоопланктона; счетный метод с применением камеры Богорова; метод учета размерно-возрастной структуры сообщества; метод препарирования;

б) *методы исследования фитопланктона* – методики отбора проб фитопланктона (использование планктонных сетей различной конструкции, фильтрование через планктонные сети; батометрический метод (метод фильтрации); метод фиксации (консервирования); методы сгущения проб фитопланктона (осадочные способ; центрифугирования; фильтра-осаждение, центрифугирование фитопланктона); счетный метод (камеры Горяева и Бюркера); метод расчета численности фитопланктона; весовой метод; объемный метод; метод суммирования биомасс популяций отдельных видов; метод определения размеров микроводорослей; метод качественного анализа фитопланктона; методы изготовления постоянных препаратов;

в) *методы исследований фитофильной фауны: методы качественного анализа* (методика сбора и исследования фитофильной фауны: метод фильтрации (сачки и скребки); тралы, крючья, грабельки и др); м*етоды количественного анализа* проводят только при специальных исследованиях.

2. *Бентосные методы:*

а) *методы сборы и обработки бентоса: методика отбора проб бентоса* (технические средства: дночерпатель, сачки, скребки, трал Сигби, сито и др., а также ручная и закидная драга); м*етод качественного анализа* (методика промывки, первичная обработка и хранение материала; метод разбора бентосных проб; метод описания; метод «прокрашивания» зарослей); м*етод количественного анализа* (метод расчета численности и биомассы; скребок; рамка для ручного сбора бентоса);

б) *методы получения акустических изображений рельефа и подводных объектов* используют современные технические средства, основанные на принципах эхолокации – излучения модулированного сигнала световой, звуковой или радиочастотной природы и получения и расшифровки отраженного эха.

3. *Методы исследований перифитона:*

а) *методы качественного анализа (*метод описания и распределения; методика отбора проб; метод проективного покрытия; органолептические методы; микроскопические методы; метод исследования перифитона с помощью искусственных субстратов (предметных стекол и субстратов из коррозионностойких материалов);

б) *Методы количественного анализа* (метод расчета численности перифитона).

4. *Методы подводных исследований*: *и*спользование автономных беспилотных технологий: использование малых аквадронов, донных модулей и стационарных наблюдательных буев с аппаратурой видеонаблюдения и фиксации, роботизированными манипуляторами для отбора проб и выполнения работ; м*етоды кратковременного погружения (КП) (а также в автономном режиме)* (погружение на задержке дыхания; дыхательные аппараты с открытым циклом (OCR) сжатым воздухом и

газовыми смесями для спусков на глубины до 60 м; дыхательные аппараты разных модификаций с замкнутым циклом дыхания (CCR) газовыми смесями для спусков в автономном режиме на глубины приблизительно до 100 м; вентилируемое воздухом шланговое снаряжение (гидрокомбинезон со шлемом) для спусков на глубины до 60 м); м*етоды длительного пребывания (ДП) под повышенным давлением* (судовые и подводные водолазные комплексы – водолазный колокол, открытая водолазная платформа, минисубмарина, батискаф и батисфера, подводная станция).

Создание технических средств подводного пребывания насчитывает многовековую историю – первые подводные колокола были сконструированы еще в античности.

Со второй половины XX в. разработаны и активно используются подводные аппараты, обеспечивающие потребности науки, строительства, добычи полезных ископаемых, транспорта, ремонтно-спасательных операций и армии. К концу XX в. наблюдался некоторый спад в строительстве подводной техники. Количественный уровень явно переходит в качественный. Перед разработчиками подводных обитаемых аппаратов нынешнего столетия стоят задачи поиска высокопрочных и легких материалов, новейших технологий и источников энергии с высокой удельной энергоемкостью. Аппараты будущего теперь оснащены уникальными приборами и инструментами [4]. Современный подводный дрон – не только высокотехнологичный аппарат, но и насыщенный цифровыми решениями объект, способный в условиях многозадачности к высокоскоростной обработке и передаче информации и принятию самостоятельного решения в автономном режиме, в том числе с применением спутниковой связи и элементов искусственного интеллекта.

Ученый-исследователь в изучении аквальных экосистем, расположенных на малых глубинах, может использовать принципы и техники водолазного дела.

Трудно в полной мере оценить влияние на морскую биологию возможности подводных погружений, поскольку нынешние методы исследований имеют очень мало общего с теми, которые применялись до наступления эры подводной деятельности. В сферу исследований теперь входят все направления, связанные с жизнью моря, такие, как водные культуры, рыболовство, сохранение природных ресурсов, загрязнение среды, география животного и растительного мира [18].

В понятие глубоководного водолазного дела обычно включают физические и физиологические основы спусков на большие глубины, многочисленные технические средства для этих спусков и ведения водолазных работ, организацию и методику выполнения спусков и работ, а также медицинское и другие виды обеспечения [1; 3]. Если же необходимо исследовать поведение объекта и выработать методику определения плотности его распределения, то здесь незаменимы обитаемые подводные аппараты, а на малых глубинах – водолазы. Визуальные наблюдения позволяют с наибольшей точностью изучать распределение крупных донных рыб и беспозвоночных, ведущих одиночный образ жизни и не реагирующих на присутствие подводного аппарата или водолаза [22].

Преимущества такого способа работы, предоставляющего возможность наблюдать подобные явления в естественных условиях и проверять лабораторные гипотезы в реальных экологических ситуациях, были оценены морскими биологами-практиками не сразу. К концу 1960-х гг. погружения с целью биологических исследований стали самыми многочисленными из всех подводных погружений, осуществляемых с научными целями, и явились, по существу, тем «мостиком», который связал морскую биологию с другими отраслями этой науки, считавшимися ранее изолированными [18].

Обследование донных экосистем, сформированных на прибрежных мелководьях до 20 м, возможно осуществлять с применением беспилотных аппаратов. Однако данный подход имеет и некоторые отрицательные стороны. Во-первых, он требует использования дорогостоящей техники, долгого периода технической подготовки. Во-вторых, не обеспечивает прямого вовлечения ученого в работу с объектом непосредственно на дне или на склонах подводного рифа. В то же время небольшие глубины, защищенность бухты, мягкий черноморский климат и инфраструктурная доступность позволяют организовать исследовательские погружения с берега или плавсредства с работой ученого-подводника непосредственно на объект исследования.

Организация работы исследовательской группы подразумевает соблюдение требований безопасности и организацию работ согласно строгих профессиональных норм. Для проведения водолазных спусков необходимо выполнить подготовку: организовать место спуска, проверить основное и страхующее снаряжение, средства воздухоснабжения, медицинское имущество и декомпрессионную камеру, а также распределить обязанности между участниками и провести инструктаж. Работы осуществляет водолазная станция – комплект оборудования и команда из как минимум трех человек. В ее состав входят старшина (он же руководитель спуска), спускающийся водолаз, обеспечивающий и страхующий водолаз (рис. 2).

Старшина ставит задачи, проверяет знания обязанностей и отстраняет неподготовленных лиц. Обеспечивающий отвечает за безопасность спускающегося от момента экипировки до ее снятия, поддерживает с ним связь по сигнальному концу, а при использовании буйрепа может следовать на лодке или в базовом снаряжении (ласты, маска, трубка), наблюдая за буем или пузырями воздуха. Страхующий обязан быть готов к немедленному погружению для оказания помощи, непрерывно следить за действиями обеспечивающего и не отвлекаться до выхода спускающегося из воды. В процессе работ водолазы могут меняться ролями [23].

Работа в составе только двух водолазов (спускающийся и страхующий) разрешается лишь в нормальных условиях: на глубине до 12 метров, в светлое время суток, при температуре воздуха выше +15 °С, течении не более 0,5 м/с и волнении до 2 баллов. При этом обязанности обеспечивающего должен выполнять специально обученный и аттестованный специалист. Спуск двух водолазов без подготовленного обеспечивающего допускается исключительно в аварийных ситуациях для спасения людей, при этом помощь могут оказывать любые присутствующие лица под руководством страхующего водолаза.

При учебных спусках и работах на глубинах более 20 м на месте должна находиться готовая к немедленному использованию декомп-

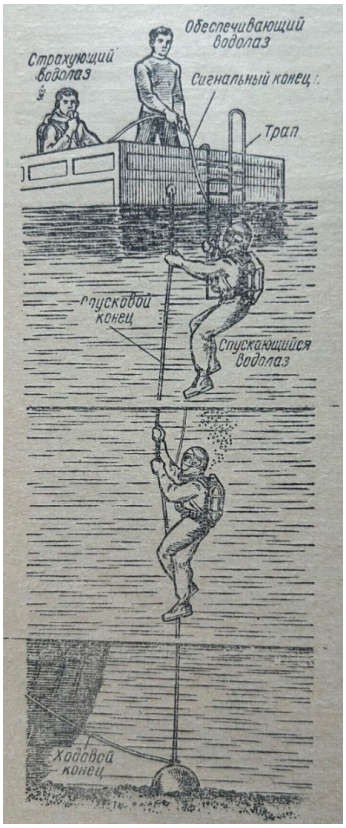

Рис. 2. Схема организации рабочего погружения водолаза-исследователя

Примечание. Источник: [20].

рессионная камера. Если камера отсутствует, руководитель обязан иметь информацию о ближайшей готовой камере и средствах доставки до нее заболевшего водолаза, причем время доставки не должно превышать двух часов [20; 23]. Движение под водой необходимо осуществлять размеренно, медленными махами ласт, при необходимости помогать себе руками в продвижении вдоль дна или по склону.

Обследование участка подводной экосистемы на относительно ровном дне осуществляется в ходе погружений с берега или плавсредства с использованием подводного фотовидеооборудования. Также аквалангист-исследователь может использовать оборудование для отбора проб – совок, нож, скребок, сетку для сбора образцов, батометр и прочее пробоотборное оборудование. Для фиксации данных может использоваться простейшее оборудование – пластиковый планшет с грифельным карандашом. Для оценки расстояний и размеров объектов целесообразно использовать физическое измерительное оборудование, так как оптическая дальномерная техника под водой отличается высокой степенью погрешности, что вызвано различиями в освещенности и прозрачности воды. В качестве измерительного оборудования необходимо использовать размеченный буйреп, размеченную металлическую метровую планку, пластиковый штангенциркуль, мерную рамку, компас (рис. 3).

Для обследования относительно небольших площадей или при плохой видимости под водой применяется метод поиска концентрическими кругами. При этом используется спусковой конец с балластной и ходовой оттяжкой, размеченной узлами через расстояния, определяемые видимостью. Водолаз, спустившись на грунт, последовательно осматривает участки, двигаясь по кругу от одного узла к другому и меняя направление движения на каждом новом витке. При этом дно размечается направляющими концами с буями, которые образуют четко видимую полосу обследования. Водолаз, предпочтительно в плавательном комплекте для повышения скорости, движется по середине этой полосы, осматривая грунт, а сопровождающая шлюпка корректирует свое движение по его сигнальному концу (см. рис. 4). После завершения осмотра одной полосы направляющие концы перемещаются для формирования следующей [19]. Обследование рифа начинают от вершины к основанию для определения его фактической высоты. Далее необходимо произвести осмотр периметра основания, сориентироваться по сторонам света. Обследование склонов рифа осуществляется с соответствующей стороны света на ранее определенной глубине. Оценивается крутизна склона, слагающие породы, степень обрастания и видовой состав прикрепленной флоры и фауны.

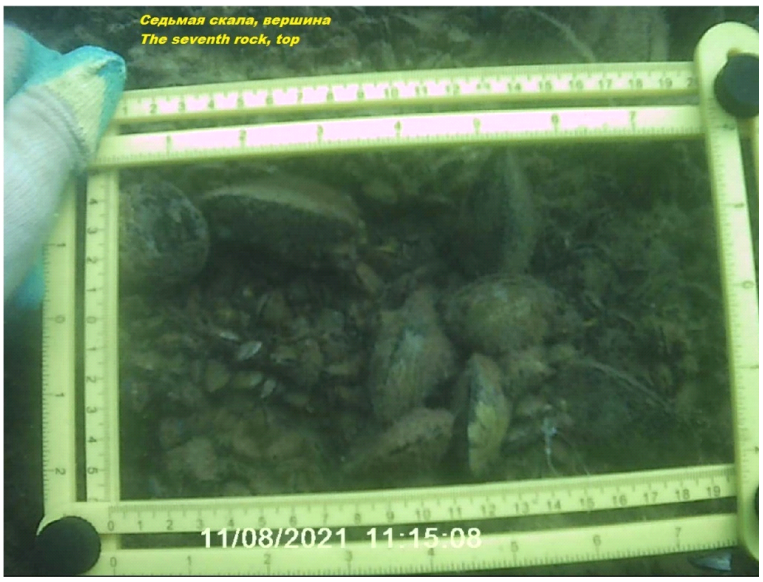

Рис. 3. Пример использования измерительного оборудования для оценки плотности популяции Mytilus galloprovincialis (фото Н.В. Онистратенко)

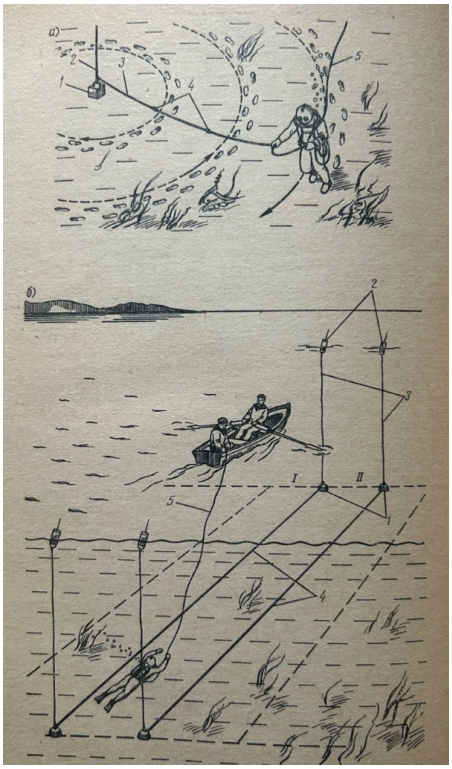

Рис. 4. Способы обследования морского дна с применением водолазного оборудования

Примечание. Источник: [19].

На выбранной площадке определенного размера производится подсчет плотности биоты, предварительное определение видовой принадлежности отмеченных видов, отбор образцов для последующего камерального исследования. Для закладки стационарной исследовательской площади возможно расчистить часть стенки рифа (банки) от обрастаний, закрепить на дне или на склоне веревочные границы площадки, разместить стационарную металлическую мерную рейку (рис. 5), разместить специальный субстрат для опыта по обрастанию.

Полученные данные, записи на планшете и фото-, видеоматериалы анализируются на берегу. Поднятые образцы обследуются на берегу. Результаты исследований заносятся в полевой дневник, фиксированные образцы маркируются и подготавливаются к транспортировке. Промежуточная отчетная документация хранится в береговом лагере.

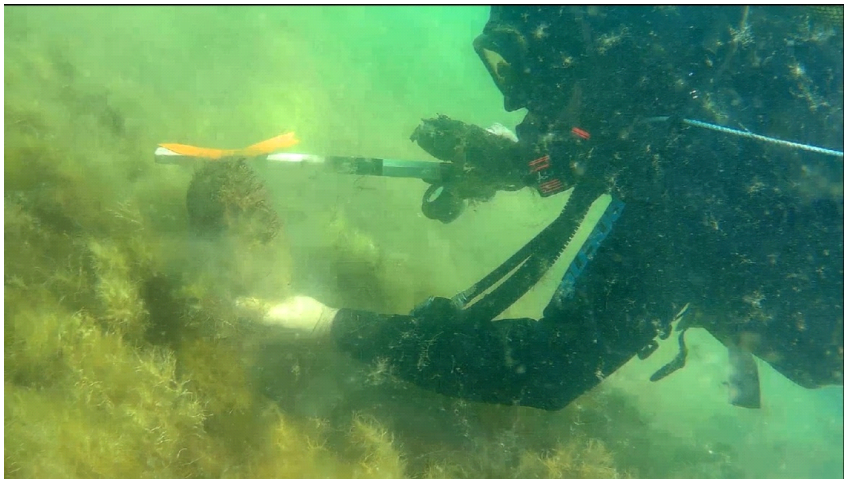

Рис. 5. Использование мерной рейки в ходе обследования рифовой экосистемы (фото Н.В. Онистратенко)

Заключение

В ходе анализа приемлемости основных методов экологического мониторинга аквальных экосистем прибрежных рифов лагуны Малого Утриша нами были рассмотрены общенаучные, аппаратные, химико-аналитические и дистанционные методы исследования. С учетом особенностей рельефа, малых глубин, экономического фактора и материально-технических возможностей нами был признан наиболее оптимальным комплекс методов, включающих работу биолога-дайвера в легководолазном оборудовании – акваланге и компенсаторе с применением высокотехнологичных приборов (сопровождающего аквадрона, подводных видеокамеры, компьютера) и классического оборудования – размеченных буйрепов, рамок, мерных реек, сеток, скребков, планшета и карандаша. Работа на дне должна осуществляться маршрутным методом по коротким трансектам в направлении понижения дна от берега к свалу шельфа, радиальным поиском с использованием размеченного конца, закрепленного на мертвом якоре – в случае поиска конкретного объекта при низкой прозрачности воды, и, наконец, классическим обследованием выбранных и размеченных квадратов дна или склона рифа. Работа биолога-дайвера должна обеспечиваться на поверхности командой технического обеспечения, в составе которой должен обязательно присутствовать дежурный дайвер в легководолазном снаряжении. Именно методическая подкованность, развитые водолазные навыки всей команды исследователей – от аквалангиста-исследователя до группы обеспечения на поверхности – являются необходимым условием безопасного и успешного подводного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков, П. А. Водолазное дело России. Глубоководники. Том IV / П. А. Боровиков. – М. : Нептун, 2025. – 336 с.

2. Блиновская, Я. Ю. Морская экология и прибрежноморское природопользование : учеб. пособие / Я. Ю. Блиновская. – М. : ИНФРАМ, 2024. – 168 с.

3. Вишняков, В. А. Глубоководная водолазная техника / В. А. Вишняков, И. В. Меренов. – Л. : Судостроение, 1982. – 237 с.

4. Войтов, Д. В. Подводные обитаемые аппараты / Д. В. Войтов. – М. : АСТ : Астрель, 2002. – 301 с.

5. Диомидов, М. Н. Покорение глубин / М. Н. Диомидов, А. Н. Дмитриев ; науч. ред. В. А. Павлов. – Л. : Судостроение, 1974. – 323 с.

6. Дистанционные исследования и картографирование состояния антропогенно-трансформированных территорий юга России / В.В. Новочадов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 151–158.

7. Дмитревский, Н. Н. Современное картографирование рельефа морского дна на примере северовосточной части Черного моря / Н. Н. Дмитревский [и др.] // Океанология. – 2022. – Т. 62, № 2. – С. 309–314. – DOI: 10.31857/S0030157422020046

8. Иванцова, Е. А. Методы оценки загрязнения окружающей среды / Е. А. Иванцова, Н. В. Герман, А. А. Тихонова. – Волгоград, 2018. – 86 с.

9. Иванцова, Е. А. Применение комплекта-лаборатории и его модификаций в экологических исследованиях / Е. А. Иванцова, М. М. Кочкарь // Научно-методическое обеспечение развития информатизации и системы научно-технической информации в Республике Беларусь. Безопасные телематические приложения в проектах национального масштаба : докл. IV Междунар. конгресса. – Минск, 2006. – С. 210–213.

10. Иванцова, Е. А. Профессия – эколог / Е. А. Иванцова // Фермер. Поволжье. – 2016. – № 2 (44). – С. 58–59.

11. Иванцова, Е. А. Эколог: профессия настоящего / Е. А. Иванцова // Волгоградский фермер. – 2014. – № 2. – С. 22–24.

12. Иванцова, Е. А. Экология и природопользование / Е. А. Иванцова // Фермер. Поволжье. – 2015. – № 3 (34). – С. 15.

13. Иванцова, Е. А. Экология популяций и сообществ / Е. А. Иванцова. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2017. – 80 с.

14. Информация о заповеднике Утриш // Государственный природный заповедник «Утриш». – URL: https://utrishgpz.ru/about

15. Карабская, А. С. Особенности формирования фитопланктона разнотипных водоемов Нижнего Поволжья / А. С. Карабская, Е. А. Иванцова // Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности региона : материалы IX рег. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 136–138.

16. Карабская, А. С. Особенности формирования фитопланктона различных по происхождению водных экосистем на примере водоемов Волгоградской области / А. С. Карабская, Е. А. Иванцова // Научный альманах. – № 6 (8). – С. 153–156.

17. Карабская, А. С. Состав альгоценозов разнотипных водоемов Волгоградской области / А. С. Карабская, Е. А. Иванцова // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2017. – № 4. – С. 4–8.

18. Кенни, Дж. Е. Техника освоения морских глубин / Дж. Е. Кенни. – М. : Книга по Требованию, 2012. – 312 с.

19. Меренов, И. В. Легководолазное дело / И. В. Меренов. – М. : Транспорт, 1977. – 216 с.

20. Нехорошев, А. С. Меры безопасности при погружении под воду / А. С. Нехорошев. – М. : Изд-во ДОСААФ, 1975. – 62 с.

21. Онистратенко, Н. В. Геоботанический анализ естественных и антропогенно измененных травянистых сообществ Юга России в ходе полевой практики : учеб.-метод. пособие для бакалавров и магистрантов направления подготовки «Экология и природопользование» / Н. В. Онистратенко, Е. А. Иванцова ; Федер. гос. авт. образоват. учреждение высш. образования «Волгогр. гос. ун-т», Ин-т естеств. наук, каф. экологии и природопользования. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2020. – 112 с.

22. Подводная технология / В. А. Коробков [и др.]. – Л. : Судостроение, 1981. – 288 с.

23. Приказ Минтруда России от 17.12.2020 № 922н (ред. от 29.04.2025) «Об утверждении Правил по охране труда при проведении водолазных работ» (зарегистрирован в Минюсте России 29.12.2020, регистрационный № 61927). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372949/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/

24. Проблемы экологических рисков / Е. А. Литвинов [и др.] // Эколого-экономическая оптимизация природопользования : материалы круглого стола. – Волгоград, 2004. – С. 45–48.

25. Техносферная и экологическая безопасность / А. А. Матвеева [и др.]. – Волгоград, 2024. – 84 с.

26. Шершнева, О. А. Биоиндикация в системе методов биологической оценки окружающей среды / О. А. Шершнева, Е. А. Иванцова // Современная биология и биотехнология: проблемы, тенденции, перспективы : сб. докл. и тез. Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2022. – С. 193–198.

27. Экологическая безопасность / А. А. Матвеева [и др.]. – Волгоград, 2016. – 88 с.

28. Экологическая оценка Волгоградского водохранилища по состоянию макрофитов и фитопланктона / В. В. Новиков [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 4. – С. 120–132.

29. Экология и природопользование / А. В. Холоденко [и др.]. – Волгоград, 2017. – 309 с.

30. Яндекс.Карты – Утриш. – URL: https://yandex.ru/maps/?l=sat%2Csk1&ll=37.466621%2C44.703150&utm_source=main_stripe_big&z=15

31. Ясинский, Д. А. Особенности воздействия нефтегазовых объектов на состояние водных биологических ресурсов / Д. А. Ясинский, Е. А. Иванцова // Антропогенная трансформация геопространства: история и современность : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 423–427.

REFERENCES

1. Borovikov P.A. *Vodolaznoe delo Rossii. Glubokovodniki. Tom IV* [Diving in Russia. Deep-Sea Divers. Volume 4]. Moscow, Neptun Publ., 2025. 336 p.

2. Blinovskaya Ya.Yu. *Morskaya ekologiya i pribrezhnomorskoe prirodopolzovanie: ucheb. posobie* [Marine Ecology and Coastal-Marine Nature Management]. Moscow, INFRA-M Publ., 2024. 168 p.

3. Vishnyakov V.A., Merenov I.V. *Glubokovodnaya vodolaznaya tekhnika* [Deep-Sea Diving Equipment]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 237 p.

4. Voytov D.V. *Podvodnye obitaemye apparaty* [Underwater Manned Vehicles]. Moscow, AST, Astrel Publ., 2002. 301 p.

5. Diomidov M.N., Dmitriev A.N. *Pokorenie glubin* [Conquering the Depths]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1974. 323 p.

6. Novochadov V.V., Rulev A.S., Uferev V.G., Ivantsova E.A. Distantsionnyye issledovaniya i kartografirovaniye sostoyaniya antropogenno-transformirovannykh territoriy yuga Rossii [Remote Research and Mapping of the State of Anthropogenically Transformed Territories in Southern Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [News from the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], 2019, no. 1 (53), pp. 151-158.

7. Dmitrevskiy N.N., Ananyev R.A., Kolyuchkina G.A., Simakova U.V., Mokiyevskiy V.O. Sovremennoe kartografirovanie relyefa morskogo dna na primere severo-vostochnoy chasti Chernogo morya [Modern Seabed Relief Mapping: Case Study of the Northeastern Black Sea]. *Okeanologiya* [Oceanology], 2022, vol. 62, no. 2, pp. 309-314. DOI: 10.31857/S0030157422020046

8. Ivantsova E.A., German N.V., Tihonova A.A. *Metody otsenki zagryazneniya okruzhayushchey sredy* [Environmental Pollution Assessment Methods]. Volgograd, 2018. 86 p.

9. Ivantsova E.A., Kochkar M.M. Primeneniye komplekta-laboratorii i yego modifikatsiy v ekologicheskikh issledovaniyakh [Application of the Laboratory Kit and Its Modifications in Environmental Research]. *Nauchno-metodicheskoye obespecheniye razvitiya informatizatsii i sistemy nauchno-tekhnicheskoy informatsii v Respublike Belarus. Bezopasnyye telematicheskiye prilozheniya v proyektakh natsionalnogo masshtaba: dokl. IV Mezhdunar. kongressa* [Scientific and Methodological Support for the Development of Informatization and the System of Scientific and Technical Information in the Republic of Belarus. Safe Telematic Applications in National-Scale Projects: Reports of the 4th International Congress]. Minsk, 2006, pp. 210-213.

10. Ivantsova E.A. Professiya – ekolog [Profession – Ecologist]. *Fermer. Povolzhye* [Farmer. Volga Area], 2016, no. 2 (44), pp. 58-59.

11. Ivantsova E.A. Ekolog: professiya nastoyashchego [Ecologist: Real Profession]. *Volgogradskiy fermer* [Volgograd Farmer], 2014, no. 2, pp. 22-24.

12. Ivantsova E.A. Ekologiya i prirodopolzovanie [Ecology and Nature Management]. *Fermer. Povolzhye* [Farmer. Volga Area], 2015, no. 3 (34), p. 15.

13. Ivantsova E.A. *Ekologiya populyatsiy i soobshchestv* [Ecology of Populations and Communities]. Volgograd, Izd-vo VolGU, 2017. 80 p.

14. Informatsiya o zapovednike Utrish [Information About the Utrish Nature Reserve]. *Gosudarstvennyj prirodnyj zapovednik «Utrish»* [State Nature Reserve "Utrish"]. URL: https://utrishgpz.ru/about

15. Karabskaya A.S., Ivantsova E.A. Osobennosti formirovaniya fitoplanktona raznotipnykh vodoyemov Nizhnego Povolzhya [Features of Phytoplankton Formation in Various Types of Reservoirs in the Lower Volga Region]. *Problemy ustoychivogo razvitiya i ekologo-ekonomicheskoy bezopasnosti regiona: materialy IX reg. nauch.-prakt. konf.* [Problems of Sustainable Development and Environmental and Economic Security in the Region. Proceedings of the 9th Regional Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 136-138.

16. Karabskaya A.S., Ivantsova E.A. Osobennosti formirovaniya fitoplanktona razlichnykh po proiskhozhdeniyu vodnykh ekosistem na primere vodoyemov Volgogradskoy oblasti [Features of the Formation of Phytoplankton in Various Aquatic Ecosystems Based on the Example of Reservoirs in the Volgograd Region]. *Nauchnyy almanakh* [Scientific Almanac], no. 6 (8), pp. 153-156.

17. Karabskaya A.S., Ivantsova E.A. Sostav algotsenozov raznotipnykh vodoyemov Volgogradskoy oblasti [Composition of Algocenoses in Various Types of Water Bodies in the Volgograd Region]. *Vestnik Ninevartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Nizhnevartovsk State University], 2017, no. 4, pp. 4-8.

18. Kenny J.E. *Tekhnika osvoeniya morskikh glubin* [The Technique of Exploring the Ocean Depths]. Moscow, Kniga po Trebovaniyu Publ., 2012. 312 p.

19. Merenov I.V. *Legkovodolaznoe delo* [Light Diving]. Moscow, Transport Publ., 1977. 216 p.

20. Nekhoroshev A.S. *Mery bezopasnosti pri pogruzhenii pod vodu* [Safety Measures or Diving]. Moscow, DOSAAF, 1975. 62 p.

21. Onistratenko N.V., Ivantsova E.A. *Geobotanicheskiy analiz estestvennykh i antropogenno izmenennykh travyanistykh soobshchestv Yuga Rossii v khode polevoy praktiki: ucheb.-metod. posobie dlya bakalavrov i magistrantov napravleniya podgotovki «Ekologiya i prirodoobrazovaniye»* [Geobotanical Analysis of Natural and Anthropogenically Altered Grass Communities in Southern Russia During Field Practice]. Volgograd, Izd-vo VolGU, 2020. 112 p.

22. Korobkov V.A., Levin V.S., Serebrenitskiy P.P., Lukoshkov A.V. *Podvodnaya tekhnologiya* [Underwater Technology]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981. 288 p.

23. *Prikaz Mintruda Rossii ot 17.12.2020 № 922n (red. ot 29.04.2025) «Ob utverzhdenii Pravil po okhrane truda pri provedenii vodolaznykh rabot» (zaregistrirovan v Minyuste Rossii 29.12.2020, registratsionnyy № 61927)* [Order of the Ministry of Labour of the Russian Federation No. 922n Dated 17.12.2020 (As Amended on 29.04.2025) "On Approval of the Occupational Safety Rules for Diving Operations" (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 29.12.2020, No. 61927)]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372949/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/

24. Litvinov E.A., Kirichkova I.V., Kirichkov A.A., Ivantsova E.A. Problemy ekologicheskikh riskov [Environmental Risk Issues]. *Ekologo-ekonomicheskaya optimizatsiya prirodopolzovaniya: materialy kruglogo stola* [Environmental and Economic Optimization of Natural Resource Management: Round Table Proceedings]. Volgograd, 2004, pp. 45-48.

25. Matveeva A.A., Zaliznyak E.A., Menzelinceva N.V., Kholodenko A.V., Ivantsova E.A. *Tekhnosfernaya i ekologicheskaya bezopasnost* [Technosphere and Environmental Safety]. Volgograd, 2024. 84 p.

26. Shershneva O.A., Ivantsova E.A. Bioindikatsiya v sisteme metodov biologicheskoy otsenki okruzhayushchey sredy [Bioindication in the System of Methods for Biological Assessment of the Environment]. *Sovremennaya biologiya i biotekhnologiya: problemy, tendentsii, perspektivy: sb. dokl. i tez. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Modern Biology and Biotechnology: Problems, Trends, and Prospects. Collection of Reports and Abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2022, pp. 193-198.

27. Matveeva A.A., Zaliznyak E.A., Kholodenko A.V., Ivantsova E.A. *Ekologicheskaya bezopasnost* [Environmental safety]. Volgograd, 2016. 88 p.

28. Novikov V.V., Karabskaya A.S., Kochetkova A.I., Ivantsova E.A. Ekologicheskaya otsenka Volgogradskogo vodokhranilishcha po sostoyaniyu makrofitov i fitoplanktona [Environmental Assessment of the Volgograd Reservoir Based on the Condition of Macrophytes and Phytoplankton]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatelnosti* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety], 2014, no. 4, pp. 120-132.

29. Kholodenko A.V., Mayveeva A.A., Ivantsova E.A., Zaliznyak E.A. *Ekologiya i prirodopolzovaniye* [Ecology and Nature Management]. Volgograd, 2017. 309 p.

29. *Yandeks.Karty – Utrish* [Yandex Maps – Utrish]. URL: https://yandex.ru/maps/?l=sat%2Cskl&ll=37.466621%2C44.703150&utm_source=main_stripe_big&z=15

31. Yasinskiy D.A., Ivantsova E.A. Osobennosti vozdeystviya neftegazovykh obyektov na sostoyaniye vodnykh biologicheskikh resursov [Features of the Impact of Oil and Gas Facilities on the State of Aquatic Biological Resources]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: istoriya i sovremennost: materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf* [Anthropogenic Transformation of Geospace: History and Modernity. Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 423-427.

Information About the Authors

Nikolay V. Onistratenko, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, onistratenko@volsu.ru

Olga V. Permyakova, Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, permyakova@volsu.ru

Anna P. Safonova, Student, Department of Ecology and Environmental Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, epb-241_549525@volsu.ru

Информация об авторах

Николай Владимирович Онистратенко, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, onistratenko@volsu.ru

Ольга Владимировна Пермякова, кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, permyakova@volsu.ru

Анна Петровна Сафонова, студент кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, epb-241_549525@volsu.ru

www.volsu.ru

DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.4

UDC 528.8:630*43
LBC 26.88

THE ROLE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN FOREST FIRE MONITORING

Danil A. Ustinov

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. Forest fires are one of the most serious environmental and economic threats, the frequency and intensity of which are steadily increasing due to climate change and increasing anthropogenic pressure. This paper examines the role of geographic information systems (GIS) as a key tool for monitoring, forecasting, and decision support in forest fire suppression. The main sources of spatial data are analyzed, including satellite remote sensing, unmanned aerial vehicles, terrestrial sensor networks, and digital elevation models. Methods for integrating heterogeneous data into a single GIS environment are described, along with fire spread models and decision support systems for optimal resource allocation. Using the example of the remote monitoring information system of the Federal Forestry Agency, successful experience in GIS application in Russia is demonstrated. The advantages (data integration, spatial analysis, decision support) and limitations (dependence on input data quality, computational complexity, need for personnel training) of using GIS are highlighted. Promising development directions are reviewed: real-time data collection technologies, the integration of artificial intelligence methods for risk analysis and fire source detection, and the creation of digital twins of territories for dynamic modeling of fire spread scenarios. It is concluded that GIS is being transformed from an auxiliary cartographic tool into a central integration platform for all stages of forest fire management – from long-term risk assessment to post-fire analysis and ecosystem restoration.

Key words: geographic information systems (GIS), forest fires, monitoring, remote Earth sensing, fire spread models, geoecology.

Citation. Ustinov D.A. The Role of Geographic Information Systems in Forest Fire Monitoring. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2026, vol. 16, no. 4, pp. 44-52. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.4

УДК 528.8:630*43
ББК 26.88

РОЛЬ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МОНИТОРИНГЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Данил Алексеевич Устинов

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Лесные пожары представляют собой одну из наиболее серьезных экологических и экономических угроз, частота и интенсивность которых неуклонно возрастают в связи с изменением климата и ростом антропогенной нагрузки. В данной работе рассматривается роль геоинформационных систем (ГИС) как ключевого инструмента для мониторинга, прогнозирования и поддержки принятия решений при тушении лесных пожаров. Проанализированы основные источники пространственных данных, включая спутниковое дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты, наземные сенсорные сети и цифровые модели рельефа. Описаны методы интеграции разнородных данных в единую ГИС-среду, а также модели распространения огня и системы поддержки принятия решений для оптимального распределения ресурсов. На примере информационной системы дистанционного мониторинга Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз) продемонстрирован успешный опыт применения ГИС в России. Выделены преимущества (интеграция данных, пространственный анализ, поддержка решений) и ограничения (зависимость от качества исходных данных, вычислительная сложность, необходимость обучения персонала) использования ГИС. Рассмотрены

© Устинов Д.А., 2026

перспективные направления развития: технологии сбора данных в реальном времени, интеграция методов искусственного интеллекта для анализа рисков и обнаружения очагов возгорания, а также создание цифровых двойников территорий для динамического моделирования сценариев распространения огня. Сделан вывод о трансформации ГИС из вспомогательного картографического инструмента в центральную интеграционную платформу для всех этапов управления лесными пожарами – от долгосрочной оценки рисков до изучения последствия пожара и восстановления экосистем.

Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), лесные пожары, мониторинг, дистанционное зондирование Земли, модели распространения огня, геоэкология.

Цитирование. Устинов Д. А. Роль геоинформационных систем в мониторинге лесных пожаров // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 4. – С. 44–52. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.4

Введение

Стихийные бедствия произрастают из совокупности различных факторов, состоящих из комплексных геофизических характеристик и деятельности человека. Один из вариантов возможной чрезвычайной ситуации – это пожары, различающиеся по типу: индустриальные, бытовые и природные. Лесные пожары представляют собой одну из наиболее серьезных экологических и экономических угроз для лесных экосистем России и мира в целом. Каждый год огнем уничтожаются огромное количество гектаров лесных массивов, что наносит колоссальный ущерб биоразнообразию и состоянию лесных экосистем России, что приводит к ухудшению качества воздуха и водных ресурсов, а также создает серьезную угрозу для населенных пунктов и инфраструктуры [4; 6; 10; 17; 20]. В последние десятилетия вследствие изменения климата, повышения частоты засух и роста антропогенной нагрузки на экосистемы – неуклонно выросла частота и интенсивность лесных пожаров, что делает проблему их оперативного обнаружения и тушения особенно актуальной.

Проблема лесных пожаров приобретает особую значимость для Российской Федерации, поскольку Россия обладает крупнейшими в мире лесными массивами, которые выполняют важнейшую планетарную функцию регуляции углеродного баланса и поддержания глобального климата [5]. Традиционные методы обнаружения и мониторинга лесных пожаров, такие как наземное патрулирование и авиационное наблюдение – располагают рядом существенных ограничений: высокая стоимость, ограниченная регулярность обзора местности, невозможность эффективного покрытия труднодоступных территорий, а также высокая степень риска для наблюдателей. В данных условиях возникает острая необходимость в разработке и внедрении продвинутых методов мониторинга, основанных на геоинформационных системах (ГИС).

Основной целью данной статьи является изучение действительной значимости роли геоинформационных систем в следующих аспектах: оценка опасности лесных пожаров, прогнозирование распространения пламени и возникновения возгорания, а также перспективы использования данных систем.

Структура геоинформационных систем. Геоинформационные системы (ГИС) – это системы, направленные на анализ, управление, хранение, изменение и сбор актуальных пространственных данных. ГИС технология включает в себя различные операции над базой данных с целью обработки данных. Основная задача ГИС – это возможность визуализации, анализ и интерпретации информации, чтобы понимать отношения, паттерны и динамику развития.

Любая геоинформационная система состоит из следующих компонентов: базы данных, аппаратного и программного обеспечения, методов и операторов. Базы данных ГИС содержат в себе классы пространственных объектов (наборы геоданных с одинаковым типом геометрии, такие как точки, линии и полигоны), атрибутивные таблицы (данные, привязанные к пространственными объектами, содержащая их характеристики) и растровые наборы данных (геопространственная информация, представленная в виде сетки ячеек, где каждая ячейка хранит определенное значение, такую как высота, температура или цвет). Аппаратное обеспечение представляет из себя компьютеры и сервера, содержащие программное обеспечение, которое уже в свою очередь представлено

приложениями с инструментами для работы с данными. Под методами подразумевают процедуры, шаблоны и техники работы для обработки и анализа пространственной информации и применения ГИС к решению конкретных проблем. Операторы – это профессионалы, способные управлять и анализировать информацию, предоставляя итоговую информацию по результату работы с геоинформационной системой.

Источники и типы пространственных данных для мониторинга лесных пожаров. Эффективность геоинформационных систем при мониторинге и поддержки принятия решений по тушению лесных пожаров напрямую зависит от качества, разнообразия и оперативности поступающих пространственных данных. Современные ГИС интегрируют информацию со спутниковых платформ, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), наземных сенсорных сетей и вспомогательных геопространственных наборов данных [1; 3; 7–9; 12; 13; 15; 18; 21; 23]. Спутниковое дистанционное зондирование остается наиболее распространенным источником данных для обнаружения и мониторинга лесных пожаров благодаря широкому охвату территории и регулярной повторяемости съемки [26].

Данные беспилотных летательных аппаратов. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой наиболее гибкий инструмент для оперативного получения данных высокой детальности. Они предоставляют пространственное разрешение вплоть до сантиметровых значений. БПЛА обладают тепловизорами, позволяющими получить достоверную информацию о периметрах площади, которое подверглось возгоранию и площади активного воспламенения [19].

Наземные сенсорные сети. Если спутниковые системы обеспечивают для наблюдения глобальный обзор на территорию, а беспилотные летательные аппараты обладают гибкостью оперативной съемки, то наземные беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Networks) предоставляют принципиально иной тип данных: непрерывный, локальный и сверхоперативный. Эти сети играют ключевую роль в раннем обнаружении очагов возгораний и в мониторинге микроклиматических параметров в труднодоступных или особо охраняемых лесных массивах. Благодаря технологии беспроводных сенсорных сетей в сочетании с ГИС, можно обнаружить чрезвычайную ситуацию и точно определить расположение ее места возникновения, а также помогает выбирать наиболее эффективный подход к разрешению проблемы со всеми соответствующими пространственными данными. Кроме того, можно быстро определить расстояния от мест пожаров до аварийных дорог и проверить возможности для переброски транспортных средств и людей, а также потенциального воздушного вмешательства [28].

Цифровые модели рельефа и производные данные. Рельеф местности является особенно важным фактором, определяющим локальные особенности распространения лесного пожара. На основе цифровых моделей рельефа рассчитываются производные характеристики: уклоны (крутизна склона в градусах или процентах) и экспозиции (ориентация склона по сторонам света). Так к примеру, на больших высотах, как правило, снижается риск возникновения пожаров из-за повышенной влажности и количества осадков, в то время как на склонах, которые получают больше солнечного света и подвергаются воздействию ветра, риск возникновения возгорания выше. Данная информация в дальнейшем используется в математических моделях для моделирования движения огня, построении его маршрута [24].

Интеграция разнородных данных в ГИС. Основной задачей геоинформационной системы – это интеграция данных из вышеперечисленных источников в единую систему для мониторинга, с возможностью анализировать возможное появление, время, направление пожара, а также занимаемую им пространство. Вначале происходит процесс обнаружения пожара, который совершается в три этапа: загрузка и первичная обработка, анализ вновь обнаруженных пожаров (индексация), вспомогательные вычисления [16]. Однако обнаружение пожара – это лишь первый шаг. Для эффективного управления тушением критически важно предсказать, как будет распространяться огонь в ближайшие часы и сутки. Эту задачу решают физически обоснованные и эмпирические модели распространения лесных пожаров, интегрированные в ГИС-среду.

Модели распространения лесных пожаров и поддержка принятия решений.

Основные модели распространения огня. Из-за сложности пожара как физического процесса, на поведение которого влияет множество факторов, существует обильное количество моделей распространения огня. Их всех можно классифицировать на следующие несколько типов: теоретические, статистические (эмпирические) и полуэмпирические.

Теоретические модели создаются на основе фундаментальных законы тепломассопереноса, горения, газовой динамики и иных химических реакций. Примером данной модели является аэротермохимическая модель лесного пожара, разработанная А.М. Гришиным [1], в которой содержатся десятки различных уравнений, описывающих трехмерные процессы теплообмена и массообмена, химических превращений при горении и других явлений.

Эмпирические модели распространения берут за основу сбор и систематизацию статистических данных за прошлые пожары в определенном секторе, изучая их параметры: скорость ветра, вид растительности, влажность, сезон и иные факторы. Прогноз в таких моделях дается с определенной вероятностью, поскольку необходимо значительная доля схожести текущей ситуации с предыдущими.

Фундаментов для построения полуэмпирических моделей служит набор данных, которые получены при экспериментальных пожарах на участках определенной категории (например, какого-то типа леса). В результате устанавливается зависимость скорости и интенсивности горения от переменных факторов (ветра, уровня засухи и др.) в виде эмпирической формулы, которая и служит моделью. Одной из наиболее влиятельных моделей пожаров является полуэмпирическая модель распространения огня Дика Ротермела [27], опубликованная в 1972 году. Модель базируется на обобщении большого экспериментального материала. В модели учитываются направление и скорость ветра, уклон поверхности, а также свойства и состояние растительных горючих материалов. В основе своей, геоинформационные системы используют комплексные модели, которые объединяют несколько подходов в единую структуру, что позволяет всесторонне оценить ситуацию и рассмотреть сразу несколько возможных вариантов распространение лесного пожара.

Поддержка принятия решений при тушении. После того как пожар обнаружен и построен прогноз его распространения, возникает ключевая оперативная задача: как наиболее эффективно использовать ограниченные ресурсы (люди, техника, вода, самолеты-танкеры) для минимизации ущерба. ГИС предоставляет здесь набор аналитических инструментов, объединяемых понятием «система поддержки принятия решений». Для этого в системе распределяется «вес» между различными решениями, в зависимости от различных факторов, такими как транспортная доступность [25]. После чего, руководитель процесса тушения пожара, может выбрать оптимальное решение на основе приведенного «веса» различных решений. Помимо этого, дополнительная информация на карте в виде транспортных путей, населенных пунктов, пожароопасных и взрывоопасных объектов – позволяет командам пожаротушения построить верную стратегию тушения и обеспечить вовремя эвакуацию гражданского населения.

Практика и перспективы применения ГИС. Примером активно используемой геоинформационной системы для борьбы с лесными пожарами является информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Данная система создавалась, начиная с 1995 г., в рамках различных проектов. По заказу Рослесхоза в 2003 г. были проведены работы по унификации элементов ИСДМ-Рослесхоз, и в конце пожароопасного сезона она была введена в опытную эксплуатацию. В 2004 г. проводилась опытная эксплуатации и доработка элементов системы. В 2005 г. был разработан и утвержден первый регламент работы системы, и она была введена в промышленную эксплуатацию [2; 11]. При этом, несмотря на эксплуатацию систему, все еще продолжается активное развитие данной ГИС, дополняя и расширяя проект. При этом, ИСДМ-Рослесхоз активно привлекает внимания со стороны научного сообщества, с целью поиска новых подходов в решении поставленных задач, вместо разработки новых систем с нуля [14].

Преимущества и ограничения при использовании ГИС. Геоинформационные системы стали неотъемлемой частью монито-

ринга лесных пожаров. ГИС создает возможности для предотвращения катастроф, прогнозирования распространения фронта огня, а также ретроспективного анализа произошедшего пожара, чтобы найти причины и изучить совершенные ошибки. Однако, как и любые другие инструменты, данные системы имеют свои ограничения. Так, правильность работы ГИС строится вокруг качества изначальных данных. Точность анализа напрямую определяется разрешением и частотой обновления данных. Спутники низкого разрешения могут пропускать небольшие очаги (<100 м²), а снимки высокого разрешения (доступны лишь раз в несколько дней и могут быть скрыты облачностью. Также подобные программы требуют своего процесса обучения в пользовании ими, при этом время между получением информации, анализом и предоставлением результата может привести к задержкам в условиях быстро развивающегося пожара.

Перспективы развития ГИС. Дальнейшее развитие геоинформационных систем для мониторинга лесных пожаров определяется несколькими взаимосвязанными направлениями: интеграцией потоков данных в реальном времени, использование искусственного интеллекта для анализирования информации, создание цифровых двойников территорий для моделирования сценариев развития пожаров и поддержки принятия решений.

Технологии данных в реальном времени. Одним из ключевых направлений развития является сокращение задержки между сбором данных и их отображением в ГИС до минут и даже секунд. Это достигается за счет двух групп технологий: спутниковая телеметрия низкой задержки и интеграция с системами телеметрии персонала и техники. Примером спутников, которые способны отображать данные в приближенным к реальному времени является Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) – американские спутники, обеспечивающих прогнозирование погоды, отслеживание штормов и метеорологические исследования. С каждым новым запуском спутники улучшались и модифицировались с целью ускорения и более детального получения информация с орбиты.

Использование искусственного интеллекта для анализа. Интеграция методов искусственного интеллекта (ИИ) с геоинформационными системами представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений в области лесопожарного мониторинга. Количество научных публикаций на стыке ИИ и мониторинга лесных пожаров значительно выросло в последнем десятилетии, причем заметный рост начался после 2016 г. [29], что связано с развитием «глубокого обучения» (совокупности методов обучения, основанных на обучении представлениям) и доступностью дистанционного зондирования высокого разрешения, что соответствует опасениям по поводу растущего воздействия лесных пожаров. Использование ИИ для мониторинга лесных пожаров с использованием ГИС можно рассматривать в контексте следующих категорий: риск и уязвимость к пламени, поведение человека и поддержка принятия решений, растительность и топливо, обнаружение очагов возгорания и мониторинг, а также поведение и распространение огня.

Цифровые двойники. Наиболее комплексным направлением развития ГИС для лесопожарного мониторинга является создание цифровых двойников (цифровая копия физического объекта) территорий – динамических виртуальных копий физической среды, которые непрерывно синхронизируются с реальным миром через потоки данных и позволяют моделировать, прогнозировать и оптимизировать решения по борьбе с стихийными бедствиями. Цифровой двойник для управления лесными пожарами интегрирует данные дистанционного зондирования, метеопрогнозы, наземные сенсоры, данные о рельефе и растительности в единую интерактивную платформу. Более того, использование цифрового двойника в геоинформационных системах предоставит всестороннее понимание пространственного контекста, позволяющее проводить динамические симуляции, прогнозный анализ и мониторинг в режиме реального времени [22].

Таким образом, развитие ГИС для лесопожарного мониторинга движется в направлении создания динамичных систем, способных быстро адаптироваться, прогнозировать и строить стратегию по тушению пожаров еще до момента или во время возникновения. Ключевыми вызовами остаются: обеспечение непрерывности потоков спутниковых данных,

снижение вычислительной сложности моделей для их оперативного применения. Успешное преодоление этих вызовов позволит перейти от реактивного управления пожарами к проактивному, основанному на прогнозном моделировании и автоматизированной поддержке решений.

Заключение

Проведенный в данной статье анализ позволяет сформулировать ряд выводов, касающихся роли геоинформационных систем в борьбе с лесными пожарами – от оценки опасности до прогнозирования распространения пламени и перспектив развития этих технологий. На сегодняшний день ГИС обеспечивает важный анализ пространственных данных, определяющих вероятность возникновения лесного пожара и его интенсивность распространения. ГИС преобразилась из вспомогательного картографического инструмента в центральную интеграционную платформу, связующим звеном между разрозненными данными и управленческими решениями на всех стадиях – от долгосрочной оценки рисков и профилактики до оперативного обнаружения, прогнозирования распространения и координации тушения, а также оценки последствий и восстановления территорий лесных массивов. Вместе с тем технология активно развивается, а перспективы лежат в ускорении актуализации данных, продолжении интеграции искусственного интеллекта в системы, а также создании динамических виртуальных копий физической среды, что позволит существенно снизить ущерб от лесных пожаров и повысить безопасность населения и экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аль-Чаабави, М. Р. А. Геоинформационный анализ состояния сельскохозяйственных земель на юге Ирака / М. Р. А. Аль-Чаабави, Е. А. Иванцова, В. Г. Юферев // Природные системы и ресурсы. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 38–44. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.1.5

2. Гришин, А. М. Общая математическая модель лесных пожаров и ее приложения / А. М. Гришин // Физика горения и взрыва. – 1996. – Т. 32, № 5. – С. 35–54.

3. Дистанционные исследования и картографирование состояния антропогенно-трансформированных территорий юга России / В. В. Новочадов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (3). – С. 151–158.

4. Егорова, Е. В. Причины и экосоциальные последствия ландшафтных пожаров 2010–2012 гг. на территории Российской Федерации / Е. В. Егорова, Е. А. Иванцова / Социально-экономическое формирование и функционирование территорий Северного Прикаспия : сб. тр. конф. – М. : Вестник РАСХН, 2013. – С. 148–151.

5. Иванцова, Е. А. Агроэкологическое значение защитных лесных насаждений в Нижнем Поволжье / Е. А. Иванцова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11, Естественные науки. – 2014. – № 4 (10). – С. 40–47.

6. Иванцова, Е. А. Аридные экосистемы в условиях техногенного прессинга / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов, Н. В. Онистратенко // Академический вестник ELPIT. – 2018. – Т. 3, № 4 (6). – С. 22–28.

7. Иванцова, Е. А. Геоинформационный анализ и оценка современного состояния орошаемых земель территории Сарпинской низменности / Е. А. Иванцова, И. А. Комарова // Известия Нижневолжского агроуниверсистетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 2 (74). – С. 60–67.

8. Иванцова, Е. А. Геоинформационный анализ состояния и агролесомелиоративного обустройства сельскохозяйственных ландшафтов южной части Тигра и Евфрата / Е. А. Иванцова, М. Р. А. Аль-Чаабави. – Волгоград, 2023. – 108 с.

9. Иванцова, Е. А. Использование геоинформационных технологий и космических снимков для анализа агроландшафтов / Е. А. Иванцова, И. А. Комарова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 2 (62). – С. 357–366.

10. Иванцова, Е. А. Основные направления и проблемы обеспечения экологической безопасности региона / Е. А. Иванцова // Научно-производственное обеспечение социально-экономической и экологической деятельности в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Вестник РАСХН, 2014. – С. 25–28.

11. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) / С. А. Барталев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 2, № 5. – С. 419–429.

12. Комарова, И. А. Геоинформационная оценка агроландшафтов на тестовом полигоне «Черные Земли» / И. А. Комарова, Е. А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1. – С. 452–460.

13. Комарова, И. А. Лесомелиоративная оценка агроландшафтов Сарпинской низменности по данным дистанционного зондирования / И. А. Комарова, Е. А. Иванцова // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 9. – С. 7–12.

14. Научное обоснование методики автоматизированного управления силами и средствами пожаротушения / Н. А. Коршунов [и др.] // Лесной вестник. – 2022. – Т. 26, № 3. – С. 75–84.

15. Овсянкин, Р. В. Компьютерное картографирование сохранности зеленых насаждений в городских ландшафтах / Р. В. Овсянкин, Е. А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверсистетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2 (42). – С. 134–140.

16. Павличенко, Е. А. Использование геоинформационных систем при анализе и прогнозе природных чрезвычайных ситуаций на примере мониторинга лесных пожаров / Е. А. Павличенко, В. В. Иванов, С. И. Миськив // Технологии гражданской безопасности. – 2004. – № 4. – С. 46–51.

17. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем / А. П. Гераськина [и др.] // Вопросы лесной науки. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 1–76.

18. Ряснов, В. А. Применение метода дешифрирования космоснимков при оценке состояния лесных ценозов Волго-Ахтубинской поймы / В. А. Ряснов, Е. А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 204–209.

19. Середа, Э. А. Применение беспилотных авиационных систем при тушении лесных пожаров / Э. А. Середа, С. Г. Аксенов // Экономика строительства. – 2023. – № 8. – С. 34–37.

20. Снижение негативного воздействия на агроценозы путем управления примыкающими природно-антропогенными системами / Е. А. Иванцова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2017. – Т. 19, № 4 (41). – С. 138–146.

21. Экобиотехнологии оптимизации аридных фитоценозов юго-востока европейской части России / Е. А. Иванцова [и др.]. – Волгоград, 2019. – 76 с.

22. Digital Twins for Geospatial Decision-Making / Sajith Ranatunga [et al.] // ISPRS TC IV Mid-term Symposium “Spatial Information to Empower the Metaverse”: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Fremantle, 2024. – Vol. X-4-2024. – P. 271–278.

23. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using Gis-Technologies / E. A. Ivantsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions. – 2019. – P. 012036.

24. Ersoy, İ. A Multi-Criteria Forest Fire Danger Assessment System on GIS Using Literature-Based Model and Analytical Hierarchy Process Model for Mediterranean Coast of Manavgat, Türkiye / İ. Ersoy, E. Unsal, O. Gürsoy // Sustainability. – 2025. – Vol. 17, no. 5. – P. 1–27.

25. Multi-Objective Spatial Optimization of Forest Fire Monitoring Networks: An Integrated GIS-MCDM Framework Enhanced by Improved Genetic Algorithms / Lijing Wang [et al.] // PLoS One. – 2025. – Vol. 20. – P. 1–26. – DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0338090

26. Nelson, D. M. Trends and Applications in Wildfire Burned Area Mapping: Remote Sensing Data, Cloud Geoprocessing Platforms, and Emerging Algorithms / D. M. Nelson, Yu. He, G.W.K. Moore // Geomatica. – 2024. – № 76, iss. 1. – P. 1–17.

27. Rothermel, R. C. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels / R. C. Rothermel. – Ogden : USDA, Forest Service Research Paper, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. – 40 p.

28. Salam, M. A. Integration of Wireless Sensor Networks in Geographical Information Systems: A Survey / M. A. Salam, O. M. Soysal, H. Schneider // MSV. – 2010. – P. 307–314.

29. Silva, D. Artificial Intelligence in Wildland–Urban Interface Wildfire Management: A Twophase Review Combining Bibliometric Mapping and Thematic Analysis / D. Silva, T. M. Ferreira, H. Rodrigues // Natural Hazards. – 2026. – № 122. – P. 1–30.

REFERENCES

1. Al-Chaabavi M.R.A., Ivantsova E.A., Uferev V.G. Geoinformatsionnyy analiz sostoyaniya selskokhozyaystvennykh zemel na yuge Iraka [Geoinformation Analysis of the State of Agricultural Land in Southern Iraq]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2022, vol. 12, no. 1, pp. 38-44. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.1.5

2. Grishin A.M. Obshchaya matematicheskaya model lesnykh pozharov i yeye prilozheniya [General Mathematical Model for Forest Fires and Its Applications]. *Fizika goreniia i vzryva* [Physics of Combustion and Explosion], 1996, vol. 32, no. 5, pp. 35-54.

3. Novochadov V.V., Rulev A.S., Uferev V.G., Ivantsova E.A. Distantsionnyye issledovaniya i kartografirovaniye sostoyaniya antropogenno-transformirovannykh territoriy yuga Rossii [Remote Studies and Mapping of the State of Anthropogenic-Transformed Territories of the South of Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2019, no. 1 (3), pp. 151-158.

4. Egorova E.V., Ivantsova E.A. Prichiny i ekosotsialnyye posledstviya landshaftnykh pozharov 2010–2012 gg. na territorii Rossiyskoy Federatsii [The Causes and Ecosocial Consequences of Landscape Fires in the Russian Federation Between 2010 and 2012]. *Sotsialno-ekonomicheskoye formirovaniye i funktsionirovaniye territoriy Severnogo Prikaspiya: sb. tr. konf.* [Socioeconomic Formation and Functioning of the Territories of the Northern Caspian Region. Collection of Conference Papers]. Moscow, Vestnik RASKhN Publ., 2013, pp. 148-151.

5. Ivantsova E.A. Agroekologicheskoye znacheniye zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy v Nizhnem Povolzhye [Agroecological Importance of the Protective Forest Plantings in Lower Volga Region]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarsvennogo universiteta. Seriya 11. Estestvennye nauki* [Science Journal of Volgograd State University. Natural Sciences], 2014, no. 4 (10), pp. 40-47.

6. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Onistratenko N.V. Aridnyye ekosistemy v usloviyakh tekhnogennogo pressinga [Arid Ecosystems Under Technogenic Pressure]. *Akademicheskiy vestnik ELPIT*, 2018, vol. 3, no. 4 (6), pp. 22-28.

7. Ivantsova E.A., Komarova I.A. Geoinformatsionnyy analiz i otsenka sovremennogo sostoyaniya oroshayemykh zemel territorii Sarpinskoy nizmennosti [Geoinformation Analysis and Assessment of the Current State of Irrigated Lands in the Sarpinskaya Lowland]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversistetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2024, no. 2 (74), pp. 60-67.

8. Ivantsova E.A., Al-Chaabavi M.R.A. *Geoinformatsionnyy analiz sostoyaniya i agrolesomelioprativnogo obustroystva selskokhozyaystvennykh landshaftov yuzhnoy chasti Tigra i Yevfrata* [Geoinformation Analysis of the State and Agroforestry Development of Agricultural Landscapes in the Southern Part of the Tigris and Euphrates]. Volgograd, 2023. 108 p.

9. Ivantsova E.A., Komarova I.A. Ispolzovaniye geoinformatsionnykh tekhnologiy i kosmicheskikh snimkov dlya analiza agrolandshaftov [The Use of Geoinformation Technologies and Satellite Images for the Analysis of Agricultural Landscapes]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2021, no. 2 (62), pp. 357-366.

10. Ivantsova E.A. Osnovnyye napravleniya i problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti regiona [Main Directions and Problems of Ensuring Environmental Safety in the Region]. *Nauchno-proizvodstvennoye obespecheniye sotsialno-ekonomicheskoy i ekologicheskoy deyatelnosti v APK : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Scientific and Industrial Support for Socio-Economic and Environmental Activities in the Agro-Industrial Complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Moscow, Vestnik RasKhN, 2014, pp. 25-28.

11. Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotelnikov R.V., Lupian E.A., Shchetinskii V.E. Informatsionnaya sistema distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federalnogo agentstva lesnogo khozyaystva RF (sostoyaniye i perspektivy razvitiya) [The Federal Forestry Agency of the Russian Federation's Remote Forest Fire Monitoring Information System (Current Status and Development Prospects)]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], 2008, vol. 2, no. 5, pp. 419-429.

12. Komarova I.A., Ivantsova E.A. Geoinformatsionnaya otsenka agrolandshaftov na testovom poligone «Chernyye Zemli» [Geoinformation Assessment of Agro-Landscapes at the Chernye Zemli Test Site]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2021, no. 1, pp. 452-460.

13. Komarova I.A., Ivantsova E.A. Lesomelioprativnaya otsenka agrolandshaftov Sarpinskoy nizmennosti po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Forest Reclamation Assessment of Agro-Landscapes in the Sarpinskaya Lowland Based on Remote Sensing Data]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Successes of Modern Natural Science], 2020, no. 9, pp. 7-12.

14. Korshunov N.A., Savchenkov V.A., Perminov A.V., Koniushenkov M.E. Nauchnoye obosnovaniye metodiki avtomatizirovannogo upravleniya silami i sredstvami pozharotusheniya [Scientific Substantiation of the Methodology of Automated Control of Fire Extinguishing Forces and Means]. *Lesnoy vestnik* [Forest Herald], 2022, vol. 26, no. 3, pp. 75-84.

15. Ovsyankin R.V., Ivantsova E.A. Kompyuternoye kartografirovaniye sokhrannosti zelenykh nasazhdeniy v gorodskikh landshaftakh [Computer Mapping of the Preservation of Green Spaces in Urban Landscapes]. *Izvestiya*

Nizhnevolzhskogo agrouniversistetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2016, no. 2 (42), pp. 134-140.

16. Pavlichenko E.A., Ivanov V.V., Miskiv S.I. Ispolzovanie geoinformatsionnykh sistem pri analize i prognoze prirodnykh chrezvychainykh situatsiy na primere monitoringa lesnykh pozharov [The Use of Geographic Information Systems in the Analysis and Forecasting of Natural Emergencies on the Example of Forest Fire Monitoring]. *Tekhnologiy grazhdanskoy bezopasnosti* [Civil Security Technologies], 2004, no. 4, pp. 46-51.

17. Geraskina A.P., Tebenkova D.N., Ershov D.V., Ruchinskaya E.V., Sibirtseva N.V., Lukina N.V. Pozhary kak faktor utraty bioraznoobraziya i funktsiy lesnykh ekosistem [Wildfires as a Factor of the Loss of Biodiversity and Functions of Forest Ecosystems]. *Voprosy lesnoi nauki* [Issues of Forest Science], 2021, vol. 4, no. 2, pp. 1-76.

18. Ryasnov V.A., Ivantsova E.A.Primeneniye metoda deshifrirovaniya kosmosnimkov pri otsenke sostoyaniya lesnykh tsenozov Volgo-Akhtubinskoy poymy [Application of the Space Image Interpretation Method in Assessing the Condition of Forest Coenoses in the Volga-Akhtuba Floodplain]. *Ekologicheskaya bezopasnost i okhrana okruzhayushchey sredy v regionakh Rossii: teoriya i praktika: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Environmental Safety and Environmental Protection in Russian Regions: Theory and Practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 204-209.

19. Sereda E.A., Aksenov S.G. Primenenie bespilotnykh aviatsionnykh sistem pri tushenii lesnykh pozharov [The Use of Unmanned Aerial Vehicles in Extinguishing Forest of Fires]. *Ekonomika stroitelstva* [Economics of Construction], 2023, no. 8, pp. 34-37.

20. Ivantsova E.A. et al. Snizheniye negativnogo vozdeystviya na agrotsenozy putem upravleniya primykayushchimi prirodno-antropogennymi sistemami [Reducing the Negative Impact on Agrocenoses by Managing Adjacent Natural and Anthropogenic Systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Economika. Ecologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2017, vol. 19, no. 4 (41), pp. 138-146.

21. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Rulev A.S., Postnova M.V. *Ekobiotekhnologii optimizatsii aridnykh fitotsenozov yugo-vostoka yevropeyskoy chasti Rossii* [Ecobiotechnology Optimization of Arid Phytocenoses in the South-East of the European Part of Russia]. Volgograd, 2019. 76 p.

22. Sajith Ranatunga et al. Digital Twins for Geospatial Decision-making. *ISPRS TC IV Mid-Term Symposium "Spatial Information to Empower the Metaverse": ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Fremantle, 2024, vol. X-4-2024, pp. 271-278.

23. Ivantsova E.A. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using GIS-Technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions*, 2019, pp. 012036.

24. Ersoy I. A Multi-Criteria Forest Fire Danger Assessment System on GIS Using Literature-Based Model and Analytical Hierarchy Process Model for Mediterranean Coast of Manavgat, Türkiye. *Sustainability*, 2025, vol. 17, no. 5, pp. 1-27.

25. Wang L., Feng J., Mao J., Zhang Y., An J. Multi-Objective Spatial Optimization of Forest Fire Monitoring Networks: An Integrated GIS-MCDM Framework Enhanced by Improved Genetic Algorithms. *PLoS One*, 2025, vol. 20, pp. 1-26. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0338090

26. Nelson D.M., He Yu., Moore G.W.K. Trends and Applications in Wildfire Burned Area Mapping: Remote Sensing Data, Cloud Geoprocessing Platforms, and Emerging Algorithms. *Geomatica*, 2024, no. 76, iss. 1, pp. 1-17.

27. Rothermel R.C. *A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels*. Ogden, USDA, Forest Service Research Paper, Intermountain forest and range experiment Station, 1972. 40 p.

28. Salam M.A., Soysal O.M., Schneider H. Integration of Wireless Sensor Networks in Geographical Information Systems: A Survey. *MSV*, 2010, pp. 307-314.

29. Silva D., Ferreira T.M., Rodrigues H. Artificial Intelligence in Wildland – Urban Interface Wildfire Management: A Twophase Review Combining Bibliometric Mapping and Thematic Analysis. *Natural Hazards*, 2026, no. 122, pp. 1-30.

Information About the Author

Danil A. Ustinov, Postgraduate Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, nzosa-251_445737@volsu.ru

Информация об авторе

Данил Алексеевич Устинов, аспирант, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, nzosa-251_445737@volsu.ru

www.volsu.ru

DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.5

UDC 574.2(470.45)
LBC 28.085.2(2Рос-4Вог)

CREATING A PROJECT FOR ASSESSING AND MONITORING THE NUMBER OF EASTERN STEPPE VIPER (*VIPERA RENARDI*) IN A TYPICAL TERRITORY

Kristina N. Makeeva

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. With the decline and fragmentation of the eastern steppe viper (*Vipera renardi*) population, the need to develop standardized methods for estimating population size and long-term monitoring is increasing. The relevance of this study is due to the conservation status of this species, which is listed in the Red Data Book of the Russian Federation (populations of the Ciscaucasia and Crimean Peninsula) and is subject to mandatory state monitoring in the Volgograd Region. The aim of this study was to develop a project to study the territory for subsequent population size assessment and monitoring of the eastern steppe viper using distance sampling. The area around Old Sarepta in southern Volgograd, considered the original description site of the species, was chosen as the model area. The survey design was developed using Distance 7.5 software employing distance sampling. A systematic rectangular grid with a 50-meter cell size was overlaid over the 21,785,678.68 m² study area. Point samplers with a 20-meter radius were used as sampling units. To assess the uniformity of coverage, 100 simulations of survey point placement were conducted. The design resulted in a coverage probability map and a placement plan for 17 survey points, from which 14 acceptable samplers were selected after automatic adjustment. The obtained results will serve as the basis for further assessment of *Vipera renardi* density, spatial distribution, and abundance.

Key words: Eastern steppe viper, *Vipera renardi*, distance sampling, population monitoring, population assessment, Distance 7.5, Old Sarepta, conservation of rare species.

Citation. Makeeva K.N. Creating a Project for Assessing and Monitoring the Number of Eastern Steppe Viper (*Vipera renardi*) in a Typical Territory. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2026, vol. 16, no. 4, pp. 53-60. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.5

УДК 574.2(470.45)
ББК 28.085.2(2Рос-4Вог)

СОЗДАНИЕ ПРОЕКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ И МОНИТОРИНГА ВОСТОЧНОЙ СТЕПНОЙ ГАДЮКИ (*VIPERA RENARDI*) НА ТИПОВОЙ ТЕРРИТОРИИ

Кристина Николаевна Макеева

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В условиях сокращения численности и фрагментации популяций восточной степной гадюки – *Vipera renardi* возрастает необходимость разработки стандартизированных методов оценки численности и долговременного мониторинга вида. Актуальность исследования обусловлена охранным статусом вида, занесенного в Красную книгу Российской Федерации (популяции Предкавказья и полуострова Крым) и в качестве объекта обязательного государственного мониторинга в Волгоградской области. Целью работы являлось создание проекта исследования территории для последующей оценки численности и мониторинга популяции восточной степной гадюки методом дистанционной выборки. В качестве модельной территории были выбраны окрестности Старой Сарепты в южной части Волгограда, рассматриваемые как территория первоописания вида. Проектирование схемы учета осуществлялось в программе Distance 7.5 с использованием

© Макеева К.Н., 2026

метода дистанционной выборки (Distance Sampling). На исследуемую территорию площадью 21 785 678,68 м² была наложена систематическая прямоугольная сетка с размером ячейки 50 м. В качестве единиц выборки использовались точечные пробоотборники с радиусом охвата 20 м. Для оценки равномерности покрытия территории проведено 100 симуляций размещения точек учета. В результате проектирования была сформирована карта вероятности покрытия и создана схема размещения 17 учетных точек, из которых после автоматической корректировки были отобраны 14 допустимых пробоотборников. Полученные результаты послужат основой для дальнейшей оценки плотности *Vipera renardi*, пространственного распределения и численности вида.

Ключевые слова: восточная степная гадюка, *Vipera renardi*, дистанционная выборка, мониторинг популяций, оценка численности, Distance 7.5, Старая Сарепта, охрана редких видов.

Цитирование. Макеева К. Н. Создание проекта для оценки численности и мониторинга восточной степной гадюки (*Vipera renardi*) на типовой территории // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 4. – С. 53–60. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.5

Введение

Восточная степная гадюка – *Vipera renardi* (Christoph, 1861) является одним из характерных представителей герпетофауны степной зоны Восточной Европы и Западной Азии [2–4]. Вид приурочен к открытым засушливым биотопам и играет важную роль в функционировании степных экосистем, участвуя в регуляции численности мелких позвоночных животных [6]. В последние десятилетия во многих регионах отмечается сокращение численности популяций вида, обусловленное разрушением и фрагментацией местообитаний, антропогенной нагрузкой, распашкой степных территорий и рекреационным воздействием [5; 7]. В связи с этим *V. renardi* включена в Красную книгу Российской Федерации (популяции Предкавказья и полуострова Крым) и в качестве объекта обязательного государственного мониторинга в Волгоградской области как вид, нуждающийся в охране и систематическом мониторинге [13].

Одной из основных проблем изучения данного вида является сложность получения достоверных данных о численности в природных условиях. Скрытный образ жизни, мозаичное распределение популяций и относительно низкая плотность особей существенно затрудняют применение традиционных методов прямого учета [1; 14]. В связи с этим особую актуальность приобретают современные статистические методы оценки численности, позволяющие проводить мониторинг редких видов с высокой степенью репрезентативности.

Одним из наиболее эффективных подходов к решению данной задачи является метод дистанционной выборки (Distance Sampling), широко применяемый в учете биоразнообразия, численности и экологии животных, в том числе рептилий [20]. Использование специализированного программного обеспечения Distance 7.5 позволяет проектировать схемы размещения учетных точек, оценивать вероятность покрытия территории и формировать основу для последующего анализа плотности и численности исследуемого вида [9–12; 15; 16].

Целью данного исследования являлось проектирование системы мониторинга и оценки численности популяции *Vipera renardi* на типовой территории в окрестностях Старой Сарепты методом дистанционной выборки с использованием программного обеспечения Distance 7.5.

Объект и методы исследования

Объектом данного исследования является восточная степная гадюка *Vipera renardi* – вид ядовитых змей семейства гадюковых (Viperidae), распространенный в степной и лесостепной зонах Восточной Европы и Западной Азии [2–4]. Вид приурочен к открытым засушливым биотопам, включая степи, полупустыни, балки, остепненные склоны и участки с разреженной растительностью [8]. В пределах Нижнего Поволжья и сопредельных территорий характеризуется мозаичным распределением популяций, связанным с фрагментацией подходящих местообитаний [4; 5]. **Вид занесен в Красную книгу Российской Федерации** (популяции Предкавказья и полуострова Крым) и в качестве объекта обязательного государственного мониторинга в Волгоградской области как вид, нуждающийся в охране и систематическом мониторинге [13], что опре-

деляет необходимость организации систематического мониторинга популяции и служит обоснованием для разработки проектной схемы оценки численности методом дистанционной выборки в рамках данного исследования.

Для разработки проекта оценки численности восточной степной гадюки использовался метод дистанционной выборки (Distance Sampling) с применением программного обеспечения Distance 7.5 [17–19]. В качестве модельной территории был выбран район Старой Сарепты, расположенный в южной части Волгограда. Выбор данной территории обусловлен ее особым историческим и зоогеографическим значением, поскольку окрестности Сарепты рассматриваются как территория первоописания вида. Именно здесь в XIX в. были получены материалы, на основании которых был описан вид *Vipera renardi* (Christoph, 1861) [5].

На первоначальном этапе в программе Google Earth Pro была определена территория предполагаемого исследования. Присутствие *V. renardi* здесь были подтверждены нами ранее во время рекогнисцировочных работ. Контуры участка формировались в виде полигона, отражающего границы потенциального местообитания вида (рис. 1).

В основу проектирования была положена систематическая сетчатая выборка (Systematic Grid Sampling), обеспечивающая равномерное размещение точек учета по всей исследуемой территории [18; 19]. В качестве единицы выборки использовались точечные пробоотборники (Point sampler). Исследуемая территория была задана в виде единого страта (Study area) площадью 21 785 678,677 м².

Проектирование выполнялось в метрической системе координат с использованием проекции Plate Carree. Для формирования схемы размещения учетных точек на исследуемую территорию накладывалась регулярная прямоугольная сетка с размером ячейки 50 м. Вероятность покрытия территории рассчитывалась имитационным методом (Simulation calculated). В рамках моделирования было выполнено 100 симуляций размещения учетных точек, что позволило оценить равномерность охвата исследуемой площади.

При проектировании использовался режим Minus sampling, предназначенный для корректной обработки приграничных участков исследуемой территории. В качестве параметра охвата задавался радиус пробоотборника 20 м.

Для оценки качества проектируемой схемы использовалась карта вероятности покрытия (Coverage probability map), отражающая вероятность попадания различных участков территории в область учета.

В качестве результата проектирования были сгенерированы координаты учетных точек, предназначенные для последующего использования при проведении натурных обследований территории и оценке численности вида методом дистанционной выборки.

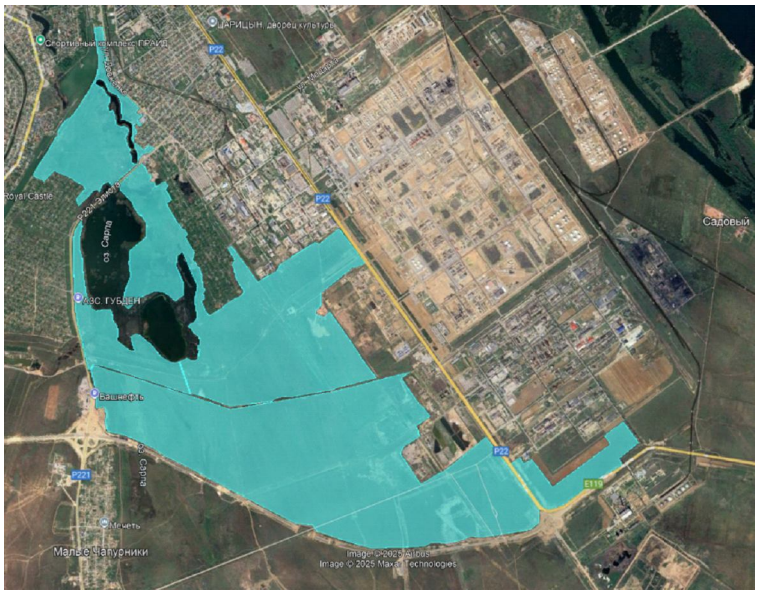

Рис. 1. Расположение полигона на исследуемой территории в программе Google Earth Pro

Результаты и обсуждения

В ходе работы в программе Distance 7.5 были получены картографические материалы, отражающие ключевые этапы планирования и моделирования размещения точек учета в пределах исследуемой территории.

На представленной карте (рис. 2) отображена исследуемая территория, на которую наложена регулярная прямоугольная сетка. Размер ячеек сетки (50 м) был выбран с учетом площади участка и предполагаемой плотности размещения точек учета.

На карте вероятности покрытия (рис. 3) представлены значения вероятности попадания в каждую точку территории в процессе моделируемого проектирования маршрутов. Цветовая шкала отражает распределение вероятностей: более темные участки свидетельствуют о более высокой вероятности охвата, в то время как светлые области имеют меньший шанс быть покрытыми маршрутом.

Анализ данной карты позволяет убедиться в равномерности будущего покрытия территории маршрутами учета и скорректировать параметры проектирования при необходимости.

Карта из вкладки Survey map (рис. 4) отражает конечное распределение 17 учетных точек, сгенерированных в процессе проектирования. Точки размещены в соответствии с выбранной стратегией выборки (систематическая

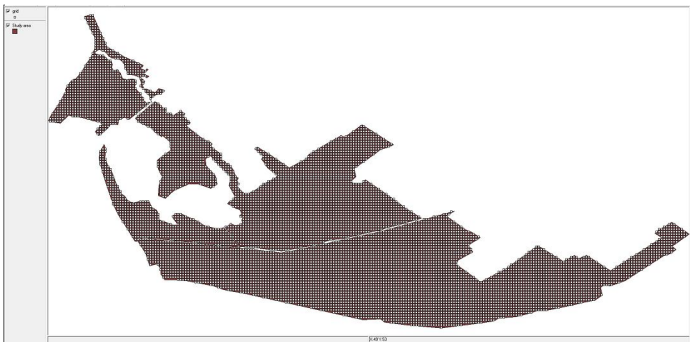

Рис. 2. Карта исследуемой территории с наложенной сеткой

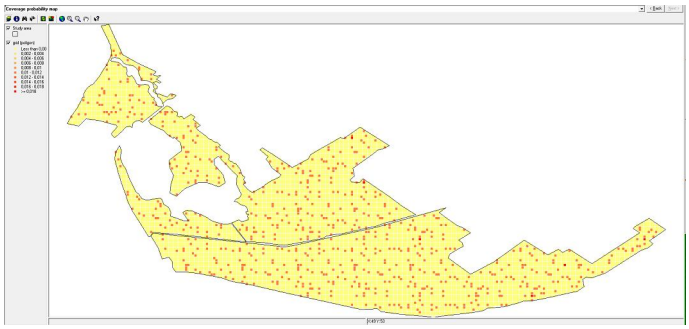

Рис. 3. Карта вероятности покрытия (Coverage probability map)

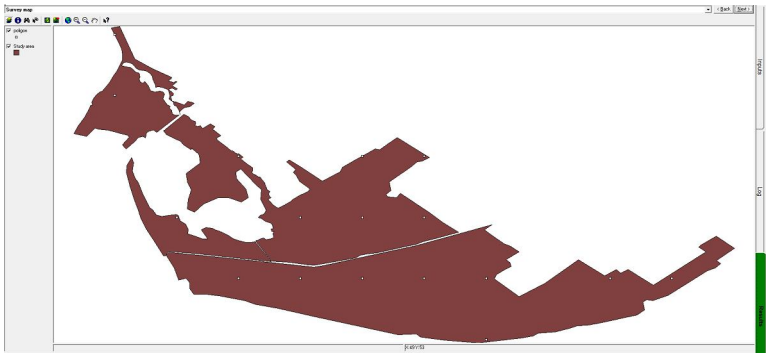

Рис. 4. Карта размещения точек исследования (Survey map)

выборка по сетке) и обеспечивают репрезентативное покрытие исследуемой площади. Точки равномерно распределены по всей территории, без выраженного сгущения или пропусков, что повышает достоверность получаемых данных в рамках последующего моделирования плотности или численности исследуемого вида.

При формировании итогового списка координат часть точек была автоматически исключена из-за расположения в приграничных участках полигона либо частичного выхода за пределы исследуемой территории в соответствии с параметрами отрицательной выборки (Minus sampling). Географические координаты пробоотборных точек, пригодных для последующего практического использования при проведении натурных исследований представлены в таблице.

Заключение

В результате проектирования в программе Distance 7.5 была сформирована систематическая сетчатая выборка точечного типа на основе стратифицированного полигона, представляющего исследуемую территорию.

Анализ карты вероятности покрытия показал относительно равномерное распределение вероятностей охвата исследуемой территории, без избыточной концентрации точек.

В ходе проектирования было сгенерировано 17 потенциальных пробоотборников. После автоматической корректировки расположения точек с учетом параметров отрицательной выборки (Minus sampling) в итоговый список вошли 14 допустимых точек учета, соответствующих установленным параметрам проекта.

Ожидаемый охват площади отбора проб составил 21 362,83 м², тогда как реализованная площадь – 20 866,57 м². Общая площадь исследуемого страта составила 21 785 678,68 м², при этом доля территории, охваченной выборкой, составила 0,001. Шаг между точками по горизонтали и вертикали составил приблизительно 1 199 м.

Полученные координаты пробоотборников могут быть использованы при проведении последующих натурных исследований и мониторинга популяции *Vipera renardi* на территории Старой Сарепты. Разработанный проект обследования соответствует основным требованиям метода дистанционной выборки и может служить основой для последующей оценки плотности и численности вида в природных условиях.

Координаты точек исследования из программы Distance 7.5

Список образцов	Координаты
Пробоотборник 1	N: 44,62236, E: 48,45052
Пробоотборник 2	N: 44,63313, E: 48,45052
Пробоотборник 3	N: 44,57928, E: 48,46129
Пробоотборник 4	N: 44,59005, E: 48,46129
Пробоотборник 5	N: 44,60082, E: 48,46129
Пробоотборник 6	N: 44,61159, E: 48,46129
Пробоотборник 7	N: 44,62236, E: 48,46129
Пробоотборник 8	N: 44,6439, E: 48,46129
Пробоотборник 9	N: 44,59005, E: 48,47206
Пробоотборник 10	N: 44,60082, E: 48,47206
Пробоотборник 11	N: 44,61159, E: 48,47206
Пробоотборник 12	N: 44,57928, E: 48,48283
Пробоотборник 13	N: 44,61159, E: 48,48283
Пробоотборник 14	N: 44,56851, E: 48,4936

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексанов, В. В. Методы инвентаризации и мониторинга биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях регионального значения / В. В. Алексанов, С. К. Алексеев, О. А. Новикова. – Калуга : Тамбовский полиграфический союз, 2021. – 148 с.

2. Атлас пресмыкающихся Северной Евразии (таксономическое разнообразие, географическое распространение и природоохранный статус) / Н. Б. Ананьева [и др.]. – СПб. : Зоологический институт Российской академии наук, 2004. – 232 с.

3. Восточная степная гадюка *Vipera renardi* (Reptilia, Viperidae) в Волжском бассейне: материалы по биологии, экологии и токсинологии / А. Г. Бакиев [и др.] // Бюллетень «Самарская Лука». – 2008. – Т. 17, № 4. – С. 817–845.

4. Бакиев, А. Г. О возможном исчезновении некоторых видов и популяций змей в Волжском бассейне / А. Г. Бакиев // Вопросы герпетологии: материалы Четвертого съезда Герпетологического общества им. А. М. Никольского, Санкт-Петербург, 12–17 октября 2009 года / гл. ред. Н. Б. Ананьева. – СПб. : Русская коллекция, 2011. – С. 25–27.

5. Бакиев, А. Г. Гадюка *Vipera renardi* (Christoph, 1861): о видовом первоописании и его авторе – Хуго Христофе / А. Г. Бакиев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – № 5-1. – С. 155–158.

6. Бакуменко, А. В. Анализ факторов антропогенного воздействия на охраняемые виды Волгоградской области / А. В. Бакуменко // Антропогенная трансформация геопространства: меняющийся мир – штрихи к портрету : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф., Волгоград, 11–12 декабря 2023 г. – Волгоград : ВолГУ, 2024. – С. 179–182.

7. Гордеев, Д. А. Биоразнообразие чешуйчатых Волгоградской области (предварительные данные) / Д. А. Гордеев // Зоологические исследования в регионах России и на сопредельных территориях : материалы Междунар. науч. конф. – Саранск, 2010. – С. 47–49.

8. Гордеев, Д. А. Фауна земноводных и пресмыкающихся Волгоградской области / Д. А. Гордеев, Н. И. Прилипко, С. К. Прилипко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 5-1. – С. 404–408.

9. Иванцова, Е. А. Влияние лесных полос на численность и распределение энтомофауны / Е. А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2006. – № 4 (4). – С. 46–50.

10. Иванцова, Е. А. Изменчивость численности насекомых-филлофагов в городских насаждениях различных экологических категорий / Е. А. Иванцова, М. Т. Нгуен, Т. Ш. Нгуен // Вестник ИрГСХА. – 2023. – № 115. – С. 6–16.

11. Иванцова, Е. А. Сохранение и восстановление биологического разнообразия агролесоландшафтов / Е. А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 46–50.

12. Иванцова, Е. А. Экология популяций и сообществ / Е. А. Иванцова. – Волгоград : ВолГУ, 2017. – 80 с.

13. Красная книга Волгоградской области / О. Г. Баранова [и др.] ; Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Волгоград : Издат-Принт, 2017. – Т. 2. – 268 с.

14. Промоторова, Е. Ю. Методы исследования позвоночных животных : учеб.-метод. пособие / Е. Ю. Промоторова, Б. М. Чабарова. – Тамбов : Юком, 2022. – 88 с.

15. Солодовников, Д. А. Особенности пространственно-биотипического распределения особо охраняемых объектов растительного и животного мира на территории и в зоне влияния линейного объекта (мостового перехода через реку Волга в г. Волгограде) / Д. А. Солодовников, Е. А. Иванцова, Д. А. Семенова // Природные системы и ресурсы. – 2025. – Т. 15. – № 2. – С. 30–41. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsrjvolsu.2025.2.4

16. Экология и природопользование / А. В. Холоденко [и др.]. – Волгоград, 2017. – 309 с.

17. Buckland, S. T. Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations / S. T. Buckland, D. R. Anderson, K. P. Burnham. – Oxford : Oxford University Press, 2001. – 432 p.

18. Distance Sampling: Methods and Applications / S. T. Buckland [et al.]. – Cham : Springer, 2015. – 277 p.

19. Marques, F. F. C. Covariate Models for the Detection Function / F. F. C. Marques, S. T. Buckland // Advanced Distance Sampling. – Oxford : Oxford University Press, 2004. – P. 31–47.

20. McDiarmid, R. W. Reptile Biodiversity: Standard Methods for Inventory and Monitoring / R. W. McDiarmid. – Berkeley : University of California Press, 2012. – 412 p.

REFERENCES

1. Aleksanov V.V., Alekseev S.K., Novikova O.A. *Metody inventarizatsii i monitoringa bioraznoobraziya na osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh regionalnogo znacheniya* [Methods of Inventory and Monitoring of Biodiversity in Specially Protected Natural Areas of Regional Significance]. Kaluga, Tambovskiy poligraficheskiy soyuz, 2021. 148 p.

2. Ananyeva N.B., Orlov N.L., Khalikov R.G., Darevskiy I.S., Ryabov S.A., Barabanov A.V. *Atlas presmykayuschikhsya Severnoy Evrazii (taksonomicheskoye raznoobraziye, geograficheskoye rasprostraneniye*

i prirodookhrannyy status) [Atlas of Reptiles of Northern Eurasia (Taxonomic Diversity, Geographic Distribution and Conservation Status)]. Saint Petersburg, Zoologicheskiy institut Rossiyskoy akademii nauk, 2004. 232 p.

3. Bakiev A.G., Garanin V.I., Pavlov A.V., Shurshina I.V., Malenev A.L. Vostochnaya stepnaya gadyuka *Vipera renardi* (Reptilia, Viperidae) v Volzhskom basseyne: materialy po biologii, ekologii i toksinologii [Eastern Steppe Viper *Vipera renardi* (Reptilia, Viperidae) in the Volga Basin: Materials on Biology, Ecology and Toxinology]. *Byulleten «Samarskaya Luka»*, 2008, vol. 17, no. 4, pp. 817-845.

4. Bakiev A.G. O vozmozhnom ischeznovenii nekotorykh vidov i populyatsiy zmey v Volzhskom basseyne [On the Possible Disappearance of Some Species and Snake Populations in the Volga Basin]. Ananyeva N.B., ed. *Voprosy gerpetologii: materialy Chetvertogo syezda Gerpetologicheskogo obshchestva im. A. M. Nikolskogo, Sankt-Peterburg, 12–17 oktyabrya 2009 goda* [Herpetology Issues. Proceedings of the Fourth Congress of the A. M. Nikolsky Herpetological Society, St. Petersburg, October 12–17, 2009]. Saint Petersburg, Russkaya kollektsiya Publ., 2011, pp. 25-27.

5. Bakiev A.G. Gadyuka *Vipera renardi* (Christoph, 1861): o vidovom pervoopisanii i ego avtore – Khugo Khristofe [*Vipera renardi* (Christoph, 1861): On the Original Species Description and Its Author Hugo Christoph]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2012, no. 5-1, pp. 155-158.

6. Bakumenko A.V. Analiz faktorov antropogennogo vozdeystviya na okhranyayemyye vidy Volgogradskoy oblasti [Analysis of Anthropogenic Impact Factors on Protected Species of the Volgograd Region]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: menyayushchiysya mir – shtrikhi k portretu: materialy VI Vseros. nauch.-prakt. konf., Volgograd, 11–12 dekabrya 2023 g.* [Anthropogenic Transformation of Geospace: A Changing World – Touches to the Portrait. Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, VolGU, 2024, pp. 179-182.

7. Gordeev D.A. Bioraznoobraziye cheshuychatykh Volgogradskoy oblasti (predvaritelnyye dannyye) [Biodiversity of Squamata in the Volgograd Region (Preliminary Data)]. *Zoologicheskiye issledovaniya v regionakh Rossii i na sopredelnykh territoriyakh: materialy Mezhdunar. nauch. konf.* [Zoological Research in the Regions of Russia and Adjacent Territories: Proceedings of the International Scientific Conference]. Saransk, 2010, pp. 47-49.

8. Gordeev D.A., Prilipko N.I., Prilipko S.K. Fauna zemnovodnykh i presmykayushchikhsya Volgogradskoy oblasti [Fauna of Amphibians and Reptiles of the Volgograd Region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 5-1, pp. 404-408.

9. Ivantsova E.A. Vliyaniye lesnykh polos na chislennost i raspredeleniye entomofauny [The Impact of Forest Belts on the Abundance and Distribution of Entomofauna]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2006, no. 4 (4), pp. 46-50.

10. Ivantsova E.A., Nguen M.T., Nuen T.Sh. Izmenchivost chislennosti nasekomykh-fillofagov v gorodskikh nasazhdeniyakh razlichnykh ekologicheskikh kategoriy [Variability of the Number of Phyllophagous Insects in Urban Plantations of Various Ecological Categories]. *Vestnik IrGSKhA* [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy], 2023, no. 115, pp. 6-16.

11. Ivantsova E.A. Sokhraneniye i vosstanovleniye biologicheskogo raznoobraziya agrolesolandshaftov [Conservation and Restoration of Biological Diversity in Agroforest Landscapes]. *Ekologicheskaya bezopasnost i okhrana okruzhayushchey sredy v regionakh Rossii: teoriya i praktika: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Environmental Safety and Environmental Protection in Russian Regions: Theory and Practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 46-50.

12. Ivantsova E.A. *Ekologiya populyatsiy i soobshchestv* [Ecology of Populations and Communities]. Volgograd, VolGU, 2017. 80 p.

13. Baranova O.G., Vasyukov V.M., Vedeneyev A.M., Volodina N.G., Zemlyanskaya I.V., Korotkov O.I., Kuvaldina A.I., Kulakov V.G., Kulakova Yu.Yu., Lukonina A.V., Novozhilov Yu.K., Popov A.V., Rebriev Yu.A., Sagalayev V.A., Saksonov S.V., Safronova G.N., Senator S.A., Suprun N.A., Suragina S.A., Shantser I.A., Yanitskaya A.V. *Krasnaya kniga Volgogradskoy oblasti* [Red Data Book of the Volgograd Region]. Volgograd, Izdat-Print, 2017, vol. 2. 268 p.

14. Promotorova E.Yu., Chabarova B.M. *Metody issledovaniya pozvonochnykh zhivotnykh: ucheb.-metod. posobiye* [Methods for Studying Vertebrates. Teaching and Methodological Manual]. Tambov, Yukom Publ., 2022. 88 p.

15. Solodovnikov D.A., Ivantsova E.A., Semenova D.A. Osobennosti prostranstvenno-biotipicheskogo raspredeleniya osobo okhranyayemykh obyektov rastitelnogo i zhivotnogo mira na territorii i v zone vliyaniya lineynogo obyekta (mostovogo perekhoda cherez reku Volga v g. Volgograde) [Features of the Spatial and Biotopic Distribution of Specially Protected Objects of Flora and Fauna on the Territory and in the Zone of Influence of a Linear Object (A Bridge Crossing over the Volga River in Volgograd)]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2025, vol. 15, no. 2, pp. 30-41. DOI: https://doi.org/10.15688/nsrjvolsu.2025.2.4

16. Kholodenko A.V., Matveeva A.A., Ivantsova E.A. *Ekologiya i prirodopolzovanie* [Ecology and Nature Management]. Volgograd, 2017. 309 p.

17. Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P. *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Oxford, Oxford University Press, 2001. 432 p.

18. Buckland S.T., Rexstad E.A., Marques T.A., Oedekoven C.S. *Distance Sampling: Methods and Applications*. Cham, Springer, 2015. 277 p.

19. Marques F.F.C., Buckland S.T. Covariate Models for the Detection Function. *Advanced Distance Sampling*. Oxford, Oxford University Press, 2004, pp. 31-47.

20. McDiarmid R.W. *Reptile Biodiversity: Standard Methods for Inventory and Monitoring*. Berkeley, University of California Press, 2012. 412 p.

Information About the Author

Kristina N. Makeeva, Master's Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, bm-241_165147@volsu.ru

Информация об авторе

Кристина Николаевна Макеева, магистрант, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, bm-241_165147@volsu.ru

www.volsu.ru

DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.6

UDC 631.48
LBC 40.3

SOIL-LIKE BODIES ON EARTH AND IN SPACE

Yulia V. Bakaeva

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The paper examines the history of research and the terminology related to such objects as soils and soil-like bodies. The generally accepted traditional definition of soil as a medium for plant growth limits the subject area of soil science, excluding manmade substrates and extraterrestrial objects from consideration. In the context of active space exploration and the global anthropogenic transformation of Earth's natural landscapes, there is an urgent need to expand the conceptual framework and research objects of soil science. The aim is to systematize the concepts of soil-like bodies as an independent class of natural and manmade objects, as well as to substantiate the expansion of the basic definition of soil. Based on scientific sources from 1886 to 2026, the development of ideas about soils and soil-like bodies is analyzed – from V.V. Dokuchaev's fundamental classification, which divided soils into normal and abnormal, to V.M. Friedland's modern concepts of parasoils and I.A. Sokolov's four-component system of objects. Special attention is paid to the development of astrosoil science – a field that studies soil-like bodies on other celestial objects in the Solar System: the Moon, Mercury, Venus, and Mars. Research by domestic and foreign astrosoil scientists indicates that in the absence of a biosphere, soils are replaced by substrates formed under the influence of abiotic factors (temperature fluctuations, solar wind, etc.). Attempts are also being made to classify Martian soils and lunar soils. The article presents the results of studies on technogenic embryozems in overburden dumps, the specifics of elementary soil-forming processes in soil-like formations on Russian football fields, and the cave biocosmic covers of the Kugitangtau ridge, the formation of whose soil profile is limited by gravity, and supraglacial organomineral formations in the glacial zone, which demonstrate humus accumulation without the participation of higher vegetation. The conventionality of the boundary between mature soil and a soil-like body is emphasized: with prolonged exposure to autotrophs, parasoils inevitably transform into soils in their classical sense.

Key words: soil-like bodies, soil, parasoils, astrosoil science, exones.

Citation. Bakaeva Yu.V. Soil-Like Bodies on Earth and in Space. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2026, vol. 16, no. 4, pp. 61-69. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.6

УДК 631.48
ББК 40.3

ПОЧВОПОДОБНЫЕ ТЕЛА НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

Юлия Владимировна Бакаева

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается история изучения и терминология таких объектов как почвы и почвоподобные тела. Общепринятое традиционное определение почвы как среды для роста растений ограничивает предметную область почвоведения, исключая из рассмотрения техногенные субстраты и внеземные объекты. В условиях активного освоения космоса и глобальной антропогенной трансформации природных ландшафтов Земли возникает острая потребность в расширении понятийного аппарата и объектов исследования почвоведения. Цель: систематизация представлений о почвоподобных телах как самостоятельном классе природных и техногенных объектов, а также обоснование расширения базового определения почвы. На основании научных источников за период с 1886 по 2026 г. анализируется развитие представлений о почвах и почвоподобных телах от фундаментальной классификации В.В. Докучаева, разделившего почвы на нормальные и анормальные, до современных концепций парапочв В.М. Фридланда и четырехкомпонентной системы объектов И.А. Соколова. Особое внимание уделяется развитию астропочвоведения – направления, изучающего почвоподобные тела на других небесных объектах Солнечной системы: Луне, Меркурии, Венере, Марсе.

© Бакаева Ю.В., 2026

В исследованиях отечественных и зарубежных астропочвоведов отмечается, что в условиях отсутствия биосферы место почв занимают субстраты, сформированные под влиянием абиотических факторов (колебания температур, солнечный ветер и др.). Также делаются попытки классифицировать марсианские грунты и лунные почвы. В работе И.В. Замотаева приводятся результаты исследований техногенных эмбриоземов в отвалах вскрышных пород, специфика элементарных почвообразовательных процессов в почвоподобных образованиях российских футбольных полей, описываются пещерные биокосные покровы хребта Кугитангтау, формирование почвенного профиля которых лимитировано гравитацией, и супрагляциальные органоминеральные образования зоны ледников, демонстрирующие накопление гумуса без участия высшей растительности. Подчеркивается условность границы между зрелой почвой и почвоподобным телом: при длительном воздействии автотроф парапочвы неизбежно трансформируются в почвы в их классическом понимании.

Ключевые слова: почвоподобные тела, почва, парапочвы, астропочвоведение, экзоны.

Цитирование. Бакаева Ю. В. Почвоподобные тела на Земле и в космосе // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 4. – С. 61–69. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.6

Введение

Почва – это поверхностный слой земной коры, который возникает в результате тесного взаимодействия биосферы, атмосферы и литосферы, расчлененный на ряд генетически взаимосвязанных горизонтов, расположенных параллельно дневной поверхности, и обладающий плодородием [3; 10–15; 24; 25; 29]. Почва является одним из основных инструментов обеспечения продовольственной безопасности [16; 19]. Для осуществления своего хозяйствования человек преимущественно выбирает территории со зрелыми почвами, которые достигли состояния динамического равновесия с окружающей средой. К таким почвам, например, относятся черноземы и каштановые почвы. Однако существуют и молодые слаборазвитые почвы, к которым относятся вулканические, торфяно-болотные и пойменные аллювиальные почвы. Такие почвы еще не пришли в динамическое равновесие со средой [4]. Чаще всего это обусловлено денудационным, седиментационным или турбационным типами «омоложения». Кроме зрелых и молодых почв, также различают почвоподобные тела (солоиды, квазиземы) – поверхностные образования, которые обладают некоторыми характерными для почв свойствами, выполняющие их функции в экосистемах и занимающие пространства, принадлежащие почвам. Они могут быть образованы в условиях экстремального почвообразования или иметь техногенное происхождение [3; 17].

В настоящее время существует множество трактовок определения почвоподобных тел, подходов к их изучению. Поэтому целью данного исследования является систематизация представлений о почвоподобных телах как самостоятельном классе природных и техногенных объектов, а также уточнение их места в структуре современного почвоведения.

Объект исследования – почвоподобные тела.

Материал и методы

Для анализа были использованы материалы научных и научно-популярных работ, опубликованных в журнальных статьях, монографиях, диссертациях, источниках сети Интернет. Поиск соответствующей литературы охватывал период с 1886 по 2026 год. При анализе литературных источников рассматривались особенности определения почвоподобных тел как самостоятельного объекта исследования, различные подходы к их классификации и изучению.

Результаты и обсуждение

Основатель генетического почвоведения В.В. Докучаев [8] впервые предложил «Естественно-историческую классификацию русских почв». Он выделял две основные группы почв – нормальную и анормальную – и переходную между ними. К нормальным относятся классы сухопутнорастительных, сухопутноболотных и болотных почв, которые образовались под комплексным влиянием всех факторов почвообразования и имеют тесную генетическую связь. Все относящиеся к этому классу почвы являются наиболее типичными и распространенными в природе. К груп-

пе анормальных почв принадлежат наносные почвы, образованные в месте, отличном от своего нынешнего положения, и не имеющие генетической связи между своими составными частями. По мнению Докучаева, данный класс должен принадлежать как почвоведению, так и геологии. Исключение данных почв из классификации недопустимо, так как они нередко становятся нормальными почвами.

Следующее упоминание почвоподобных тел приводится в работе В.М. Фридланда [24], которые предлагается называть «парапочвами». К парапочвам относятся поверхностно залегающие рыхлые горные породы, искусственно аккумулированные и переотложенные почвогрунты, которые пригодны для роста и развития зеленых растений. Они должны быть объектами классификации почвоведения по нескольким причинам: во-первых, почвоподобные тела выполняют функции почвы, во-вторых, занимают пространство на стыке литосферы и атмосферы, в-третьих, обладают характерными для почв свойствами.

В этот же период, что и В.М. Фридланд, проблему определения объектов почвоведения разрабатывал И.А. Соколов [20]. Он предлагал выделять четыре типа объектов: почвы, полупочвы, парапочвы и экопочвы. К парапочвам относят тела, которые образуют геодерму Земли и выполняют экологическую функцию почв, но при этом почвами не являются.

В формировании теоретической базы изучения почвоподобных тел планет Солнечной системы огромную роль сыграл В.О. Таргульян [22–23]. Он утверждал, что почвы за пределами Земли формироваться не могут из-за отсутствия «живой» оболочки – биосферы. Поэтому место почв занимают почвоподобные тела (экзоны). Они должны быть объектом исследования почвоведения и к ним необходимо применять подходы и методы, которые применимы к почвам [22–23].

Е.А. Дмитриевым [7] было дано определение почве – это экзон, характеризующийся особенностями, сформированными в условиях автохтонного влияния автотроф и присущих им гетеротроф на материнскую породу в процессе его генезиса. В таком случае к почвоподобным телам принадлежат образования, обладающие свойствами почв, выполняют функции или занимают пространства, принадлежащие почвам. Е.А. Дмитриев выделяет три класса таких почвоподобных тел. К первому (организационно почвоподобному) классу относятся тела с выраженным наличием естественно образованных горизонтов. Ко второму (функционально почвоподобному) классу, как следует из названия, принадлежат тела, обеспечивающие рост и развитие растений, но не обладающие горизонтальной организацией. К третьему (хорологически почвоподобному) классу предполагается относить тела, расположенные в ландшафтах в местах, характерных почвам. Таким образом, к почвоподобным телам будут принадлежать: донные отложения, горные породы и отходы производства, на которых могут произрастать растения, соляные коры и др. Почвоподобное тело может одновременно относится к нескольким классам. Также в работе отмечено, что граница между почвой и почвоподобными телами условна и носит договорной характер. При длительном времени воздействия автотрофных организмов парапочвы преобразуются в почвы [7].

Отдельное внимание почвоподобным телам, расположенным в пещерах, было уделено в работе А.А. Семиколенных и В.О. Таргульяна [18]. В результате исследования хребта Кугитангтау было установлено, что под воздействием определенного сочетания факторов среды в карстовых пещерах образуются *in situ* биокосные почвоподобные покровы системы профильно-горизонтного строения. В них содержатся микробные биоценозы – продуценты первичной биомассы таких пещерных экосистем. В таком случае следует рассматривать такие почвоподобные системы в качестве аналогов почв на дневной поверхности. Авторы отмечают, что формирование почвоподобных систем приурочено преимущественно к поверхностям стен и потолка. Тогда материнская порода расположена над этими системами, следовательно, перемещение продуктов выветривания направляется гравитацией сверху вниз. Основным лимитирующим фактором развития почвоподобных систем пещер является гравитация. Это определено тем, что образование твердофазной массы в больших объемах не аккумулируется, а осыпается [18].

И.М. Гаджиевым, В.М. Курачевым, В.А. Андрохановым и др. было предложено

называть почвоподобные тела техногенных ландшафтов эмбриоземами, так как почвы техногенных ландшафтов отражают начальные этапы эволюционного развития почвенного профиля в условиях особенностей почвообразования, сложившихся в данном техногенном ландшафте. В своей диссертации В.А. Андроханов отмечает, что особенности биогенных процессов определяют специфику формирования эмбриоземов [1; 5].

В.С. Артамоновой [2] были исследованы почвоподобные тела техногенных ландшафтов, которые образуются в результате насыпи отвалов вскрышных и вмещающих пород. В последствии терриконы подвергаются постепенному выветриванию, выщелачиванию и заселению биотой. Почвоподобные тела характеризуются высокой вариативностью содержания мелкозема, биогенности и гумусонакопления, дифференциацией минерального вещества. Автор также отмечает высокую подверженность к образованию почвоподобных тел на месте техногенноизмененных земель на территории Уральского, Сибирского и Дальневосточного регионов России [2].

Тема почвоподобных образований техногенно преобразованных ландшафтов нашла свой отклик в работе И.В. Замотаева и В.П. Белоброва [9]. Объектом исследования были выбраны почвоподобные техногенные образования футбольных полей, различных по длительности использования, природным условиям и свойствам. Было установлено, что для них характерна комбинированная природно-техногенная модель педогенеза. В данных почвоподобных техногенных образованиях элементарные почвообразовательные процессы имеют более высокие темпы развития и измененный механизм протекания. Такая ситуация определяется спортивным механогенезом и проводимыми на территории агромероприятиями [9].

Вопросы географии экстремальных почв и почвоподобных систем рассматриваются в работе С.В. Горячкина [6]. Предлагается выделять пять классов, применимых к солоидам и экстремальным почвам, – факторный (экстремальность, связанная с особенностями факторов почвообразования), надземный (почвы или солоиды, сформированные, например, на древесном ярусе или в местах бывших древесных колоний животных), супрагляциальный (образования на поверхности ледников и снежников), режимно-функциональный (экстремальность, связанная с формированием в какой-то период экстремальных для конкретной территории условий), хорологический (образование почв в условиях, не характерных для данной местности), возрастной (относятся те почвы, которые будут в будущем или были в прошлом нормальными почвами).

Обширны исследования ледников. Коллегия ученых под началом Н.С. Мергелова [21] систематизировала знания о разнообразии, развитии и функционирование органоминеральных образований в супрагляциальной зоне. В данной зоне осуществляются процессы, являющиеся характерными для почв: накопление и перевод в устойчивое состояние органического вещества. его гетеротрофное преобразование, образование темноокрашенного гумусированного органического вещества, агрегация мелкозема и биохимическое выветривание. Авторы отмечают важность исследования супрагляциальных систем. Это обусловлено, потребностью в понимании эволюции экосистем на Земле и конструировании астробиологических моделей формирования поверхностных образований на других планетах Солнечной системы с криосферой.

С развитием космонавтики во второй половине прошлого века появилось новое направление исследований в почвоведение – астропочвоведение, целью которого является изучение почвоподобных тел на других планетах и небесных объектах Солнечной системы. Из года в год быстро возрастает количество работ, посвященных «космическому почвоведению». Основным полигоном для научных работ стали планеты так называемой земной группы: Меркурий, Венера, Марс, а также спутника Земли – Луны.

Данное направление получило активное развитие за рубежом. Рональд Амундсон и др. [30] предположили, что наличие в прошлом на Марсе влажных климатических условий определяли вероятность возникновения педогенных процессов. В результате проведенного исследования химического состава почв в местах посадки было установлено: марсианские почвы потеряли значительные количества основных породообразующих элементов

и приобрели элементы присутствующие в виде растворимых ионов. Потери некоторых соединений (например, SiO_2, Al_2O_3) могут быть связаны с выщелачиванием водой и последующим удалением вещества с нисходящими потоками. Накопление же сульфатов и хлоридов произошло позже в более сухих климатических условиях. Доказательством водного переноса вещества служат раскопки, проведенные в кратере Гусев. Авторы предлагают рассматривать почвы Марса через призму земного педогенеза. Отсутствие биоты, в данном случае, не исключает почвообразовательные процессы: примером служат аридные пустыни Земли (Атакама).

Одна из последующих работ посвящена вопросу о том, что считать почвой за пределами Земли [27]. Авторы отмечают несостоятельность наиболее употребительного определения почвы – среда для роста растений, которое автоматически исключает все небесные тела из списка объектов исследования и классификации почвоведения. Предлагается использовать более широкое понятие почвы как геохимически и физически измененного материала на поверхности небесного тела, который является отображением истории окружающей среды. При этом наличие биоты считается необязательным, потому что наличие других факторов (изменение температуры, солнечный ветер и т. д.) нивелирует ее отсутствие. Внесен вклад в развитие понятийного аппарата: для обозначения абиотических почв авторы вводят новый термин – астросоли.

Сторону «против» узкого определения почвы как субстрата для роста растений принимают и другие ученые. Авторы статьи «Существуют ли почвы за пределами Земли?» [28] отмечают, что ключевым свойством почвы является сам факт ее формирования и дифференциации, независимо от того, произошли под влиянием биотических или абиотических факторов. В настоящее время Венера, Марс и Луна обладают выветрелыми мантиями, которые следует считать почвами в педологическом смысле. В статье рассмотрены вопросы развития сельского хозяйства с использованием марсианского и лунного грунта. Основными препятствиями для выращивания сельскохозяйственных культур являются: отсутствие азота, наличие мелкодисперсной пыли, создающей застойные зоны, и токсичных перхлоратов и агрессивных супероксид-ионов.

Предприняты попытки создания классификации лунных почв, которая адаптирует принципы земного почвоведения под уникальные условия Луны. Она состоит из пяти основных эталонных групп почв (Ultimoosol, Mutoosol, Inceptoosol, Lithoosol, Equoosol) и их комбинаций. Предлагается новый порядок Menosol и шесть подпорядков (Ultimen, Mutimen, Inceptimen, Lithomen, Equomen). Разработка общей классификации позволит значительно продвинуться в картографировании почв Луны для поддержки использования ресурсов *in situ* – поиску, добычи и применению местных материалов для нужд миссии с целью снижения зависимости от поставок Земли [26].

Заключение

Таким образом, понятие «почвоподобное тело» является фундаментальным для почвоведения, охватывая как земные, так и внеземные объекты. Граница между почвой и почвоподобным телом на протяжении всей истории науки всегда была условной. Парапочвы могут формироваться не только в экстремальных погодных условиях, но и в результате техногенного изменения ландшафтов. В настоящее время активно реализуются программы по исследованию почв планет земной группы и Луны. Для практического освоения Луны и Марса предложены классификации их почв, которые адаптируют принципы земного почвоведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андроханов, В. А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / В. А. Андроханов. – Новосибирск, 2005. – 36 с.

2. Артамонова, В. С. Почвоподобные образования техногенных ландшафтов: история изучения, терминология, современные аспекты (обзор) / В. С. Артамонова, С. Б. Бортникова // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – Вып. 1. – С. 4–13.

3. Водолазко, А. Н. Плодородие каштановых и светло-каштановых почв сухостепной почвенной зоны Волгоградской области / А. Н. Водолазко, Д. А. Ясинский, Е. А. Иванцова // Актуальные вопросы развития аграрной науки в современных экономических условиях : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – с. Соленое Займище, 2015. – С. 147–150.

4. Возраст почв // Национальный атлас России. – URL: https://nationalatlas.ru/tom2/310.html

5. Гаджиев, И. М. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / И. М. Гаджиев [и др.]. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 305 с.

6. Горячкин, С. В. География экстремальных почв и почвоподобных систем / С. В. Горячкин // Вестник Российской академии наук. – 2022. – Т. 92, № 6. – С. 564–571.

7. Дмитриев, Е. А. Почва и почвоподобные тела / Е. А. Дмитриев // Почвоведение. – 1996. – № 3. – С. 310–319.

8. Докучаев, В. В. Главные моменты в истории оценок земель Европейской России, с классификацией русских почв / В. В. Докучаев // Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Естественно-историческая часть. – СПб., 1886. – Вып. 1. – 391 с.

9. Замотаев, И. В. Элементарные почвообразовательные процессы в почвоподобных техногенных образованиях футбольных полей России / И. В. Замотаев, В. П. Белобров // Почвоведение. – 2014. – № 8. – С. 998–1013.

10. Иванцова, Е. А. Аридные экосистемы в условиях техногенного прессинга / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов, Н. В. Онистратенко // Академический вестник ELPIT. – 2018. – Т. 3. – № 4 (6). – С. 22–28.

11. Иванцова, Е. А. Защита почв от эрозии и воспроизводство плодородия почвенного покрова в Нижневолжском регионе / Е. А. Иванцова // Современные тенденции развития аграрного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – с. Соленое Займище, 2016. – С. 356–359.

12. Иванцова, Е. А. Качество почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной почвенной зоны Волгоградской области / Е. А. Иванцова, А. Н. Водолазко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 150–157.

13. Иванцова, Е. А. Мероприятия по повышению плодородия светло-каштановых почв Волгоградской области / Е. А. Иванцова, А. А. Данилов, В. В. Нестеров // Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград : ВолГУ, 2019. – С. 252–256.

14. Иванцова, Е. А. Оптимизация фитосанитарного состояния агробиоценозов Нижнего Поволжья : дис. ... д-ра с.-х. наук / Иванцова Елена Анатольевна. – Саратов, 2009. – 453 с.

15. Иванцова, Е. А. Противоэрозионные мероприятия и воспроизводство плодородия почвенного покрова в Нижневолжском регионе / Е. А. Иванцова // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2016. – № 67. – С. 161–164.

16. Особенности возделывания подсолнечника на черноземных почвах Волгоградской области / Н. Ю. Петров [et al.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 4 (24). – С. 37–43.

17. Почвоподобное тело // Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия». – URL: https://bigenc.ru/c/pochvopodobnoe-telo-67789d

18. Семиколенных, А. А. Почвоподобные тела автохемолитотрофных экосистем пещер хребта Кугитангтау (Восточный Туркменистан) / А. А. Семиколенных, В. О. Таргульян // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 658–672.

19. Снижение негативного воздействия на агроценозы путем управления примыкающими природно-антропогенными системами / Е. А. Иванцова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2017. – Т. 19, № 4 (41). – С. 138–146.

20. Соколов, И. А. Что такое почва и что такое почвоведение? / И. А. Соколов // Теоретические проблемы генетического почвоведения. – Новосибирск : Гуманитарные технологии, 2004. – С. 9–22.

21. Супрагляциальные почвы и почвоподобные тела: разнообразие, генезис, функционирование (обзор) / Н. С. Мергелов [и др.] // Почвоведение. – 2023. – № 12. – С. 1522–1561.

22. Таргульян, В. О. Почвоподобные тела на Марсе / В. О. Таргульян, Н. С. Мергелов, С. В. Горячкин // Почвоведение. – 2017. – № 2. – С. 205–218.

23. Таргульян, В. О. Экзогенез и педогенез: расширение теоретической базы почвоведения / В. О. Таргульян // Вестник МГУ. Серия 17, Почвоведение. – 1983. – № 3. – С. 33–43.

24. Фридланд, В. М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв / В. М. Фридланд. – М. : Наука, 1986. – 243 с.

25. Ясинский, Д. А. Агроэкологический мониторинг каштановых и светло-каштановых почв сухостепной зоны Волгоградской области / Д. А. Ясинский, Е. А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана

окружающей среды в регионах России: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2015. – С. 218–224.

26. A Classification Framework for Mapping Lunar Soils / J. Juilleret [et al.] // Soil Science Society of America Journal. – 2026. – Vol. 90. – e70206. – DOI: https://doi.org/10.1002/saj2.70206

27. Certini, G. A View of Extraterrestrial Soils / G. Certini, R. Scalenghe, R. Amundson // European Journal of Soil Science. – 2009. – Vol. 60, № 6. – P. 1078–1092. – DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01173.x

28. Certini, G. Do Soils Exist Outside Earth? / G. Certini, R. Scalenghe // Planetary and Space Science. – 2010. – Vol. 58. – P. 1767–1770. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.pss.2010.08.007

29. Influence of Ecological and Anthropogenic Factors on Soil Transformation in Recreational Areas of Volgograd (Russia) / O. Gordienko [et al.] // Catena. – 2022. – T. 208. – P. 105773. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105773

30. On the in situ Aqueous Alteration of Soils on Mars / R. Amundson [et al.] // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2008. – Vol. 72, № 15. – P. 3845–3864. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.05.033

REFERENCES

1. Androkhanov V.A. *Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie tekhnogennykh landshaftov: dinamika i otsenka: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk* [Soil-Ecological State of Technogenic Landscapes: Dynamics and Assessment. Dr. biol. sci.]. Novosibirsk, 2005. 36 p.

2. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. Pochvopodobnye obrazovaniya tekhnogennykh landshaftov: istoriya izucheniya, terminologiya, sovremennye aspekty (obzor) [Soil-Like Formations in Technogenic Landscapes: History of Study, Terminology, Modern Aspects (Review)]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2017, iss. 1, pp. 4-13.

3. Vodolazko A.N., Yasinskiy D.A., Ivantsova E.A. Plodorodiye kashtanovykh i svetlo-kashtanovykh pochv sukhostepnoy pochvennoy zony Volgogradskoy oblasti [Fertility of Chestnut and Light Chestnut Soils in the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region]. *Aktualnyye voprosy razvitiya agrarnoy nauki v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh* [Current Issues in the Development of Agricultural Science in Modern Economic Conditions. Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists]. Solyonoye Zaymishche, 2015, pp. 147-150.

4. Vozrast pochv [Age of Soils]. *Natsionalnyy atlas Rossii* [National Atlas of Russia]. URL: https://nationalatlas.ru/tom2/310.html

5. Gadzhiev I.M., Kurachev V.M., Ragim-zade F.K., Androkhanov V.A. et al. *Ekologiya i rekultivatsiya tekhnogennykh landshaftov* [Ecology and Reclamation of Technogenic Landscapes]. Novosibirsk, Nauka Publ. Sib. otd-niye, 1992. 305 p.

6. Goryachkin S.V. Geografiya ekstremalnykh pochv i pochvopodobnykh sistem [Geography of Extreme Soils and Soil-Like Systems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences], 2022, vol. 92, no. 6, pp. 564-571.

7. Dmitriev E.A. Pochva i pochvopodobnye tela [Soil and Soil-Like Bodies]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1996, no. 3, pp. 310-319.

8. Dokuchaev V.V. Glavnye momenty v istorii otsenok zemel Evropeyskoy Rossii, s klassifikatsiey russkikh pochv [Main Moments in the History of Land Assessments in European Russia, with a Classification of Russian Soils]. *Materialy k otsenke zemel Nizhegorodskoy gubernii. Estestvenno-istoricheskaya chast* [Materialy k otsenke zemel Nizhegorodskoy gubernii. Yestestvenno-istoricheskaya chast]. Saint Petersburg, 1886, iss. 1. 391 p.

9. Zamotaev I.V., Belobrov V.P. Elementarnye pochvoobrazovatelnye protsessy v pochvopodobnykh tekhnogennykh obrazovaniyakh futbolnykh poley Rossii [Elementary Soil-Forming Processes in Soil-Like Technogenic Formations of Football Fields in Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2014, no. 8, pp. 998-1013.

10. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Onistratenko N.V. Aridnyye ekosistemy v usloviyakh tekhnogennogo pressinga [Arid Ecosystems Under Technogenic Pressure]. *Akademicheskiy vestnik ELPIT*, 2018, vol. 3, no. 4 (6), pp. 22-28.

11. Ivantsova E.A. Zashchita pochv ot erozii i vosproizvodstvo plodorodiya pochvennogo pokrova v Nizhnevolzhskom regione [Soil Protection from Erosion and Soil Fertility Restoration in the Lower Volga Region]. *Sovremennyye tendentsii razvitiya agrarnogo kompleksa: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern Trends in the Development of the Agricultural Complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], 2016, pp. 356-359.

12. Ivantsova E.A., Vdolazko A.N. Kachestvo pochv zemel selskokhozyaystvennogo naznacheniya sukhostepnoy pochvennoy zony Volgogradskoy oblasti [Soil Quality of Agricultural Lands in the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee*

professionalnoe obrazovanie [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2018, no. 2 (50), pp. 150-157.

13. Ivantsova E.A., Danilov A.A., Nesterov V.V. Meropriyatiya po povysheniyu plodorodiya svetlo-kashtanovykh pochv Volgogradskoy oblasti [Measures to Improve the Fertility of Light Chestnut Soils in the Volgograd Region]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: priroda, khozyaystvo, obshchestvo: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf* [Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, and Society. Proceedings of the Fifth International Scientific and Practical Conference]. Volgograd, VolGU, 2019, pp. 252-256.

14. Ivantsova E.A. *Optimizatsiya fitosanitarnogo sostoyaniya agrobiotsenozov Nizhnego Povolzhya : dis. ... d-ra s.-kh. nauk* [Optimization of the Phytosanitary State of the Lower Volga Region Agrobiocenoses. Dr. Agriculture sci. diss.]. Saratov, 2009. 453 p.

15. Ivantsova E.A. Protivoerozionnyye meropriyatiya i vosproizvodstvo plodorodiya pochvennogo pokrova v Nizhnevolzhskom regione [Erosion Control Measures and Reproduction of Soil Fertility Cover in the Lower Volga Region]. *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchogo centra RAN* [Proceedings of the Institute of Geology, Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, no. 67, pp. 161-164.

16. Petrov N.U., Ivantsova E.A., Semenenko S.Ya., Pinashkin N.N. Osobennosti vozdelyvaniya podsolnechnika na chernozemnykh pochvakh Volgogradskoy oblasti [Features of Sunflower Cultivation on Black Earth Soils in the Volgograd Region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], 2011, no. 4 (24), pp. 37-43.

17. Nauchno-obrazovatelny portal «Bolshaya rossiyskaya entsiklopediya» [Scientific-Educational Portal "Great Russian Encyclopedia"]. *Pochvopodobnoe telo* [Soil-Like Body]. URL: https://bigenc.ru/c/pochvopodobnoe-telo-67789d

18. Semikolennykh A.A., Targulyan V.O. Pochvopodobnye tela avtokhemolitotrofnykh ekosistem peshcher khrebta Kugitangtau (Vostochnyy Turkmenistan) [Soil-Like Bodies of Auto-Chemolithotrophic Cave Ecosystems of the Kugitangtau ridge (Eastern Turkmenistan)]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2010, no. 6, pp. 658-672.

19. Ivantsova E.A., Onistratenko N.V., Holodenko A.V., Tihonova A.A., Novochadov V.V. Snizheniye negativnogo vozdeystviya na agrotsenozy putem upravleniya primykayushchimi prirodno-antropogennymi sistemami [Reducing the Negative Impact on Agrocenoses by Managing Adjacent Natural and Anthropogenic Systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2017, vol. 19, no. 4 (41), pp. 138-146.

20. Sokolov I.A. Chto takoe pochva i chto takoe pochvovedenie? [What Is Soil and What Is Soil Science?]. *Teoreticheskie problemy geneticheskogo pochvovedeniya* [Theoretical Problems of Genetic Soil Science]. Novosibirsk, Gumanit. tekhnologii Publ., 2004, pp. 9-22.

21. Mergelov N.S., Goryachkin S.V., Zazovskaya E.P., Karelin D.V., Nikitin D.A., Kutuzov S.S. Supraglyatsialnye pochvy i pochvopodobnye tela: raznoobrazie, genezis, funktsionirovanie (obzor) [Supraglacial Soils and Soil-Like Bodies: Diversity, Genesis, Functioning (Review)]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2023, no. 12, pp. 1522-1561.

22. Targulyan V.O., Mergelov N.S., Goryachkin S.V. Pochvopodobnye tela na Marse [Soil-Like Bodies on Mars]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2017, no. 2, pp. 205-218.

23. Targulyan V.O. Ekzogenez i pedogenez: rasshirenie teoreticheskoy bazy pochvovedeniya [Exogenesis and Pedogenesis: Expanding the Theoretical Basis of Soil Science]. *Vestnik MGU. Seriya 17, Pochvovedenie* [Moscow University Soil Science Bulletin], 1983, no. 3, pp. 33-43.

24. Fridland V.M. *Problemy geografii, genezisa i klassifikatsii pochv* [Problems of Geography, Genesis and Classification of Soils]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 243 p.

25. Yasinskiy D.A., Ivantsova E.A. Agroekologicheskiy monitoring kashtanovykh i svetlo-kashtanovykh pochv sukhostepnoy zony Volgogradskoy oblasti [Agroecological Monitoring of Chestnut and Light Chestnut Soils in the Dry Steppe Zone of the Volgograd Region]. *Ekologicheskaya bezopasnost i okhrana okruzhayushchey sredy v regionakh Rossii: teoriya i praktika: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Environmental Safety and Environmental Protection in Russian Regions: Theory and Practice. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Volgograd, 2015, pp. 218-224.

26. Juilleret J., Scalenghe R., Diaz A.C., Certini G. A Classification Framework for Mapping Lunar Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2026, vol. 90, e70206. DOI: https://doi.org/10.1002/saj2.70206

27. Certini G., Scalenghe R., Amundson R. A View of Extraterrestrial Soils. *European Journal of Soil Science*, 2009, vol. 60, no. 6, pp. 1078-1092. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01173.x

28. Certini G., Scalenghe R. Do Soils Exist Outside Earth? *Planetary and Space Science*, 2010, vol. 58, pp. 1767-1770. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pss.2010.08.007

29. Gordienko O., Balkushkin R., Kholodenko A., Ivantsova E. Influence of Ecological and Anthropogenic Factors on Soil Transformation in Recreational Areas of Volgograd (Russia). *Catena*, 2022, vol. 208, pp. 105773. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105773

30. Amundson R., Ewing S., Dietrich W., Sutter B., Owen J., Chadwick O., Nishiizumi K., Walvoord M., McKay C. On the in situ Aqueous Alteration of Soils on Mars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, vol. 72, no. 15, pp. 3845-3864. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.05.033

Information About the Author

Yulia V. Bakaeva, Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, jljbakaeva@mail.ru

Информация об авторе

Юлия Владимировна Бакаева, студент, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, jljbakaeva@mail.ru

DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.7

UDC 579.66
LBC 28.472.32

THE EFFECT OF CULTIVATION CONDITIONS ON THE ABILITY OF BACTERIA TO CARRY OUT BIODEGRADATION OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

Timofey O. Dyachenko
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Andrey Yu. Getmanenko
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The relevance of the study is driven by the global accumulation of polyethylene terephthalate (PET) waste and the low efficiency of conventional recycling methods. Microbial biodegradation is a promising alternative, yet its natural rate remains insufficient. This work aims to investigate the effect of different concentrations of nicotinic acid (vitamin B) on the bacterial ability to degrade PET under controlled cultivation conditions. The experiment was performed on 8 PET samples (2×2 cm) in a modified R2A agar medium. Samples were incubated for 30 days at 25 °C with nicotinic acid added at 0,5 and 10 mg/mL. Biodegradation was assessed gravimetrically using analytical balances with a precision of ± 0.0002 g. The results revealed the maximum mass loss (0.0005 g) at 5 mg/mL, while the 10 mg/mL concentration reduced the degradative effect to the control level. However, most mass changes fell within the instrument's error margin, preventing a definitive confirmation of statistically significant biodegradation enhancement. These findings highlight the need for more sensitive analytical techniques (chromatography, electron microscopy) and longer cultivation periods for an accurate quantitative assessment of the stimulating effect of nicotinic acid.

Key words: biodegradation, polyethylene terephthalate, nicotinic acid, destructive bacteria, enzymatic hydrolysis, PET hydrolase, cultivation.

Citation. Dyachenko T.O., Getmanenko A.Yu. The Effect of Cultivation Conditions on the Ability of Bacteria to Carry Out Biodegradation of Polyethylene Terephthalate. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2026, vol. 16, no. 4, pp.70-77. DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.7

УДК 579.66
ББК 28.472.32

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА СПОСОБНОСТЬ БАКТЕРИЙ К БИОДЕГРАДАЦИИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Тимофей Олегович Дьяченко
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

© Дьяченко Т.О., Гетманенко А.Ю., 2026

Андрей Юрьевич Гетманенко

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена глобальным накоплением отходов полиэтилентерефталата (ПЭТ) и низкой эффективностью существующих методов его утилизации. Перспективным направлением является микробная биодеградация, однако ее естественная скорость остается недостаточной. Цель работы – изучение влияния различных концентраций никотиновой кислоты на способность бактерий к деструкции ПЭТ в контролируемых условиях культивирования. Эксперимент проводили на 8 образцах ПЭТ размером 2×2 см в модифицированной среде Агар R2A. Образцы инкубировали 30 суток при 25 °С с добавлением никотиновой кислоты в концентрациях 0,5 и 10 мг/мл. Оценку биодеградации выполняли гравиметрическим методом на аналитических весах с точностью ± 0,0002 г. Результаты показали, что максимальное изменение массы (0,0005 г) зафиксировано при концентрации 5 мг/мл, тогда как при 10 мг/мл деструктивный эффект снижался до уровня контроля. Однако большинство значений изменения массы находились в пределах погрешности прибора, что не позволяет однозначно подтвердить статистически значимое ускорение биодеградации. Полученные данные свидетельствуют о необходимости применения более чувствительных аналитических методов и увеличения сроков культивирования для корректной количественной оценки стимулирующего эффекта никотиновой кислоты.

Ключевые слова: биодеградация, полиэтилентерефталат, никотиновая кислота, бактерии-деструкторы, ферментативный гидролиз, ПЭТ-гидролаза, культивирование.

Цитирование. Дьяченко Т. О., Гетманенко А. Ю. Влияние условий культивирования на способность бактерий к биодеградации полиэтилентерефталата // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 4. – С. 70–77. – DOI: https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2026.4.7

Введение

Синтетические пластмассы вошли во все сферы человеческой деятельности, однако их высокая устойчивость к биодеградации породила глобальную экологическую проблему. К настоящему времени на планете накопилось около 6,5 млрд тонн пластиковых отходов, и при сохранении текущих тенденций к 2050 г. этот показатель может возрасти до 12 млрд тонн [1]. Среди наиболее распространенных полимеров особое место занимает полиэтилентерефталат (ПЭТ), используемый преимущественно для производства одноразовой упаковки и тары. Традиционные методы утилизации – захоронение, сжигание и механическая переработка – обладают существенными недостатками, включая образование микропластика и ухудшение качества материала при каждом цикле переработки [7; 8].

В связи с этим все большее внимание исследователей привлекает микробная биодеградация – способность микроорганизмов использовать синтетические полимеры в качестве источника углерода и энергии [2–6; 9–12; 16; 17].

Ключевым открытием последних лет стала бактерия *Ideonella sakaiensis*, разлагающая ПЭТ с помощью двух ферментов – ПЭТазы и МГЭТазы [13]. Однако естественная скорость микробного разложения пластиков остается крайне низкой, что требует разработки методов ее интенсификации [19].

Перспективным подходом является использование физико-химических факторов, стимулирующих катаболическую активность микроорганизмов-деструкторов. Никотиновая кислота – предшественник коферментов НАД и НАДФ, играющих ключевую роль в окислительно-восстановительных реакциях, способна интенсифицировать энергетический обмен клетки. Добавление никотиновой кислоты в концентрации 0,005–0,01 % увеличивает скорость выделения ПЭТазы у *I. sakaiensis* на 38 % [15], а для штаммов *Bacillus spp.* стимулирует экспрессию гидролаз и увеличивает потерю массы ПЭТ на 12–17 % [14]. Важно отметить, что положительный эффект реализуется только в условиях, когда ПЭТ служит единственным источником углерода. Исследования мест накопления пластика показывают, что природные консорциумы микроорганизмов обладают значительным потенциалом биодеградации, который может быть усилен за счет добавления кофакторных соединений [2; 3; 5; 18].

Целью данной работы является изучение влияния никотиновой кислоты на способ-

ность бактерий к биодеградации полиэтилентерефталата в контролируемых условиях культивирования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Произвести посев культуры микроорганизмов в среды с известными концентрациями никотиновой кислоты, где основным источником углерода является ПЭТ.

2. Оценить деструктивную активность штамма в отношении ПЭТ в лабораторных условиях.

3. Проанализировать корреляцию между концентрацией никотиновой кислоты в среде и изменением массы образца ПЭТ.

Материалы и методы исследования

Для проведения опытов использовались следующие реактивы: вода дистиллированная (Получена в лаборатории с использованием дистиллятора, Россия), Агар-Агар (Е406, микробиологическая чистота, ООО «БиоХим», кат. № БХ-208, Россия), ГРМ Агар (пептон, гидролизат казеина, агар-агар, микробиологическая чистота, ООО «Оболенск», кат. № ОБ-329, Россия), Дикалий фосфат (K_2HPO_4, ≥ 98 %, ООО «Химмед», кат. № ХМ-247, Россия), магния сульфат ($MgSO_4$, ≥ 99,5 %, ООО «Химмед», кат. № ХМ-189, Россия), натрия хлорид (NaCl, ≥ 99,5 %, ООО «БиоХим», кат. № БХ-015, Россия), никотиновая кислота (Pyridine-3-carboxylic acid ≥ 99,5 % HPLC, ООО «Биохиммаш», кат. № БХМ-442, Россия), пивные дрожжи (инактивированные, пищевой сорт, ООО «Биокомпозит», кат. № БК-045, Россия), полиэтилентерефталат (ПЭТ, фрагменты пластиковой бутылки, ООО «Завод Святой Источник», Россия).

Так же было использовано оборудование: автоклав (Tuttnauer Autoclave, model 2540EKA, max pr 2.8, Израиль), весы аналитические (Ohaus DV-214C, НПВ 210 г., погрешность 0,0002 г, Швейцария), сухожаровой шкаф (ШС-80-01 СПУ, Задаваемые температуры: + 50... + 200 °С, Смоленское СКТБ СПУ, Смоленск), термостат (Orbital Shaker – Incubator ES-20, диапазон регулирования температуры + 25... + 42 С°, Biosan, Латвия), УФ-бокс (БМБ-II-"Ламинар-С"–1,2 (221.120) Класс II (Тип А2), размер рабочей зоны 1 105 × 450 мм, г. Миасс, Россия).

Объект исследования в данной работе - образцы полиэтилентерефталата ($n = 8$) в виде пластин размером 2 × 2 см, полученные из одноразовой пластиковой бутылки.

Этапы исследования влияния условий культивирования

В качестве базовой питательной среды для проведения данного исследования была выбрана среда Агар R2A, однако ее классический состав был подвергнут переработке (табл. 1).

Для стерилизации в автоклав были загружены питательная среда и необходимая посуда, стерилизация проводилась при +120 °С, 1,2 атм. в течение 30 мин. Были получены первичные массы образцов ПЭТ, взвешенных на весах (см. табл. 2). После первичного взвешивания образцы были доведены до постоянной массы в сухожаровом шкафу при +80 °С в течение 30 мин (см. табл. 2). Исследуемые образцы помещались в УФ-бокс для стерилизации на 30 мин.

В суспензию из микроорганизмов и физиологического раствора были внесены образцы № 3–8. В чашки Петри было залито по 50 мл среды и внесено по два образца в следующей последовательности:

Контрольный образец – 1 и 2
Опыт 1 – 3 и 4
Опыт 2 – 5 и 6
Опыт 3 – 7 и 8

Таблица 1

Состав питательной среды для посева (г/400 мл)

Название реактивов	Масса (г)
Дикалий фосфат	0,12
Пивные дрожжи	0,2
Сульфат магния	0,0096
ГРМ Агар (пептон, гидролизат казеина, агар-агар)	0,65
Агар-агар	5,8

Никотиновая кислота разводилась в пробирках типа эппендорф и вносилась в опытные среды в объеме 1 мл:

Опыт 1 – 0 мг/мл

Опыт 2 – 5 мг/мл

Опыт 3 – 10 мг/мл

Микроорганизмы культивировались 30 дней в термостате при +25 °С. По истечении 30 дней образцы ПЭТ были очищены от остатков питательной среды. Образцы доводились до постоянной массы в сушильном шкафу при +80 °С на 30 мин и взвешивались. Были получены контрольные массы образцов ПЭТ после культивирования (табл. 2).

Ниже приведены отдельные уточнения, относящиеся к методам, примененным в настоящем исследовании.

Метод высушивания в сухожаровом шкафу. Выбор температуры обусловлен необходимостью полного удаления влаги без разрушения полимерной матрицы ПЭТ (температура стеклования ПЭТ составляет около +70…+75 °С, температура плавления – выше +230 °С), что позволяло избежать деформации и термической деградации образцов.

Метод стерилизации ультрафиолетовым излучением. Образцы помещали в УФ-бокс и подвергали воздействию ультрафиолетового излучения с длиной волны 254 нм в течение 30 минут. Выбор данного метода обусловлен его эффективностью для инактивации микроорганизмов на поверхности твердых материалов без нарушения структуры и свойств полимера

Статистическая обработка. Обработку экспериментальных данных проводили методом сравнения начальной и конечной массы образцов ПЭТ. Для каждого варианта концентрации никотиновой кислоты (0,5 и 10 мг/мл) изменение массы рассчитывали, как разность между средними значениями начальной и конечной массы образцов. Значения изменения массы, находившиеся в пределах погрешности прибора (± 0,0002 г), интерпретировали как недостоверные и не подлежащие однозначной трактовке в качестве биодеградации. Для наглядного представления полученных данных строили график зависимости изменения массы образцов ПЭТ от концентрации никотиновой кислоты в среде культивирования.

Результаты и обсуждение

Разница масс была рассчитана путем вычитания массы образцов ПЭТ после культивирования из контрольной массы до культивирования (табл. 2).

Была построена столбчатая диаграмма показывающая отношение изменения масс образцов друг к другу при различных концентрациях никотиновой кислоты (см. рис. 1).

Поскольку все изменения масс незначительны, нельзя с уверенностью утверждать, что масса была изменена под действием биодеградации. Предел погрешности используемых весов, равный 0,0002 г, указывает на непригодность результатов опытов 4, 6 и 8.

Однако, никотиновая кислота способна не только повышать степень биодеградации, но и понижать через сильное окисление (см. рис. 2).

На основании полученных результатов можно предположить, что концентрация никотиновой кислоты 5 мг/мл близка к оптимальной, тогда как концентрация 10 мг/мл снижает биодеградацию ПЭТ до уровня естественного биоразложения микроорганизмами.

Таблица 2

Разница масс образцов ПЭТ

№ образца	Первичная масса образцов ПЭТ (г)	Контрольная масса образцов ПЭТ до культивирования (г)	Контрольная масса образцов ПЭТ после культивирования (г)	Изменение массы (г)
1	0,1366	0,1358	0,1358	0
2	0,1466	0,1450	0,1450	0
3	0,1337	0,1325	0,1322	0,0003
4	0,1416	0,1403	0,1401	0,0002
5	0,1373	0,1363	0,1358	0,0005
6	0,1382	0,1370	0,1368	0,0002
7	0,1375	0,1366	0,1363	0,0003
8	0,1387	0,1376	0,1375	0,0001

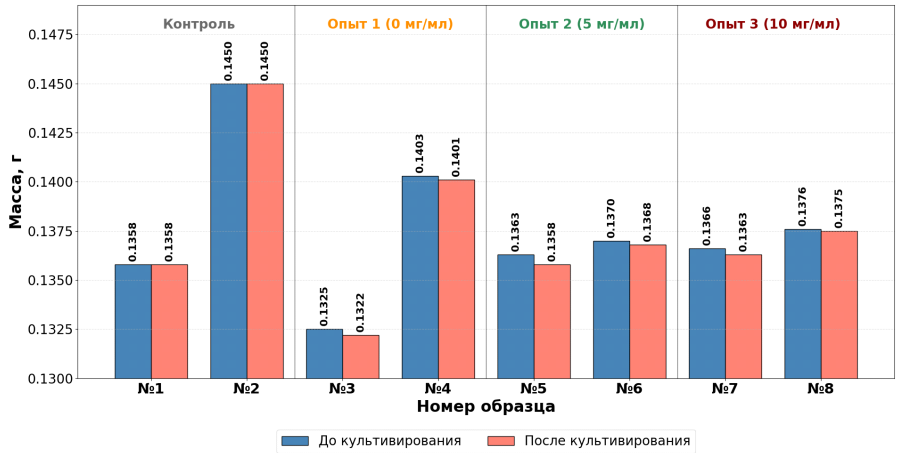

Рис. 1. Изменение масс образцов ПЭТ

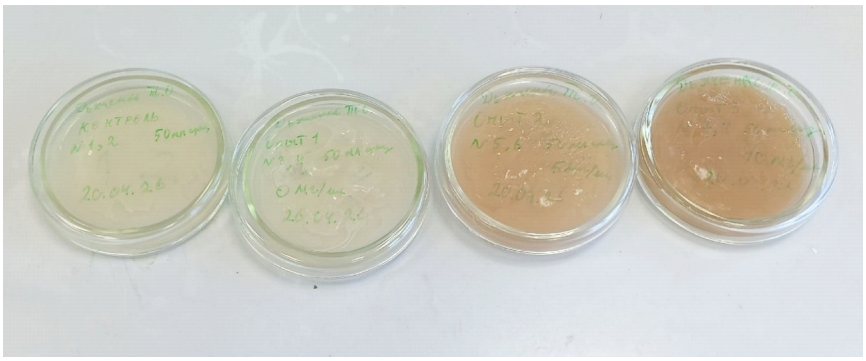

Рис. 2. Питательные среды после культивации

Заключение

В ходе исследования было установлено, что добавление никотиновой кислоты в питательную среду оказывает разнонаправленное влияние на способность бактерий к биодеградации полиэтилентерефталата. Наибольшее изменение массы образцов (0,0005 г) зафиксировано при концентрации 5 мг/мл, что позволяет рассматривать данный уровень как приближенный к оптимальному для стимуляции деструктивной активности микроорганизмов. Однако, учитывая, что большая часть полученных значений изменения массы находится в пределах погрешности аналитических весов (± 0,0002 г), достоверно подтвердить значительное ускорение биодеградации ПЭТ в выбранных условиях не представляется возможным. Повышение концентрации никотиновой кислоты до 10 мг/мл, напротив, сопровождается снижением деструктивного эффекта, вероятно, вследствие окислительного стресса для бактериальной культуры. Полученные результаты указывают на необходимость дальнейших исследований с использованием более чувствительных методов оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, Д. В. Перспективы переработки пластиковых отходов на основе полиэтиленгликольтерефталата с применением живых систем (обзор) / Д. В. Белов, С. Н. Беляев // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12, № 2 (41). – С. 238–253. – DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-238-253

2. Герман, Н. В. Особенности микробных сообществ в зональных почвах аридной зоны юго-востока Европейской части России / Н. В. Герман, Е. А. Иванцова, А. В. Холоденко // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11, Естественные науки. – 2017. – Т. 7, № 3. – С. 31–38. – DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.3.4

3. Горбунова, К. О. Биохимические исследования микроорганизмов, выделенных на светло-каштановых почвах г. Волгограда / К. О. Горбунова, А. А. Григорян, Е. А. Иванцова // Итоги и перспективы развития

агропромышленного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – с. Соленое Займище, 2019. – С. 370–374.

4. Иванцова, Е. А. Аридные экосистемы в условиях техногенного прессинга / Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов, Н. В. Онистратенко // Академический вестник ELPIT. – 2018. – Т. 3, № 4 (6). – С. 22–28.

5. Иванцова, Е. А. Культуральные и морфологические исследования симбиотической микробиоты светло-каштановых почв / Е. А. Иванцова, К. О. Горбунова, А. А. Григорян // Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. – с. Соленое Займище, 2019. – С. 258–263.

6. Иванцова, Е. А. Оптимизация фитосанитарного состояния агробиоценозов Нижнего Поволжья : дис. ... д-ра с.-х. наук / Иванцова Елена Анатольевна. – Саратов, 2009. – 453 с.

7. Иванцова, Е. А. Проблемы и перспективы управления твердыми бытовыми отходами / Е. А. Иванцова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2016. – № 2 (35). – С. 148–159.

8. Микробная деградация пластика и пути ее интенсификации / И. Б. Котова [и др.] // Микробиология. – 2021. – Т. 90, № 6. – С. 627–659. – DOI: 10.31857/S0026365621060082

9. Снижение негативного воздействия на агроценозы путем управления примыкающими природно-антропогенными системами / Е. А. Иванцова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2017. – Т. 19, № 4 (41). – С. 138–146. – DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2017.4.15

10. Сравнение таксономического состава бактериальных обрастаний, развивающихся на поверхности различных материалов, экспонированных в водных средах / Т. П. Турова [и др.] // Микробиология. – 2021. – Т. 90, № 4. – С. 400–412. – DOI: 10.31857/S0026365621040182

11. Шевцов, Д. А. Оценка фитотоксичности светло-каштановой почвы при ее загрязнении сырой нефтью и использовании биопрепаратов-нефтедеструкторов / Д. А. Шевцов, Е. А. Иванцова, В. В. Новочадов // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2025. – № 1 (69). – С. 100–110.

12. Экобиотехнологии оптимизации аридных фитоценозов юго-востока европейской части России / Е. А. Иванцова [и др.]. – Волгоград, 2019. – 76 с.

13. A Bacterium that Degrades and Assimilates Poly(Ethylene Terephthalate) / S. Yoshida [et al.] // Science. – 2016. – Vol. 351, no. 6278. – P. 1196–1199. – DOI: 10.1126/science.aad6359

14. Biodegradation of Poly(Ethylene Terephthalate) by Bacillus Safensis YX8 / C. Zeng [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24, no. 22. – P. 16434. – DOI: 10.3390/ijms242216434

15. Improving the Activity and Thermostability of PETase from Ideonella Sakaiensis Through Modulating its Post-Translational Glycan Modification / B. Deng [et al.] // Communications Biology. – 2023. – Vol. 6, no. 1. – P. 39. – DOI: 10.1038/s42003-023-04413-0

16. Ecological Aspects Phitosanitary Optimization of Arid Agrobiocenoses of the South of Russia / E. A. Ivantsova [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2017. – T. 23, № 5. – С. 834–842.

17. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction / N. B. Onistratenko [et al.] // Ekologia (Bratislava). – 2016. – Vol. 35, no. 3. – P. 205–212.

18. Microplastics Biodegradation by Estuarine and Landfill Microbiomes / C. S. Pires [et al.] // MDPI Proceedings. – 2024. – DOI:10.1007/s00248-024-02399-8

19. Wei, R. Biocatalysis as a Green Route for Recycling the Recalcitrant Plastic Polyethylene Terephthalate / R. Wei, W. Zimmermann // Microbial Biotechnology. – 2017. – Vol. 10, no. 6. – P. 1302–1307. – DOI: 10.1111/1751-7915.12714

REFERENCES

1. Belov D.V., Belyayev S.N. Perspektivy pererabotki plastikovykh otkhodov na osnove polietilenglikoltereftalata s primeneniyem zhivykh sistem (obzor) [Prospects for Processing Pplastic Waste Based on Polyethylene Glycol Terephthalate Using Living Systems (Review)]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 2022, vol. 12, no. 2 (41), pp. 238-253. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-238-253

2. German N.V., Ivantsova E.A., Kholodenko A.V. Osobennosti mikrobnykh soobshchestv v zonalnykh pochvakh aridnoy zony yugo-vostoka yevropeyskoy chasti Rossii [Features of Microbial Communities in Zonal Soils of the Arid Zone in the Southeastern Part of the European Russia]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11, Estestvennye nauki* [Science Journal of Volgograd State University. Natural Sciences], 2017, vol. 7, no. 3, pp. 31-38. DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.3.4

3. Gorbunova K.O., Grigoryan A.A., Ivantsova E.A. Biokhimicheskiye issledovaniya mikroorganizmov, vydelennykh na svetlo-kashtanovykh pochvakh g. Volgograda [Biochemical Studies of Microorganisms Isolated from Light Chestnut Soils in the City of Volgograd]. *Itogi i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Results and Prospects for the Development of the Agroindustrial Complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Solyonoye Zaymishche, 2019, pp. 370-374.

4. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Onistratenko N.V. Aridnyye ekosistemy v usloviyakh tekhnogennogo pressinga [Arid Ecosystems Under Technogenic Pressure]. *Akademicheskiy vestnik ELPIT* [Academic Bulletin of ELPIT], 2018, vol. 3, no. 4 (6), pp. 22-28.

5. Ivantsova E.A., Grigoryan A.A., Gorbunova K.O. Kulturalnyye i morfologicheskiye issledovaniya simbioticheskoy mikrobioty svetlo-kashtanovykh pochv [Cultural and Morphological Studies of the Symbiotic Microbiota of Light Chestnut Soils]. *Itogi i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Results and Prospects for the Development of the Agroindustrial Complex. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Solyonoye Zaymishche, 2019, pp. 258-263.

6. Ivantsova E.A. *Optimizatsiya fitosanitarnogo sostoyaniya agrobiotsenozov Nizhnego Povolzhya : dis. ... d-ra s.-kh. nauk* [Optimization of the Phytosanitary State of the Lower Volga Region Agrobiocenoses. Dr. Agriculture sci. diss.]. Saratov, 2009. 453 p.

7. Ivantsova E.A. Problemy i perspektivy upravleniya tverdymi bytovymi otkhodami [Problems and Prospects for Solid Household Waste Management]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Economika. Ecologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2016, no. 2 (35), pp. 148-159.

8. Kotova I.B., Taktarova Yu.V., Tsavkelova E.A., Egorova M.A., Bubnov I.A., Malakhova D.V., Shirinkina L.I., Sokolova T.G., Bonch-Osmolovskaya E.A. *Mikrobnaya degradatsiya plastika i puti yeye intensifikatsii* [Microbial Degradation of Plastic and Ways to Intensify It]. *Mikrobiologiya* [Microbiology], 2021, vol. 90, no. 6, pp. 627-659. DOI: 10.31857/S0026365621060082

9. Ivantsova E.A., Onistratenko N.V., Holodenko A.V., Tihonova A.A., Novochadov V.V. Snizheniye negativnogo vozdeystviya na agrotsenozy putem upravleniya primykayushchimi prirodno-antropogennymi sistemami [Reducing the Negative Impact on Agrocenoses by Managing Adjacent Natural and Anthropogenic Systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2017, vol. 19, no. 4 (41), pp. 138-146. DOI: https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2017.4.15

10. Turova T.P., Sokolova D.Sh., Nazina T.N., Laptev A.B. Sravneniye taksonomicheskogo sostava bakterialnykh obrastaniy, razvivayushchikhsya na poverkhnosti razlichnykh materialov, eksponirovannykh v vodnykh sredakh [Comparison of the Taxonomic Composition of Bacterial Fouling Developing on the Surface of Various Materials Exposed in Aquatic Environments]. *Mikrobiologiya* [Microbiology], 2021, vol. 90, no. 4, pp. 400-412. DOI: 10.31857/S0026365621040182

11. Shevtsov D.A., Ivantsova E.A., Novochadov V.V. Otsenka fitotoksichnosti svetlo-kashtanovoy pochvy pri yeye zagryaznenii syroy neftyu i ispolzovanii biopreparatov-neftedestruktorov [Assessment of the Phytotoxicity of Light Chestnut Soil When It Is Contaminated with Crude Oil and When Using Biopreparations Containing Oildegrading Microorganisms]. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Nizhnevartovsk State University], 2025, no. 1 (69), pp. 100-110.

12. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Rulev A.S., Postnova M.V. *Ekobiotekhnologii optimizatsii aridnykh fitotsenozov yugo-vostoka yevropeyskoy chasti Rossii* [Ecobiotechnology Optimization of Arid Phytocenoses in the South-East of the European Part of Russia]. Volgograd, 2019. 76 p.

13. Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., Yamaji H., Maeda Y., Toyohara K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K. A Bacterium That Degrades and Assimilates Poly (Ethylene Terephthalate). *Science*, 2016, vol. 351, no. 6278, pp. 1196-1199. DOI: 10.1126/science.aad6359

14. Zeng C., Ding F., Zhou J., Dong W., Cui Z., Yan X. Biodegradation of Poly(Ethylene Terephthalate) by Bacillus Safensis YX8. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, no. 22, p. 16434. DOI: 10.3390/ijms242216434

15. Deng B., Yue Y., Yang J., Yang M., Xing Q., Peng H., Wang F., Li M., Ma L., Zhai C. Improving the Activity and Thermostability of PETase from Ideonella Sakaiensis Through Modulating Its Post-Translational Glycan Modification. *Communications Biology*, 2023, vol. 6, no. 1, p. 39. DOI: 10.1038/s42003-023-04413-0

16. Ivantsova E.A., Novochadov V.V., Onistratenko N.V., Postnova N.V. Ecological Aspects Phitosanitary Optimization of Arid Agrobiocenoses of the South of Russia. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2017, vol. 23, no. 5, pp. 834-842.

17. Onistratenko N.B., Ivantsova E.A., Denysov A.A., Solodovnicov D.A. Heavy Metals in Suburban Ecosystems of Industrial Centres and Ways of Their Reduction. *Ekologia (Bratislava)*, 2016, vol. 35, no. 3, pp. 205-212.

18. Pires C.S., Costa L., Barbosa S.G., Sequeira J.C., Cachetas D., Freitas J.P., Martins G., Machado A.V., Cavaleiro A.J., Salvador A.F. Microplastics Biodegradation by Estuarine and Landfill Microbiomes. *Microbial Ecology*, 2024. DOI: 10.1007/s00248-024-02399-8

19. Wei R., Zimmermann W. Biocatalysis as a Green Route for Recycling the Recalcitrant Plastic Polyethylene Terephthalate. *Microbial Biotechnology*, 2017, vol. 10, no. 6, pp. 1302-1307. DOI: 10.1111/1751-7915.12714

Information About the Authors

Timofey O. Dyachenko, Student, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, timofej.d.@mail.ru

Andrey Yu. Getmanenko, Senior Lecturer, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, getmanenko@volsu.ru

Информация об авторах

Тимофей Олегович Дьяченко, студент кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, timofej.d.@mail.ru

Андрей Юрьевич Гетманенко, старший преподаватель кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, getmanenko@volsu.ru