

ISSN 2713-1572

2023

Том 13. № 3

ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ



NATURAL SYSTEMS AND RESOURCES

Volume 13. No. 3

ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

VOLGOGRAD STATE UNIVERSITY

ISSN 2713-1572



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ
И РЕСУРСЫ**

2023

Том 13. № 3

**MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**NATURAL SYSTEMS
AND RESOURCES**

2023

Volume 13. No. 3



NATURAL SYSTEMS AND RESOURCES

2023. Vol. 13. No. 3

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
ПН № 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:

Assoc. Prof., Dr. *E.A. Ivantsova* – Chief Editor (Volgograd)
Prof., Dr. *V.V. Novochadov* – Deputy Chief Editor
(Volgograd)
Assoc. Prof., Cand. *P.A. Krylov* – 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. Gzhambetova* (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 RANHM *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. Tiutiuna* (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 *O.N. Yadykina*

Technical editing by *N.M. Vishnyakova*,
M.V. Gayval, *I.V. Smetanina*

Passed for printing on Oct. 23, 2023.

Date of publication: Febr. 8, 2024.

Format 60×84/8. Offset paper. Typeface Times.

Conventional printed sheets 5.5. Published pages 5.9.

Number of copies 500 (1st printing 1–27 copies).

Order 171. «C» 40.

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/>



ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ

2023. Т. 13. № 3

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, доц. *Е.А. Иванцова* – главный редактор (г. Волгоград)
д-р мед. наук, проф. *В.В. Новочадов* – зам. главного редактора (г. Волгоград)
канд. биол. наук, доц. *П.А. Крылов* – 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. Сокколова* (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., академик 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., академик РАН *И.П. Кружилин* (г. Волгоград) проф., академик РАН *К.Н. Кулик* (г. Волгоград); д-р с.-х. наук, доц., академик РАН *М.Г. Мустафаев* (г. Баку, Азербайджан); д-р с.-х. наук, проф., академик РАН *А.С. Рулев* (г. Волгоград); д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН *М.И. Сложеникина* (г. Волгоград); д-р с.-х. наук, проф. РАН *Н.В. Тютюма* (Астраханская обл., с. Солёное 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., академик РАН *А.А. Чибилев* (г. Оренбург); д-р геогр. наук, проф. *Г.Ю. Ямских* (г. Красноярск)

Редактор английских текстов *Д.А. Новак*

Верстка *О.Н. Ядыкиной*

Техническое редактирование *Н.М. Вишняковой,*

М.В. Гайваль, И.В. Сметаниной

Подписано в печать 23.10 2023 г.

Дата выхода в свет: 08.02 2024 г.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,5. Уч.-изд. л. 5,9.

Тираж 500 экз. (1-й завод 1–27 экз.). Заказ 171. «С» 40.

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. сайт журнала:

<https://ns.jvolsu.com/index.php/en/>



СОДЕРЖАНИЕ

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

- Колмукиди С.В.* Мучнистая роса дуба
в защитных лесных насаждениях
Волгоградской области 5
- Тахмазов Т.М.* Исследование влияния
климатических факторов
на скорость разложения лесной подстилки 15
- Сулейманов Т.И., Асадов Х.Г., Тахмазов Т.М.*
Системный подход
к модели роста деревьев в лесу
на основе уравнения Бергаланффи 21
- Солодовников Д.А., Хаванская Н.М.,
Семенова Д.А., Шилова Н.В.* Влияние
климатических и гидрологических изменений
на лесорастительные условия
речных пойм Донского бассейна 27

ЭКОЛОГИЯ

- Александрюк Ю.А., Иванцова Е.А.*
Адаптивные реакции кровообращения студентов
в динамике годового цикла
обучения в вузе 36
- Самедов П.А., Алиева Б.Б., Мамедзаде В.Т.,
Садыхова М.Э., Алиева М.М., Джафарова Ш.З.,
Рзаева А.Л.* Биологические показатели и их значение
в диагностике аллювиально-луговых почв 42

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Берденгалиева А.Н., Берденгалиев Р.Н.*
Геоинформационное картографирование
урбанизированных территорий с использованием
данных дистанционного зондирования
(на примере г. Волгограда) 49

CONTENTS

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

- Kolmukidi S.V.* Powdery Mildew of Oak
in Protective Forest Plantations
of the Volgograd Region 5
- Tahmazov T.M.* Investigation of the Influence
of Climatic Factors
on the Rate of Decomposition of Forest Litter 15
- Suleymanov T.I., Asadov H.H., Tahmazov T.M.*
A Systematic Approach
to the Model of Tree Growth in the Forest
Based on the Bertalanffy Equation 21
- Solodovnikov D.A., Khavanskaya N.M.,
Semenova D.A., Shilova N.V.* The Influence
of Climatic and Hydrological Changes
on the Forest-Growing Conditions
of the River Floodplains of the Don Basin 27

ECOLOGY

- Alexandryuk Yu.A., Ivantsova E.A.*
Adaptive Reactions of Students' Blood Circulation
in the Dynamics of the Annual Cycle
of Study at the University 36
- Samedov P.A., Aliyeva B.B., Mammadzade V.T.,
Sadigova M.E., Aliyeva M.M., Jafarova Sh.Z.,
Rzayeva A.L.* Biological Indicators and Their Significance
in the Diagnosis of Alluvial-Meadow Soils 42

GEOECOLOGY

- Berdengalieva A.N., Berdengaliev R.N.*
Geoinformation Mapping
of Urbanized Territories Using
Remote Sensing Data
(On the Example of Volgograd) 49



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

DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.1>

UDC 632.4.01/.08

LBC 44.7



**POWDERY MILDEW OF OAK IN PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS
OF THE VOLGOGRAD REGION**

Svetlana V. Kolmukidi

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. In the conditions of the Volgograd region, the source of infection of oak with powdery mildew (the causative agent is *Erysiphe alphitoides* (Griffon et Maubl.) U. Braun et S. Takam.) is the conidial and marsupial stages of the fungus – ascospores, which overwinter in fruit bodies (cleistothecium) almost within the entire range of the host. The development of the disease on the leaves of the shoots of the first growth depends on the phenological features of the oak and the weather conditions of the first growing season. When studying the regularities of oak phenology and the manifestations of the disease, systematic observations were carried out during the growing season in stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) with a periodicity of 10 days. The phenology of oak was studied on 100 specimens of plants in protective forest stands on the territory adjacent to the city of Volgograd. At the same time, the development of powdery mildew of leaves was recorded, and conidium was captured using slides, with the help of agar-strips applied to them. The intensity of spore formation during the growth of the fungus was determined using the Goryaev counting chamber by the number of spores in a certain volume of suspension. Weather conditions for phenological observations were recorded using meteorological data for the period of studying the dynamics of the summer of powdery mildew-conidia and taken from the site “Pogoda i klimat”. It has been established that the seasonal development of conidia *Erysiphe alphitoides* is determined by a combination of the thermal regime and the conditions of humidification of the growing season. With the help of regression analysis for oak plantations in the arid zone of the Volgograd region, a prognostic model of a short-term meteorological and biological forecast of powdery mildew was developed, which made it possible to establish the dates of the disease and the terms of plant treatment through the dynamics of the spread of conidia.

Key words: *Erysiphe alphitoides*, oak powdery mildew, forecast, phenology, protective forest plantations.

Citation. Kolmukidi S. V. Powdery Mildew of Oak in Protective Forest Plantations of the Volgograd Region. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 5-14. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.1>

УДК 632.4.01/.08

ББК 44.7

**МУЧНИСТАЯ РОСА ДУБА В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Светлана Валерьевна Колмукиди

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В условиях Волгоградской области источником заражения дуба мучнистой росой (возбудитель – *Erysiphe alphitoides* (Griffon et Maubl.) U. Braun et S. Takam.) служит конидиальная и сумчатая стадии гриба – аскоспоры, которые перезимовывают в плодовых телах (клейстотециях) практически в пределах всего ареала хозяина. Развитие болезни на листьях побегов первого прироста зависит от фенологических особенностей дуба и погодных условий первого периода вегетации. При изучении закономерностей фенологии дуба и проявления болезни проводили систематические наблюдения в течение вегетационного сезона в насаждениях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с периодичностью 10 суток. Фенологию дуба изучали на 100 экземплярах растений в защитных лесных насаждениях на территории, прилегающей к г. Волгограду. Одновременно фиксировали развитие мучнистой росы листьев, а конидий улавливали с помощью предметных стекол, с помощью нанесенных на них агаровых полосок. Интенсивность спорообразования при росте гриба определяли с помощью счетной камеры Горяева по количеству спор в определенном объеме взвеси. Погодные условия для фенологических наблюдений фиксировались по метеоданным на период изучения динамики лета конидий мучнистой росы и были взяты с сайта «Погода и климат». Установлено, что сезонное развитие конидий *Erysiphe alphitoides* определяется сочетанием термического режима и условия увлажнения вегетационного периода. С помощью регрессионного анализа для насаждений дуба засушливой зоны Волгоградской области разработана прогностическая модель краткосрочного метеобиологического прогноза мучнистой росы, что позволило через динамику разлета конидий установить даты проявления болезни и сроки обработки растений.

Ключевые слова: *Erysiphe alphitoides*, мучнистая роса дуба, прогноз, фенология, защитные лесные насаждения.

Цитирование. Колмукиди С. В. Мучнистая роса дуба в защитных лесных насаждениях Волгоградской области // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 5–14. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.1>

Погодные факторы оказывают большое влияние на развитие болезней растений, особенно поражающих вегетирующие органы [2; 8]. Влияние погоды сказывается комплексно на фенологии хозяина и инфекционном процессе, а в конечном итоге – на развитии болезни в течение вегетации. Комплексная оценка фенологии хозяина и развития болезни может быть использована в целях предсказания интенсивности поражения растений в течение вегетации.

Фитосанитарный прогноз – это обоснованное предвидение сроков появления, уровня распространения и развития болезни и возможных явлений, и процессов в фитосанитарном состоянии лесных полос в будущем [10]. Для реализации задач, связанных с прогнозом развития фитопатогенов и наносимого ими вреда, важно изучить особенности патогена: циклы развития, особенности размножения и сохранения его инфекционного начала и т. д., устойчивость растения к возбудителю.

Краткосрочный прогноз необходимо формировать на небольшой период (от календарной недели до месяца), для защиты растений он составляется для определенного заболевания. Основная цель такого мероприятия – прогнозирование конкретных сроков и последующих заражений растений. Получен-

ные данные помогают принять своевременные меры для проведения оздоровительных мероприятий в насаждениях, пораженных болезнью [11].

Объект исследования – пораженные мучнистой росой растения дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в защитных лесных насаждениях в условиях Волгоградской области. Возраст насаждений различный (40–60 лет), состав представлен монокультурой и полосами смешенного состава, отличающиеся по конструкционным особенностям.

Цель работы – с помощью регрессионного анализа для насаждений дуба засушливой зоны Волгоградской области разработать прогностическую модель краткосрочного метеобиологического прогноза мучнистой росы для определения и срока проведения первой обработки растений.

Материал и методы исследования

Для изучения лета и динамики распространения спор нами было применено улавливание конидий с помощью предметных стекол. На стекла наносили агаровые полоски (на которых прорастание конидий было лучше, чем на масле) [10] или вазелиновое мас-

ло. Стекла закрепляли в кроне деревьев на ветках на высоте 1–2 м с помощью обычного проволочного каркаса. Интенсивность спорообразования при росте гриба определяли с помощью счетной камеры Горяева по количеству спор в определенном объеме взвеси.

Развитие дуба изучали по непрерывному фенологическому календарю, начальной датой установили 1 марта и далее наблюдения вели по порядковому номеру суток на 100 экземплярах деревьев в лесных полосах на территории, прилегающей к Волгограду [9; 12]. При учетах фенологическое состояние крон деревьев оценивали по следующей балльной шкале: 0 – состояние покоя; 1 – появление зеленых полос между чешуйками почек; 2 – набухание почек; 3 – раскрытие почек, появление верхушек листьев; 4 – появление мелких листьев в свернутом состоянии; 5 – мелкие листья в развернутом состоянии; 6 – листья среднего размера; 7 – нормальные по размеру листья светло-зеленого цвета; 8 – полное развитие листы [3; 4].

Краткосрочный прогноз сопровождался каждодневными наблюдениями за погодными условиями [6]. На основании полученных данных рассчитали формулы фенологического развития с использованием метода регрессионного анализа, которые в общем виде представляют уравнением линейной регрессии.

Результаты исследования

Для краткосрочного прогноза вредоносного заболевания мучнистой росы, вызываемого грибом *Erysiphe alphitoides* (Griffon et Maubl.) U. Braun et S. Takam. (син. *Microsphaera alphitoides* Grrif. et Maubl.), конидиальная стадия *Oidium dubium* Jacz.) была проведена комплексная оценка фенологии растения-хозяина *Q. robur* L. и развития болезни.

Этот гриб относится к классу Леоциомикеты (*Leotiomycetes*) порядку Эризифовые, или Настоящие Мучнисторосые (*Erysiphales*). Является облигатным паразитом, то есть поражает только виды дуба. Он широко распространен на всей территории России в местах произрастания дуба, а также в искусственных насаждениях и городских посадках. Все жизненные процессы у этого гриба проходят под влиянием погодных условий [12].

Конидиальная стадия *Oidium dubium* Jacz. может существовать в широком температурном диапазоне [12]. Нами отмечено, что в условиях Волгограда развитие гриба в природных условиях начинается при повышении среднесуточной температуры до 16 °С. Конидии гриба хорошо развиваются как при влажной погоде, так и при сухой, что позволяет патогену паразитировать на растениях рода *Quercus* в различных экологических условиях. Для их созревания необходима влажная теплая погода в мае – начале июня. Температурный оптимум для прорастания конидий – 20...22 °С, однако конидии образуются и при температуре окружающей среды 25 °С. Хорошая освещенность способствует активизации прорастания конидий. Сухая погода способствует активному формированию клейстотециев.

Мучнистая роса в первую очередь поражает листья и побеги молодых деревьев, однако когда растения ослаблены неблагоприятными условиями произрастания или экстремальными погодными условиями, патоген поражает и взрослые растения, у которых образуются поздние побеги со свежей листвой, восприимчивой к поражению болезнью [7]. Исследователями отмечается, что некоторые виды дуба, произрастающие на пониженных участках, активно поражаются мучнистой росой [10; 13]. Эти растения страдают весной от заморозков, что провоцирует появление вторичных побегов, неустойчивых к поражению патогеном. Участвуя в патоконплексе, паразитирующем на дубе в разные периоды его развития, мучнистая роса ослабляет растения, тем самым способствуя поражению другими опасными инфекционными болезнями [1; 11].

Нами ранее было установлено, что в защитных лесных насаждениях смешанного состава, а также плотных лесных полосах наблюдается в меньшей степени развитие мучнистой росы [5]. Она чаще встречается по опушкам лесных полос на порослевом возобновлении дуба (см. рис. 1).

Наблюдение биологии возбудителя было начато в августе 2021 г. в защитных лесных полосах с участием дуба, когда необходимо было установить наличие формы и места сохранения возбудителя в зимний период.



Рис. 1. Поражение дуба черешчатого мучнистой росой, 2021 г.

Клейстотеции, сумчатая стадия развития гриба, начали образовываться на мицелии в конце лета (рис. 2,1). Это коричневатые мелкие и многочисленные шарики, располагающиеся на мицелии вдоль жилки пораженного листа, в процессе созревания они становятся темнее, до черного цвета (рис. 2,2). При микроско-

пировании у клейстотеция хорошо видны дихотомически разветвленные на концах придатки.

В клейстотеции образуются сумки булавовидной формы, имеющие размер от 43–85 × 26–50 мкм [10]. На рисунке 3 показаны сделанные нами микрофотографии выхода аскоспор из сумок и проросшие конидии.

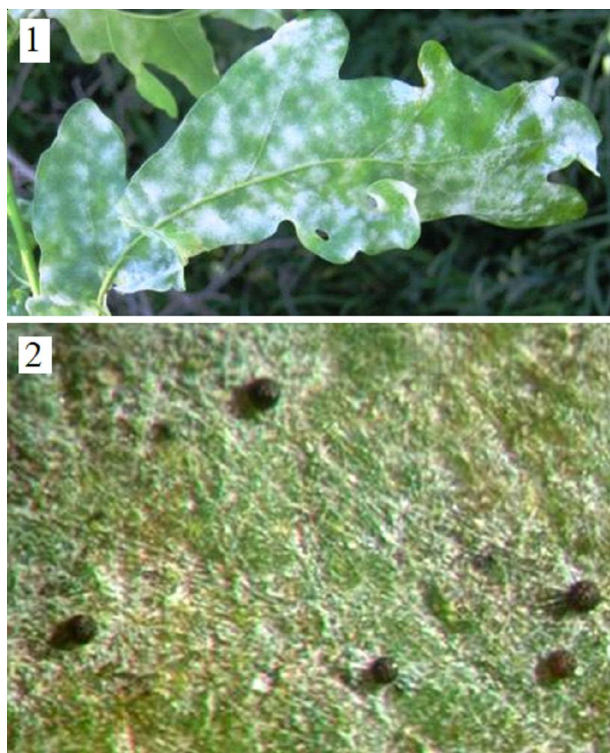


Рис. 2. Плодоношение гриба, вызывающего мучнистую росу дуба:
1 – пораженный лист; 2 – плодоношение гриба – клейстотеции

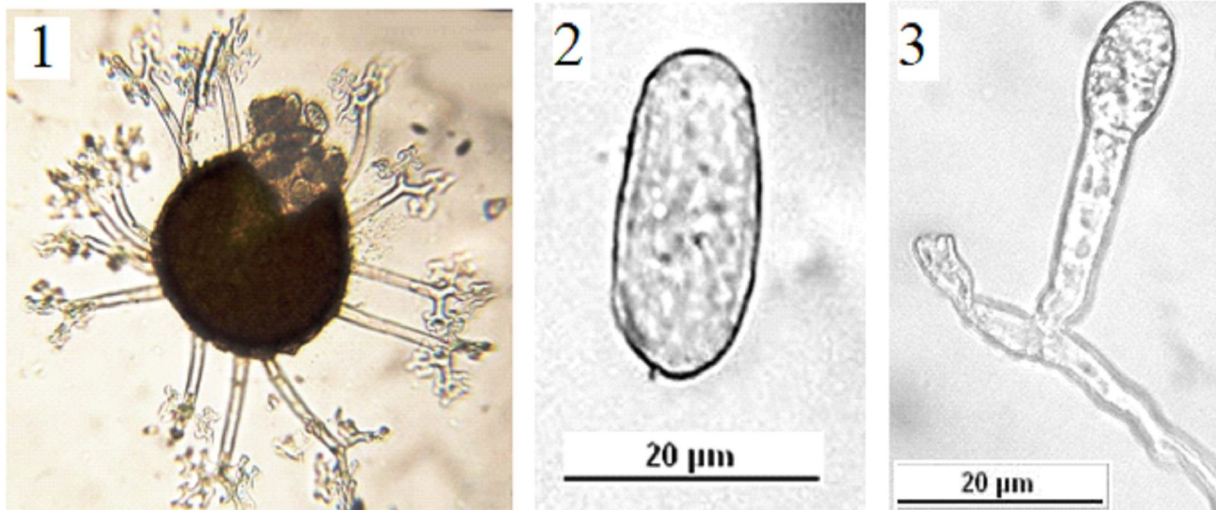


Рис. 3. Клейстотеций с аскоспорами (1), конидии (2, 3)

Ранее исследователями было установлено, что аскоспоры выходя из аскосумок, образовавшиеся в клейстотециях, заражают в основном нижние листья на высоте 30–90 см [11; 15]. Дальность рассеивания конидий от 40 до 100 м, также известно, что при рассеивании конидий наблюдается уменьшение их количества на удалении от источника рассеивания в 2–3 раза.

Конидии мучнистой росы способны прорасти немедленно и сохранять жизнеспособность в среднем до 7–8 суток, которая может ограничиваться действием высоких или низких температур. Конидии первой генерации оказываются наиболее жизнеспособными, они, как правило, высоковирулентны [7].

Метеоданные (рис. 4) на период изучения динамики лета конидий мучнистой росы

были взяты с сайта «Погода и климат» [8]. Географические координаты метеостанции «Волгоград» – широта: 48°40'25"; долгота: 44°26'18".

Наблюдения показали, что 12–13 мая нами было впервые зафиксировано массовое раскрытие клейстотециев, начало лета аскоспор и первичное заражение молодых листьев дуба. После обработки полученных данных были составлены графики динамики рассеивания спор и пропагул. Для определения совмещения двух периодов: первого – начало распространения конидий и второго – фаз восприимчивости дуба к заражению, совместили кривые рассеивания конидий и фенологическую карту дуба черешчатого. Эти данные необходимы для установления благоприятных периодов для заражения растений мучнистой

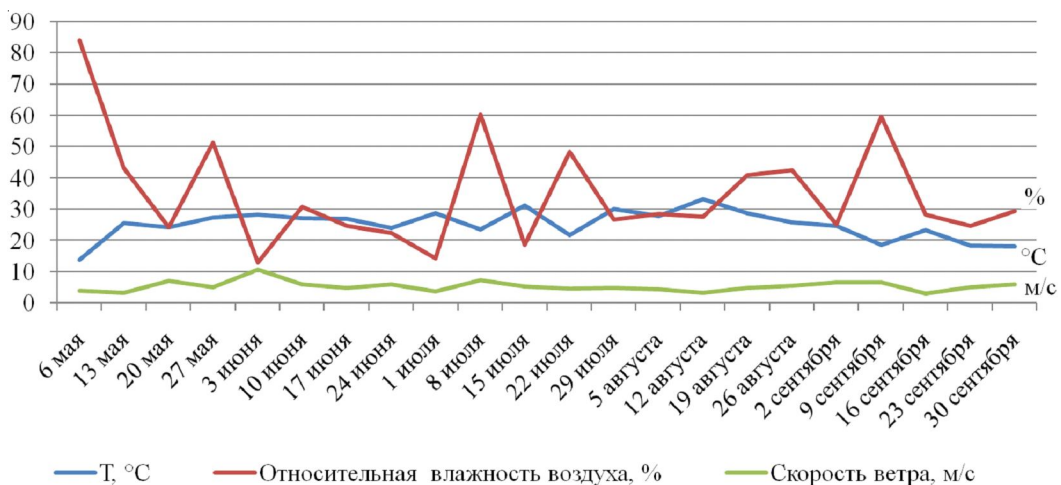


Рис. 4. Метеоданные за период (май – сентябрь 2022 г.) изучения динамики лета конидий мучнистой росы

росой, их используют для проведения защитных мероприятий.

Для изучаемой местности лет конидий возбудителя *Erysiphe alphitoides* проявил свои особенности, которые были установлены в течение дня, месяца и сезона вегетации. Как видно из рисунка 5 в июне в течение дня наблюдалось два периода максимального лета конидий (средняя температура +24,3 °С, относительная влажность – 51 %, скорость ветра – 3,5 м/с). С 10 до 12 ч. концентрация конидий в воздухе постепенно нарастала и достигла максимума к 13 ч., второй пик пришелся на 15 часов. Однако в августе при невысоком развитии болезни наблюдалось повышение количества конидий на 1 см², а пик рассеивания максимальным был с 11 до 12 часов.

В течение вегетационного периода лет конидий был неравномерным. Массовое раз-

витие мучнистой росы на большинстве растений было отмечено 4 июля. Количество конидий в этот день находилось в прямой зависимости от степени развития инфекции, что объясняется совпадением сроков образования конидий. Процесс лета конидий в конце июня нарастал равномерно и достиг самых высоких показателей в первой декаде августа, он наблюдался со 2 по 5 августа, в этот период фиксировался максимальный рост температуры, в связи с чем развитие конидий было невысоким, и процесс развития болезни ослабился (рис. 6).

Как следует из рисунка 6, резкое снижение скорости распространения конидий объясняется следующей стадией развития гриба и образованию телеморфы. Это событие происходило в условиях понижения относительной влажности воздуха и возрастания сред-

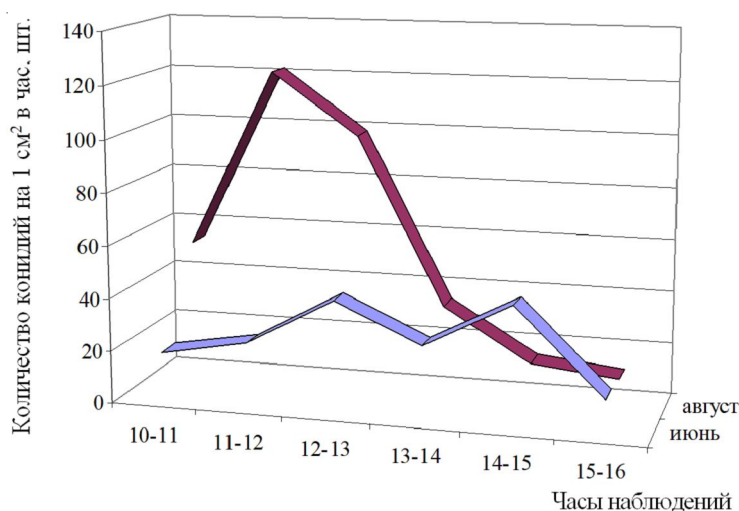


Рис. 5. Динамика лета конидий мучнистой росы дуба в течение дня

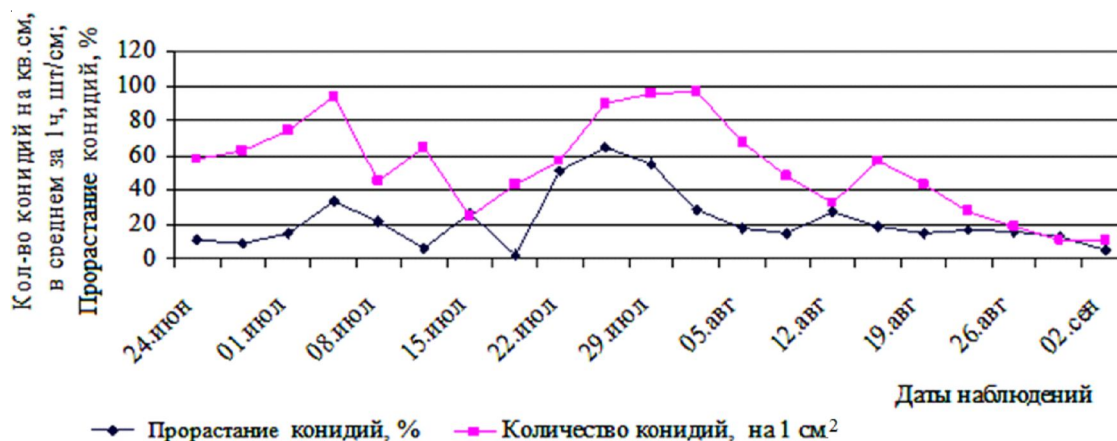


Рис. 6. Сезонная динамика лета конидий *Erysiphe alphitoides* и их прорастания

несуточной температуры. В графике рассеивания и лета конидий на протяжении сезона вегетации дуба проявилось несколько пиков, которые, сменяя друг друга, наблюдались с интервалом в 6–10 суток, что четко совпадает с образованием новых генераций конидий.

Наши наблюдения показали, что жизнеспособность конидий в течение сезона изменяется и проявляется в трех пиках. Первый пик наблюдается в начале лета спор, причем конидии из этой генерации имели наиболее высокую жизнеспособность и активно прорастали, по сравнению со следующими генерациями. Второй пик наблюдался в середине сезона и последний пришелся на середину августа. Таким образом, сезонное развитие конидий *Erysiphe alphitoides* определяется сочетанием термического режима и условия увлажнения вегетационного периода.

Для насаждений дуба засушливой зоны Волгоградской области была разработана прогностическая модель краткосрочного метеобиологического прогноза (табл. 1). С помощью регрессионного анализа были составлены две прогностические модели, с помощью которых можно определить дату появления мучнистой росы на втором приросте дуба (табл. 2).

С помощью первой модели (1) можно выявить дату первичной обработки деревьев за пятьдесят пять суток, заблаговременно, которую можно откорректировать срок за десять дней. Проверка адекватности моделей посредством их верификации показала высо-

кую степень сходимости расчетных и практических данных. Доверительные границы уравнений позволяют дать прогноз удовлетворительной точности. Проверка адекватности формул сделана посредством критерия Фишера. Формула считается адекватной, если рассчитанный критерий Фишера превышает значение табличного критерия при данном количестве наблюдений.

Заключение

С помощью регрессионного анализа для насаждений дуба засушливой зоны Волгоградской области разработана прогностическая модель краткосрочного метеобиологического прогноза мучнистой росы, что позволило через динамику разлета конидий (спор) установить даты проявления болезни и сроки обработки растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гниненко, Ю. И. Мучнистая роса дуба – важный фактор в процессе естественного возобновления дубрав / Ю. И. Гниненко, А. Д. Шакирова // Материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов, посвящ. 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова : сб. ст., г. Москва, 6–8 июня 2022 года. Т. 1. – М. : Изд-во РГАУ – МСХА, 2022. – С. 26–30.
2. Гречкин, В. П. Лесопатологическая характеристика лесов СССР по отдельным природно-гео-

Таблица 1
Основные фазы развития дуба и появления мучнистой росы и интервалы между ними

Фенодаты (2021 г.)				Интервалы		
начало развития приростов дуба		появление мучнистой росы на 2-м приросте		1–3	2–3	3–4
весенний (0)	летний (2)	первые признаки (3)	на большинстве деревьев (4)			
49	86	98	112	49	12	14

Таблица 2

Проверка моделей прогноза развития *Erysiphe alphitoides*

Уравнения прогноза	Критерий Фишера		Средняя ошибка аппроксимации	Фенодаты появления мучнистой росы		
	рассчитанный	табличный		доверительный интервал	ожидаемая	фактическая
1) $y = 56,64 + 0,86 \times 49$	13,09	4,96	1,62	94–105	99	98
2) $y = 14,68 + 0,99 \times 86$	34,4	4,2	1,96	100–114	100	112

графическим зонам. В 3 т. Т. 2 / В. П. Гречкин. – Пушкино : Всерос. науч.-исслед. ин-т лесоводства и механизации лес. хоз-ва, 2020. – 156 с.

3. Емельянова, О. Ю. Фенологические наблюдения как основа формирования базы данных феноспектров древесных растений / О. Ю. Емельянова, М. Ф. Цой, Л. И. Масалова // Овощи России. – 2020. – № 6. – С. 77–84. – DOI: 10.18619/2072-9146-2020-6-77-84

4. Зайцев, Г. Н. Фенология древесных растений / Г. Н. Зайцев. – М. : Наука, 1981. – 120 с.

5. Колмукиди, С. В. Комплексная оценка патологической устойчивости древесных видов на основе мониторинга их состояния в защитных лесных насаждениях / С. В. Колмукиди // Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 1–4 октября 2019 г. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2019. – С. 62–67.

6. Погода и климат : справ.-информ. портал. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php/>. – Загл. с экрана.

7. Полякова, Л. В. Значение вторичных метаболитов в формировании устойчивости к мучнистой росе деревьев 16-летних культур дуба черешчатого / Л. В. Полякова, В. И. Литвиненко // Лесоведение. – 2019. – № 2. – С. 128–137. – DOI: 10.1134/S0024114819010108

8. Попова, А. А. Распространение мучнистой росы в городских и пригородных насаждениях дуба черешчатого *Quercus robur* L. (*Fagaceae*) в Воронеже / А. А. Попова, В. Т. Попова // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева) : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, г. Санкт-Петербург, 24–27 ноября 2020 года. – СПб.: Санкт-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С.М. Кирова, 2020. – С. 265–266.

9. Уткина, И. А. Исследования фенологических форм дуба черешчатого / И. А. Уткина, В. В. Рубцов // Лесоведение. – 2016. – № 6. – С. 466–475.

10. Ширнина, Л. В. Мучнистая роса дуба и способы борьбы с ней : обзор / Л. В. Ширнина. – М. : ВНИИЦлесресурс. – 1997. – 32 с.

11. Ширнина, Л. В. Вредоносность возбудителя мучнистой росы дуба черешчатого и возможности ее ограничения / Л. В. Ширнина // Проблемы лесной фитопатологии и микологии : материалы XI Междунар. конф., Петрозаводск, 10–14 октября 2022 года. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2022. – С. 114–115.

12. González-Rodríguez, H. Phenology of Woody Species: a Review / H. González-Rodríguez, R. Maiti, N. C. Sarkar // International Journal of Bio-Resource and Stress Management. – 2014. – Vol. 5. – P. 436. – DOI: 10.5958/0976-4038.2014.00595.8

13. Effect of Irrigation Dose on Powdery Mildew Incidence and Root Biomass of Sessile Oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) / W. Kasprzyk [et al.] // Plants. – 2022. – №11. – Art. 1248. – DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11091248>

14. Rethinking the Natural Regeneration Failure of Pedunculate Oak: The Pathogen Mildew Hypothesis / L. Demeter [et al.] // Biological Conservation. – 2021. – Vol. 253. – Art. 108928. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108928>

15. Tsaralunga, V. The Impact of the Intensity of Selective Sanitary Cutting in Oak Forests on the Defeat of the Pedunculated Oak (*Quercus Robur* L.) Trees by Powdery Mildew / V. Tsaralunga [et al.] // Forestry-2021. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 875. – Art. 012050. – DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012050

REFERENCES

1. Gninenko Yu.I., Shakirova A.D. Muchnistaya rosa duba – vazhnyj faktor v processe estestvennogo vozobnovleniya dubrav [Powdery Mildew of Oak as an Important Factor in the Process of Natural Renewal of Oak Forests]. *Materialy Mezhdunar. nauch. konf. molodyh uchyonyh i specialistov, posvyashch. 135-letiyu so dnya rozhdeniya A.N. Kostyakova: sb. st., g. Moskva, 6–8 iyunya 2022 goda. T. 1* [Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, Dedicated to the 135th Anniversary of the Birth of A.N. Kostyakova. Collection of Articles, Moscow, June 6–8, 2022. Vol. 1]. Moscow, Izd-vo RGTU – MSKHA, 2022, pp. 26-30.

2. Grechkin V.P. *Lesopatologicheskaya harakteristika lesov SSSR po otdelnym prirodno-geograficheskim zonam. v 3 t. T. 2* [Forest Pathological Characteristics of the Forests of the USSR for Individual Natural-Geographical Zones. In 3 Vols. Vol. 2]. Pushkino, Vseros. nauch.-issled. in-t lesovodstva i mekhanizatsii lesnogo khozyaystva, 2020. 156 p.

3. Emelyanova O.Yu., Tsoi M.F., Masalova L.I. Fenologicheskie nablyudeniya kak osnova formirovaniya bazy dannyh fenospektrov drevesnyh rastenij [Phenological Observations as the Basis for the Formation of a Database of Phenospectra of Woody Plants]. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia], 2020, no. 6, pp. 77-84. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-6-77-84

4. Zaitsev G.N. *Fenologiya drevesnyh rastenij* [Phenology of Woody Plants]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 120 p.

5. Kolmukidi S.V. Kompleksnaya ocenka patologicheskoy ustojchivosti drevesnyh vidov na

osnove monitoringa ih sostoyaniya v zashchitnyh lesnyh nasazhdeniyah [Comprehensive Assessment of the Pathological Resistance of Tree Species Based on Monitoring Their Condition in Protective Forest Plantations]. *Antropogennaya transformaciya geoprostranstva: priroda, hozyajstvo, obshchestvo: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Volgograd, 1–4 oktyabrya 2019 g.* [Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society. Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference, Volgograd, October 1–4, 2019]. Volgograd, Izd-vo VolGU, 2019, pp. 62–67.

6. *Pogoda i klimat: sprav.-inform. portal* [Weather and Climate: Reference and Information Portal. Website]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php/>

7. Polyakova L.V., Litvinenko V.I. Znachenie vtorichnyh metabolitov v formirovanii ustojchivosti k muchnistoj rose derevyev 16-letnih kultur duba chereshchatogo [Significance of Secondary Metabolites in the Formation of Resistance to Powdery Mildew of 16-Year-Old Oak Crops]. *Lesovedenie* [Forest Science], 2019, no. 2, pp. 128–137. DOI: 10.1134/S0024114819010108

8. Popova A.A., Popova V.T. Rasprostranenie muchnistoj rosy v gorodskih i prigorodnyh nasazhdeniyah duba chereshchatogo *Quercus robur* L. (Fagaceae) v Voronezhe [Distribution of Powdery Mildew in Urban and Suburban Plantations of English Oak *Quercus robur* L. (Fagaceae) in Voronezh]. *Dendrobiontnye bespozvonochnye zhivotnye i griby i ih rol v lesnyh ekosistemah (XI Chteniya pamyati O.A. Kataeva): materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, g. Sankt-Peterburg, 24–27 noyabrya 2020 g.* [Dendrobiont Invertebrate Animals and Fungi and Their Role in Forest Ecosystems (11th Readings in Memory of O.A. Kataev). Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation, Saint Petersburg, November 24–27, 2020]. Saint Petersburg, Sankt-Peterb. gos. lesotekhn. un-t im. S.M. Kirova, 2020, pp. 265–266.

9. Utkina I.A., Rubtsov V.V. Issledovaniya fenologicheskikh form duba chereshchatogo [Studies of Phenological Forms of English Oak]. *Lesovedenie* [Forest Science], 2016, no. 6, pp. 466–475.

10. Shirnina L.V. *Muchnistaya rosa duba i sposoby borby s nej: Obzor* [Powdery Mildew of Oak and How to Deal with It. Overview]. Moscow, VNIITSlesresurs, 1997. 32 p.

11. Shirnina L.V. Vredonosnost vzbuditelya muchnistoj rosy duba chereshchatogo i vozmozhnosti eyo ogranicheniya [Harmfulness of the Powdery Mildew Pathogen of English Oak and the Possibility of Its Control]. *Problemy lesnoj fitopatologii i mikologii: materialy XI Mezhdunar. konf., Petrozavodsk, 10–14 oktyabrya 2022 g.* [Problems of Forest Phytopathology and Mycology. Proceedings of the 11th International Conference, Petrozavodsk, October 10–14, 2022]. Petrozavodsk, Karel. nauch. tsentr Rossiyskoy acad. nauk, 2022, pp. 114–115.

12. González-Rodríguez H., Maiti R., Sarker N.C. Phenology of Woody Species: A Review. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 2014, vol. 5, p. 436. DOI: 10.5958/0976-4038.2014.00595.8

13. Kasprzyk W., Baranowska M., Korzeniewicz R., Behnke-Borowczyk J., Kowalkowski W. Effect of Irrigation Dose on Powdery Mildew Incidence and Root Biomass of Sessile Oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Plants*, 2022, no. 11, art. 1248. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11091248>

14. Demeter L., Molnár Á.P., Öllerer K., Csóka G., Kiš A., Vadász C., Horváth F., Molnár Z. Rethinking the Natural Regeneration Failure of Pedunculate Oak: The Pathogen Mildew Hypothesis. *Biological Conservation*, 2021, vol. 253, art. 108928. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108928>

15. Tsaralunga V., Tsaralunga A., Yakovenko N., Gridnev Yu. The Impact of the Intensity of Selective Sanitary Cutting in Oak Forests on the Defeat of the Pedunculated Oak (*Quercus Robur* L.) Trees by Powdery Mildew. *Forestry – 2021. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 875, art. 012050. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012050

Information About the Author

Svetlana V. Kolmukidi, Candidate of Sciences (Agriculture), Associate Professor, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, kolmukidi@volsu.ru

Информация об авторе

Светлана Валерьевна Колмукиди, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, kolmukidi@volsu.ru



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.2>

UDC 502.52:630*114.35

LBC 28.080.69

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE RATE OF DECOMPOSITION OF FOREST LITTER

Tabriz M. Tahmazov

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

Abstract. The decomposition of the litter changes its indicators under the influence of climatic changes. Taking into account the impact of this process on the global carbon cycle, the decomposition process is a feedback affecting future climate change. The special role of the litter decomposition process in the overall carbon cycle on a regional and global scale determines the importance of studying the regularity of the influence of climatic parameters on the rate of decomposition of forest litter. Known approaches to solving this problem are based on a probabilistic analysis of the relationship between climatic factors. It is indicated that the task of determining the relationship between temperature and soil moisture when assessing their joint impact on the decomposition rate of forest litter can be formulated in a slightly different way. From the point of view of the ecology of the forest ecosystem, the following statement of the problem is no less interesting: under what relationship of these factors can the decomposition rate reach extreme values? The author proposes a representation of the problem being solved in the form of an extreme problem, taking into account some restrictive conditions imposed on the desired function of the relationship between temperature and soil moisture. The proposed new approach to solving the problem of the influence of climatic factors such as soil temperature and humidity, which consists of calculating the conditions leading to an extremum of the decomposition rate of forest litter, allows us to determine the function of the relationship between these factors and the point at which the decomposition rate reaches a peak. The solution to the problem allowed us to calculate the optimal type of the studied relationship, at which the rate of decomposition of the forest litter reaches an extreme. The results of the study can be used in modeling the processes of the influence of climatic factors on the overall carbon cycle of the forest ecosystem.

Key words: forest litter, climatic factor, decomposition, forest ecosystem, extreme task.

Citation. Tahmazov T.M. Investigation of the Influence of Climatic Factors on the Rate of Decomposition of Forest Litter. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 15-20. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.2>

УДК 502.52:630*114.35

ББК 28.080.69

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ

Табриз Мубариз оглы Тахмазов

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджан

Аннотация. Разложение подстилки меняет свои показатели под воздействием климатических изменений. С учетом влияния этого процесса на глобальный углеродный цикл процесс декомпозиции представляет собой обратную связь, воздействующую на будущие климатические изменения. Особая роль процесса декомпозиции подстилки в общем углеродном цикле в региональном и глобальном масштабах определяет важность исследования закономерности влияния климатических параметров на скорость разложения лесной подстилки. Известные подходы к решению данной задачи базируются на вероятностном анализе взаимосвязи климатических факторов. Указывается, что задача определения взаимосвязи температуры и влажности почвы при оценке их совместного воздействия на скорость декомпозиции лесной подстилки может быть сформулирована в несколько иной плоскости. С точки зрения экологии лесной экосистемы не менее интересной является такая постановка задачи: при каком взаимоотношении указанных факторов скорость деком-

позиции может достигать экстремальных величин? Автором предлагается представление решаемого вопроса в виде экстремальной задачи с учетом некоторого ограничительного условия налагаемого на искомую функцию взаимосвязи температуры и влажности почвы. Предлагаемый новый подход к решению задачи влияния таких климатических факторов, как температура и влажность почвы, заключающийся в формировании задачи вычисления условий, приводящих к экстремуму скорости декомпозиции лесной подстилки, позволяет определить функцию связи между указанными факторами, при которой скорость декомпозиции достигает максимума. Решение задачи позволило вычислить оптимальный вид исследуемой взаимосвязи, при которой скорость разложения лесной подстилки достигает экстремума. Результаты исследования могут быть использованы при моделировании процессов влияния климатических факторов на общий углеродный цикл по части лесной экосистемы.

Ключевые слова: лесная подстилка, климатический фактор, разложение, лесная экосистема, экстремальная задача.

Цитирование. Тахмазов Т. М. Исследование влияния климатических факторов на скорость разложения лесной подстилки // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 15–20. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.2>

Введение

Разложение лесной подстилки играет важную роль в общем цикле возникновения питательных веществ, а также накопления углерода в лесной среде. Этот процесс поддерживает природную динамику лесной экосистемы, играя важную роль в глобальном балансе CO_2 [2; 14; 15]. Связь между климатическими факторами и показателями декомпозиции лесной подстилки была исследована в работах [3; 5; 8]. При этом, согласно [8], климатические факторы воздействуют на процессы разложения подстилки как прямо, так и косвенно. С одной стороны, климат воздействует на бактерии и микроорганизмы, с другой стороны, приводит к качественным и количественным изменениям самой подстилки. В локальном масштабе факторами, воздействующими на процесс разложения подстилки являются влажность почвы, наличие питательных веществ в почве, озон, структура и содержание листьев, наличие осадков. Согласно [6; 13], скорость декомпозиции подстилки экспоненциально увеличивается с ростом температура почвы вплоть до некоторой оптимальной величины.

В общем случае, разложение подстилки меняет свои показатели под воздействием климатических изменений. Следовательно, с учетом влияния этого процесса на глобальный углеродный цикл, процесс декомпозиции представляет собой обратную связь, воздействующую на будущие климатические изменения.

Во многих работах, посвященных процессам декомпозиции лесной подстилки, воздействующие климатические факторы рассматриваются в качестве неизменных величин [4; 10]. Вместе с тем микроклиматические факторы достаточно изменчивы, что должно быть учтено при моделировании процессов разложения лесной подстилки.

В качестве примера рассмотрим, как учитываются климатические факторы в наиболее развитой модели декомпозиции подстилки, предложенной в работе [9]. Согласно этой модели, исходное органическое вещество (M_0) состоит из двух составляющих: лигнина (M_1) и целлюлозы (M_2). Следовательно,

$$M_0 = M_1 \cdot (1 - \omega) + M_2 \cdot \omega, \quad (1)$$

где M – долевой коэффициент.

При этом процесс декомпозиции лесной подстилки отображается следующей формулой:

$$M(t) = M_1 \cdot \exp(-k_1 \cdot CDI \cdot t) + M_2 \cdot \exp(-k_2 \cdot CDI \cdot t), \quad (2)$$

где $M(t)$ – количество биомассы в лесной подстилке; $M_1 = M_0(1 - \omega)$; $M_2 = M_0\omega$; k_1, k_2 – соответствующие скорости декомпозиции; CDI – климатический индекс декомпозиции.

Согласно [9], скорости декомпозиции k_1 и k_2 увеличиваются с ростом температуры и влажности.

$$k_1, k_2 = f(RWC) \cdot f(t), \quad (3)$$

где $f(RWC)$ – показатель, зависящий от влажности почвы; $f(t)$ – показатель, зависящий от температуры почвы.

В целом, как отмечается в самой работе [9], взаимосвязь температуры и влажности имеет достаточно сложный характер, тем более, что в указанной модели информация о влажности берется путем оценки достаточно общего вегетационного индекса – нормализованного разностного дифференциального индекса $NDVI$, склонного к насыщению при достаточно высокой степени развития растительности, когда другой, не менее распространенный растительный индекс-индекс листовой площади (LAI) показывает достаточно высокие значения.

Указанные недостатки модели, предложенной в работе [9] диктует необходимость разработки более адекватной модели, в которой можно было бы учесть сложную связь между такими главенствующими факторами как температура и влажность почвы.

Вместе с тем задача определения взаимосвязи температуры и влажности почвы при оценке их совместного воздействия на скорость декомпозиции лесной подстилки может быть сформулирована в несколько иной плоскости. Для исследователей экологии лесной экосистемы может стать не менее интересной такая постановка задачи: при каком соотношении указанных факторов скорость декомпозиции может достигать экстремальных величин? Ниже нами предлагается методика, позволяющая решить указанный вопрос.

Результаты и их обсуждения

Следует отметить, что влияние температуры и влажности на процессы декомпозиции исследуется в течение нескольких десятков лет [1; 7].

Вместе с тем с учетом сформулированного выше подхода к решению задачи влияния климатических факторов на скорость декомпозиции наиболее подходящей известной моделью является модель, предложенная в работе [12]. Согласно этой работе, скорость декомпозиции лесной подстилки может быть вычислена по следующей формуле:

$$k = \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2) (1 - \exp(\gamma P_0)), \quad (4)$$

где T – температура (в Цельсиях); P_0 – годовая величина осадков; $\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$ – параметры модели.

В работе [11], где используется модель (4), взаимосвязь температуры и осадков учитывается путем проведения вероятностного анализа на основе трех различных предположений о структуре модели. Отметим, что при рассмотрении проблемы влияния указанных климатических факторов в плане решения экстремальной задачи достижения наивысочайшей скорости декомпозиции достаточно принять единственное предположение, ограничивающее возможности выбора функции связи между T и P . В качестве такого целевого функционала можно рассмотреть следующее выражение:

$$F_1 = \int_0^{T_{\max}} \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2) (1 - \exp(\gamma P)) dT. \quad (5)$$

При этом подразумеваем выполнение следующих условий (предположений):

1. Существует некоторая оптимальная функция

$$P = f(T)_{\text{opt}}, \quad (6)$$

при которой функционал F_1 достигает максимальной величины.

2. Искомая оптимальная функция удовлетворяет следующему ограничительному условию

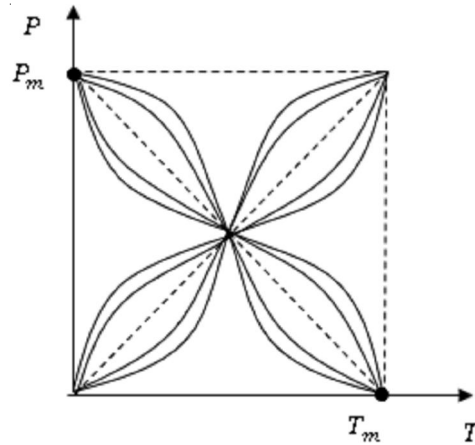
$$F_2 = \int_0^{T_{\max}} P(T) dT = C_1 = \text{const}. \quad (7)$$

Варианты функций $P(T)$ удовлетворяющих условию (7) приведены на рисунке.

С учетом (5) и (7) составим задачу безусловной вариационной оптимизации, целевой функционал F_0 которой имеет вид

$$F_0 = \int_0^{T_{\max}} \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2) (1 - \exp(\gamma P)) dT + \lambda \left[\int_0^{T_{\max}} P(T) dT - C \right], \quad (8)$$

где λ – множитель Лагранжа.



Примеры функций $P(T)$, удовлетворяющих условию (7)

Решение оптимизационной задачи (8) согласно методу Эйлера должно удовлетворить условию:

$$\frac{d\{\alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)(1 - \exp(\gamma P(T))) + \lambda P(T)\}}{dP(T)} = 0. \quad (9)$$

Из условия (9) получаем:

$$\alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)(-\gamma \exp(\gamma P(T))) + \lambda = 0. \quad (10)$$

Из выражения (10) получаем:

$$\gamma \exp(\gamma P(T)) = \frac{\lambda}{(\gamma \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2))}. \quad (11)$$

Из (11) получим:

$$P(T) = \frac{1}{\gamma} \ln \frac{\lambda}{\gamma \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)}. \quad (12)$$

С учетом $\lambda = const$ можно заключить, что при наличии обратного логарифмической связи между $P(T)$ скорость декомпозиции лесной подстилки достигает экстремума.

Вычислим множитель Лагранжа. Из (12) находим:

$$P(T) = \frac{1}{\gamma} [\ln \lambda - \ln[\gamma \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)]]. \quad (13)$$

Из (7) и (13) находим:

$$\int_0^{T_m} \frac{1}{\gamma} [\ln \lambda - \ln[\gamma \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)]] dT = 0. \quad (14)$$

Из (14) получаем:

$$\frac{T_m \cdot \ln \gamma}{\gamma} = C - \frac{1}{\gamma} \int_0^{T_m} \ln[\gamma \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)] dT. \quad (15)$$

Из (15) окончательно находим:

$$\gamma = \exp\left[\frac{\gamma}{T_m} \left[C - \frac{1}{\gamma} \int_0^{T_m} \ln[\gamma \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)] dT\right]\right]. \quad (16)$$

Чтобы определить тип экстремума целевого (16) функционала (8) достаточно вычислить вторую производную интегранта в (8) по $P(T)$. Имеем:

$$\frac{d^2\{\alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)(1 - \exp(\gamma P(T))) + \lambda P(T)\}}{dP(T)^2} = \alpha \exp(\beta_1 T + \beta_2 T^2)(-\gamma^2 \exp(\gamma P(T))). \quad (17)$$

Так как вычисленная вторая производная всегда является отрицательной величиной, то целевой функционал (8) при решении (12), (16) достигает максимума, то есть разложение лесной подстилки происходит с максимально возможной скоростью.

Таким образом, предлагаемый новый подход к решению давно исследуемой задачи влияния таких климатических факторов, как температура и влажность почвы, заключающийся в формировании задачи вычисления условий, приводящих к экстремуму скорости декомпозиции лесной подстилки, позволяет определить функцию связи между указанными факторами, при которой скорость декомпозиции достигает максимума. Полученные в настоящей статье результаты могут быть полезными при оценке предельных экологических показателей лесной среды, которые реально ожидаемы при соблюдении некоторой вы-

численной взаимосвязи рассмотренных климатических показателей.

Заключение

Важность исследования закономерности влияния климатических параметров на скорость разложения лесной подстилки объясняется особой ролью процессом декомпозиции подстилки в общем углеродном цикле в региональном и глобальном масштабе. Существующие подходы к решению данной задачи в основном основываются на вероятностном анализе взаимосвязи рассматриваемых климатических факторов. В отличие от указанных модельных исследований, автором предлагается представление решаемого вопроса в виде экстремальной задачи с учетом некоторого ограничительного условия налагаемого на искомую функцию взаимосвязи между температурой и влажностью почвы. Решение составленной вариационной задачи позволило вычислить оптимальный вид указанной взаимосвязи, при которой скорость разложения лесной подстилки достигает максимума. Полученное решение может быть использовано при моделировании процессов влияния климатических факторов на общий углеродный цикл по части лесной экосистемы.

REFERENCES

1. Adair E.C., Parton W.J., Del Grosso S.J. et al. Simple Three-Pool Model Accurately Describes Patterns of Long-Term Litter Decomposition in Diverse Climates. *Global Change Biology*, 2008, no. 14 (11), pp. 2636-2660. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01674.x>
2. Bradford M.A., Wieder W.R., Bonan G.B. et al. Managing Uncertainty in Soil Carbon Feedbacks to Climate Change. *Nature Clim Change*, 2016, no. 6, pp. 751-758. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3071>
3. Cai A., Liang G., Yang W. et al. Patterns and Driving Factors of Litter Decomposition Across Chinese Terrestrial Ecosystems. *J. Clean. Prod.*, 2021, vol. 278, art. 123964. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123964>
4. Cornwell W.K., Cornelissen J.H.C., Amatangelo K. et al. Plant Species Traits Are the Predominant Control on Litter Decomposition Rates Within Biomes Worldwide. *Ecol. Lett.*, 2008, vol. 11, pp. 1065-1071. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x>
5. Froseth R.B., Bleken M.A. Effect of Low Temperature and Soil Type on the Decomposition Rate of Soil Organic Carbon and Clover Leaves and Related Priming Effect. *Soil Biol. Biochem.*, 2015, vol. 80, pp. 156-166. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.004>
6. He X., Lin Y., Han G. et al. The Effect of Temperature on Decomposition of Leaf Litter from Two Tropical Forests by a Microcosm Experiment. *Eur. J. Soil Biol.*, 2010, vol. 46, pp. 200-207. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.02.001>
7. Liski J., Ilvesniemi H., Makela A., Starr M. Model Analysis of the Effects of Soil Age Fires and Harvesting on the Carbon Storage of Boreal Forest Soils. *European Journal of Soil Science*, 1998, no. 49, pp. 407-416. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2389.1998.4930407.x>
8. Petraglia A., Cacciatori C., Chelli S. et al. Litter Decomposition Effects of Temperature Driven by Soil Moisture and Vegetation Type. *Plant Soil*, 2019, vol. 435, pp. 187-200. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-018-3889-x>
9. Ranucci M., Perez M., Lombardi D., Vitale M. Is the Current Modelling of Litter Decomposition Rates Reliable Under Limiting Environmental Conditions Induced by Ongoing Climate Change? *Soil Syst.*, 2022, vol. 6, p. 81. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems6040081>
10. Saccone P., Morin S., Bapist F. et al. The Effects of Snowpack Properties and Plant Strategies on Litter Decomposition During Winter in Supalpine Meadows. *Plant Soil*, 2013, vol. 363, pp. 215-229.
11. Tuomi M., Thum T., Jarvinen H. et al. Leaf Litter Decomposition-Estimates of Global Variability Based on Yasso07 Model. *Ecological Modelling*, 2009, vol. 220, pp. 3362-3371. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.05.016>
12. Tuomi M., Vahnaala P., Karhu K. et al. Heterotrophic Soil Respiration-Comparison of Different Models Describing Its Temperature Dependence. *Ecological Modelling*, 2008, vol. 211, pp. 182-190. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.09.003>
13. Van Meeteren M.J.M., Tietema A., Westerveld J.W. Regulation of Microbial Carbon, Nitrogen and Phosphorus Transformations by Temperature and Moisture During Decomposition of Calluna Vulgaris Litter. *Biol. Fertil. Soils*, 2007, vol. 44, pp. 103-112. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-007-0184-z>
14. Zhang M., Cheng X., Geng Q. et al. Leaf Litter Traits Predominantly Control Litter Decomposition in Streams Worldwide. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2019, vol. 28, pp. 1469-1486. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/geb.12966>
15. Zhang T., Luo Y., Chen H.Y.H., Ruan H. Responses of Litter Decomposition and Nutrient Release to N Addition: A Meta-Analysis of Terrestrial Ecosystems. *Appl. Soil Ecol.*, 2018, vol. 128, pp. 35-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.04.004>

Information About the Author

Tabriz M. Tahmazov, Doctoral Student, National Aerospace Agency, Akhundova Suleymana Sani St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan, thmzovtbriz@gmail.com, thmzov66@gmail.com

Информация об авторе

Табриз Мубариз оглы Тахмазов, докторант, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. Ахундова Сулеймана Сани, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджан, thmzovtbriz@gmail.com, thmzov66@gmail.com



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.3>

UDC 57.033:574.42

LBC 28.534.2

A SYSTEMATIC APPROACH TO THE MODEL OF TREE GROWTH IN THE FOREST BASED ON THE BERTALANFFY EQUATION

Tofik I. Suleymanov

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

Hikmet H. Asadov

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

Tabriz M. Tahmazov

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

Abstract. A universal, systematic approach has led to the identification of such indicators as the speed of the process of death and the development of forests. These forest indicators naturally depend on the type of trees in the forest, their state of health, as well as the degree of environmental impact. In forestry, there is a single generalized model of the growth and death of trees in the form of a growth model. The development model proposed by Von Bertalanffy is also known in relation to any growth indicator, mainly the diameter of the tree. The article is devoted to the issues of a systematic approach to the process of tree growth using the Bertalanffy growth model. The aim of the study was to find a relationship between the diameter and height of trees at which the target functional, compiled on the basis of the Bertalanffy model, reaches a maximum with some improvement. The improvement of the model is carried out as follows: a generalized indicator P , defined as the product of the diameter and height of the tree, is introduced for consideration. In general, this indicator determines the longitudinal section of trees and may be useful in forestry. On the other hand, a similar indicator, the product of $D^2 \cdot H$, is widely used in calculating biomass in trees, which indicates that the introduced indicator is sufficiently informative. Some restrictive conditions are assumed for the desired function of the relationship between the diameter and height of trees. To find the optimal ratio between these two indicators, a target function containing the desired function is formed on the basis of the Bertalanffy model. The problem of unconditional variational optimization is formulated and solved, as a result of which the optimal type of the desired function is calculated at which the target functional reaches a maximum.

Key words: Bertalanffy model, optimization, system approach, cross-sectional diameter, tree height.

Citation. Suleymanov T.I., Asadov H.H., Tahmazov T.M. A Systematic Approach to the Model of Tree Growth in the Forest Based on the Bertalanffy Equation. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 21-26. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.3>

УДК 57.033:574.42

ББК 28.534.2

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИ РОСТА ДЕРЕВЬЕВ В ЛЕСУ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ БЕРТАЛАНФФИ

Тофиг Ибрагим оглы Сулейманов

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджан

Хикмет Гамид оглы Асадов

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджан

Табриз Мубариз оглы Тахмазов

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджан

Аннотация. Универсальный системный подход привел к выделению таких показателей, как скорости процесса гибели и развития лесов. Указанные показатели леса естественным образом зависят от типа деревьев в лесу, состояния их здоровья, а также от степени воздействия окружающей среды. В лесоведении существует единая обобщенная модель роста и гибели деревьев в виде модели роста. Также известна модель развития предложенная Фон Бергаланффи, применительно к какому-либо показателю роста, преимущественно к диаметру дерева. Статья посвящена вопросам системного подхода к процессу роста деревьев с применением модели роста Бергаланффи. Целью исследования являлся нахождение такой взаимосвязи между диаметром и высотой деревьев, при которой целевой функционал, составленный на базе модели Бергаланффи, с некоторым усовершенствованием достигает максимума. Усовершенствование модели осуществлено следующим образом. Введено на рассмотрение обобщенный показатель P , определяемый в качестве произведения диаметра и высоты дерева. В целом этот показатель определяет продольное сечение деревьев и может оказаться полезным в лесотехническом хозяйстве. С другой стороны, похожий показатель-произведение $D^2 \cdot H$ широко используется при вычислениях биомассы в деревьях, что указывает достаточную информативность введенного показателя, принимается некоторое ограничительное условия на искомую функцию взаимосвязи диаметра и высоты деревьев. Для нахождения оптимального соотношения между этими двумя показателями на базе модели Бергаланффи сформирован целевой функционал, содержащий искомую функцию. Составлена и решена задача безусловной вариационной оптимизации, в результате чего вычислена оптимальный вид искомой функции, при которой целевой функционал достигает максимума.

Ключевые слова: модель Бергаланффи, оптимизация, системный подход, диаметр поперечного сечения, высота дерева.

Цитирование. Сулейманов Т. И., Асадов Х. Г., Тахмазов Т. М. Системный подход к модели роста деревьев в лесу на основе уравнения Бергаланффи // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 21–26. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.3>

Введение. Понятие системы прочно вошло во все сферы человеческой деятельности, в том числе в науку. На данный момент система не только выступает теоретическим аспектом, но и становится главным элементом в некоторых областях прикладной науки. Системный подход к процессу развития лесов привело к выделению таких показателей развития лесов как скорости процесса гибели и развития (роста) лесов. Указанные показатели леса естественным образом зависят от типа деревьев в лесу, состояния их здоровья и воздействующей окружающей среды [1; 5; 6; 8]. Вместе с тем существует единая обобщенная модель роста и гибели деревьев в виде [2]:

$$m(D) = \psi \cdot g(D) - g'(D), \quad (1)$$

где $g'(D) = \frac{dg(D)}{dD}$; $g(D)$ – функция роста диаметра дерева; $m(D)$ – функция гибели диаметра дерева; D – диаметр дерева.

Также существует модель роста, предложенная Фон Бергаланффи, применительно к какому-либо показателю развития у [10]. Применительно к диаметру дерева модель Фон Бергаланффи имеет вид:

$$\frac{dD}{dt} = \eta D^m - kD, \quad (2)$$

где t – возраст дерева; n, k, m – параметры модели, постоянные величины.

Вместе с тем диаметр деревьев не является единственным главенствующим параметром, показывающим степень развития деревьев. Не менее важным аллометрическим показателем процесса роста деревьев является высота деревьев. При этом между показателями диаметра деревьев и их высотой существует определенная связь.

Как отмечается в [7], традиционно указанная взаимосвязь моделируется линейными уравнениями. В качестве примера на рисунке 1, a, b приведены скаттерограммы, которые могут быть аппроксимированы линейными и нелинейными регрессионными уравнениями.

Отметим во многих работах (см. например [4; 7]) приводятся сложные экспоненциальные регрессионные уравнения зависимости $h = f(D)$. Вместе с тем существуют работы, в которых исследована обратная зависимость, то есть регрессионная связь:

$$D = \varphi(h). \quad (3)$$

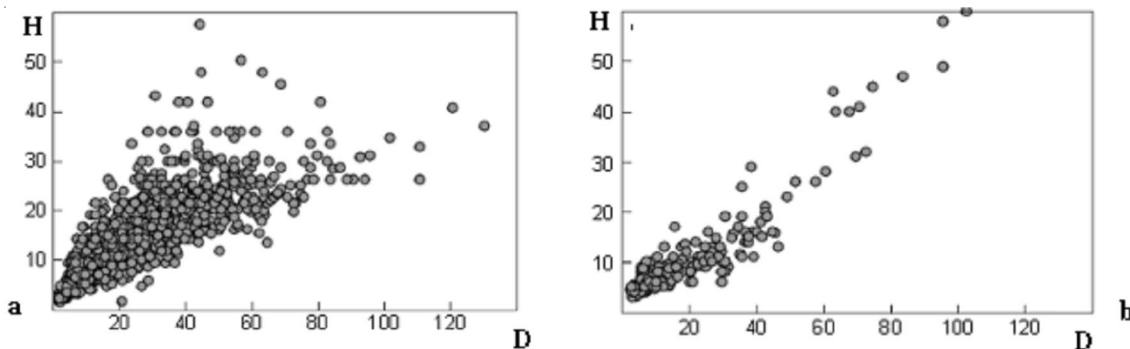


Рис. 1. Скатерограммы статической зависимости h от D :

a – аппроксимированные нелинейными регрессионными уравнениями;

b – аппроксимированные нелинейными регрессионными уравнениями

Примечание. Источник: [7].

Например, согласно работе [3], такая статистическая связь может быть охарактеризована квазилинейным регрессионным уравнением (рис. 2).

С учетом вышеизложенного в настоящей статье ставится задача вычисления наилучшей связи между указанными параметрами с привлечением модели роста Л.Ф. Бергалаффи.

Материалы и методы

Введем на рассмотрение обобщенный показатель P , определяемый как

$$P = D \cdot H. \quad (4)$$

В целом показатель (4) определяет продольное сечение деревьев и может оказаться полезным в лесотехническом хозяйстве. С другой стороны, произведение $D^2 \cdot H$ ши-

роко используется при вычислениях биомассы в деревьях, что указывает достаточную информативность введенного показателя P . В этом случае для показателя P можно написать модель Бергалаффи:

$$\frac{dP}{dt} = \eta P^m - kP. \quad (5)$$

Вместе с тем с учетом (4) имеем:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dD}{dt} \cdot H + D \cdot \frac{dH}{dt}. \quad (6)$$

Эквивалентная степень важности показателей P, D, H приводит к мысли о том, что процесс роста может быть исследован с использованием составляющих $\left(\frac{dD}{dt}\right) \cdot H$ или $\left(\frac{dH}{dt}\right) \cdot D$ взамен $\frac{dP}{dt}$. Далее для определенности выберем первую составляющую, то есть

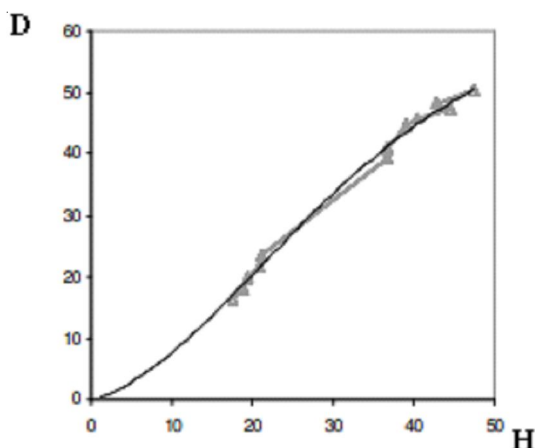


Рис. 2. Квазилинейная регрессионная линия взаимосвязи $D = \varphi(h)$

Примечание. Источник: [3].

$\kappa = \left(\frac{dD}{dt}\right) \cdot H$. В этом случае с учетом (2) и (6) получим:

$$H \cdot \left(\frac{dD}{dt}\right) = H \cdot \eta \cdot D^m - H \cdot kD. \quad (7)$$

Очевидно, что (7) повторяет модель Бер-таланффи (2). Далее авторами предлагается следующее усовершенствование этой модели:

1. Учитываем связь между D и H в виде функции:

$$D = D(H).$$

2. К выбору функции $D(H)$ налагается некоторое ограничительное условие, позволяющее несколько сузить пространство непрерывных дважды дифференцируемых функций.

Указанное ограничение имеет вид:

$$\int_0^{H_{\max}} D(H) dH = C; C = \text{const}. \quad (8)$$

На основе (7) сформируем функционал оптимизации в виде:

$$\int_0^{H_{\max}} [H\eta D(H)^m - H \cdot kD(H)] dH. \quad (9)$$

С учетом (8) и (9) сформируем полный функционал F безусловной вариационной оптимизации:

$$F = \int_0^{H_{\max}} [H\eta D(H)^m - H \cdot kD(H)] dH + \lambda \left[\int_0^{H_{\max}} D(H) dH - C \right], \quad (10)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Решение задачи (10) в соответствии с методом Эйлера должна удовлетворить следующему условию:

$$\frac{d\{H\eta D(H)^m - H \cdot kD(H) + \lambda D(H)\}}{d[D(H)]} = 0. \quad (11)$$

Из условия (11) получим:

$$mH\eta D(H)^{m-1} - Hk + \lambda = 0. \quad (12)$$

Из (12) получаем:

$$D(H) = \sqrt[m-1]{\frac{Hk - \lambda}{mH\eta}}. \quad (13)$$

Согласно оценкам, приведенным [9], для многих видов деревьев $m \ll 1$. Следовательно, выражение (13) может быть представлено как:

$$D(H) = \left(\frac{mH\eta}{Hk - \lambda}\right)^{\frac{1}{m-1}}. \quad (14)$$

Как видно из выражения (14) рост H в оптимальном случае должен привести к уменьшению D , что вполне соответствует обычным представлениям о процессе роста деревьев.

Результаты и обсуждение

Что касается самого оцениваемого процесса, то есть в данном случае интегральной величины:

$$\varepsilon = \int_0^{H_{\max}} k dH, \quad (15)$$

то эта величина при решении (14) достигает максимума, так как повторная производная (12) по искомой функции оказывается отрицательной величиной. Для вычисления значения множителя Лагранжа λ следует вставить выражение (14) в ограничительное условие (8) и, осуществив интегрирование, вычислить величину λ .

Следует отметить, что факт уменьшения функции роста при увеличении диаметра дерева в гомогенных лесах хорошо известно. В качестве примера на рисунке 3 приведены кривые зависимости количества деревьев от диаметра этих деревьев [2].

Проведенное исследование показало, что принятый общий показатель развития при этом оказывается экстремальной величиной, экстремум которой зависит от типа взаимосвязи диаметра деревьев и параметров модели Фон Берталанффи.

Заключение

Целью исследования являлось нахождение такой взаимосвязи между диаметром и высотой деревьев, при которой целевой функционал, составленный на базе модели Бер-таланффи, с некоторым усовершенствованием

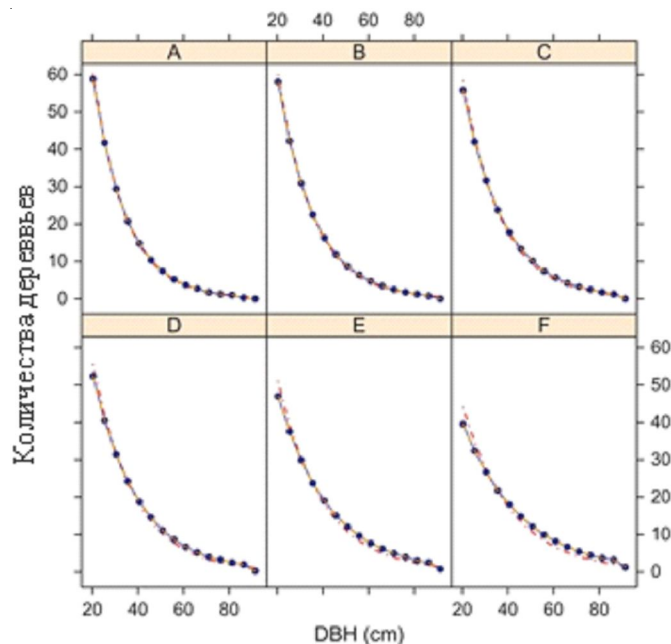


Рис. 3. Кривые зависимости количества деревьев от диаметра этих деревьев

Примечание. Кривые составлены для шести разных лесных участков. Источник: [2].

достигает максимума. Усовершенствование модели Бергаланффи включает:

1. Наложение интегрального ограничительного условия на искомую функцию зависимости диаметра от высоты дерева.
2. Формирование на базе модели Бергаланффи целевого функционала, содержащего искомую функцию.
3. Составление и решение задачи безусловной вариационной оптимизации. Нахождение оптимальной искомой функции.

REFERENCES

1. Crecente-Campo F., Soares P., Tome M., Dieguez-Aranda U. Modelling Annual Individual-Tree Growth and Mortality of Scots Pine with Data Obtained at Irregular Measurement Intervals and Containing Missing Observations. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 260, pp. 1965-1974.
2. Gove J.H. A Demographic Study of the Exponential Distribution Applied to Uneven-Aged Forests. *Forestry*, 2017, vol. 90, pp. 18-31. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw042>
3. Löwe R., Sedmíková M., Natov P., Jankovský M., Hejmanová P., Dvořák J. Differences in Timber Volume Estimates Using Various Algorithms Available in the Control and Information Systems of Harvesters. *Forests*, 2019, no. 10 (5), p. 388. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10050388>

4. Mugasha W.A., Bollandas O.M., Eid T. Relationships Between Diameter and Height of Trees in Natural Tropical Forest in Tanzania, Southern Forests. *Journal of Forest Science*, 2013, no. 75 (4), pp. 221-237. DOI: <http://dx.doi.org/10.2989/20702620.2013.824672>
5. Richardson S.J., Smale M.C., Hurst J.M. et al. Large-Tree Growth and Mortality Rates in Forests of the Central North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*, 2009, vol. 33 (33), pp. 208-215.
6. Sedmak R., Scheer L. Modelling of Tree Diameter Growth Using Growth Functions Parameterized by Least Squares and Bayesian Methods. *Journal of Forest Science*, 2012, no. 58, pp. 245-252.
7. Temesgen H., Zhang C.H., Zhao X.H. Modelling Tree Height-Diameter Relationships in Multi-Species and Multi-Layered Forests: A Large Observational Study from Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 2014, vol. 316, pp. 78-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.035>
8. Terra M.C., Lima M.G., Santos J.P. et al. Non-Linear Growth Models for Tree Species Used for Forest Restoration in Brazilian Amazon Arc of Deforestation. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2022.pfb.42e202102180>
9. Vanclay J.K. Tree Diameter? Height and Stocking in Even-Aged Forests. *Ann. For. Sci.*, 2009, vol. 66, p. 702.
10. Zhao-gang L., Feng-ri L. The Generalized Chapman-Richards Function and Applications to Tree and Stand Growth. *Journal of Forestry Research*, 2013, vol. 14 (1), pp. 19-26.

Information About the Author

Tofik I. Suleymanov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Deputy Director General, National Aerospace Agency, Akhundova Suleymana Sani St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan, journalanasa@gmail.com

Hikmet H. Asadov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of the Department, Research Institute of Aerospace Informatics, National Aerospace Agency, Akhundova Suleymana Sani St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan, asadzade@rambler.ru

Tabriz M. Tahmazov, Doctoral Student, National Aerospace Agency, Akhundova Suleymana Sani St, 1, AZ1115 Baku, Azerbaijan, thmzovtbriz@gmail.com, thmzov66@gmail.com

Информация об авторах

Тофиг Ибрагим оглы Сулейманов, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. Ахундова Сулеймана Сани, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджан, journalanasa@gmail.com

Хикмет Гамид оглы Асадов, доктор технических наук, профессор, начальник отдела НИИ Аэрокосмической Информатики, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. Ахундова Сулеймана Сани, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджан, asadzade@rambler.ru

Табриз Мубариз оглы Тахмазов, докторант, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. Ахундова Сулеймана Сани, 1, AZ1115 г. Баку, Азербайджан, thmzovtbriz@gmail.com, thmzov66@gmail.com



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.4>

UDC 630.181.351

LBC 43.48

THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND HYDROLOGICAL CHANGES ON THE FOREST-GROWING CONDITIONS OF THE RIVER FLOODPLAINS OF THE DON BASIN

Denis A. Solodovnikov

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Natalya M. Khavanskaya

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Diana A. Semenova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Natalya V. Shilova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article deals with the problem of floodplain forest degradation in the steppe zone, using the Don basin's rivers as an example. The floodplains of the Khoper, Buzuluk, Ilovlya, Medveditsa, and Chir rivers were the key objects of the study. Identification of the landscape-hydrogeological conditions of river floodplains was carried out using the profiling method. In total, five transverse landscape profiles were laid in the floodplains of the listed rivers, along which leveling was carried out to build a hypsometric profile and a comprehensive soil and plant description. For the arid zone rivers, ground feeding is an important source of moisture in addition to atmospheric. Therefore, one of the main tasks was to determine the groundwater level using subsurface sounding (georadar). The analysis of the maximum levels of data for spring floods showed a trend of decreasing the height of floods since the late 1990s. Comparison of these data with the hypsometric profile and radar survey data revealed that the provision of complete flooding of floodplains occurs once every 10–20 years. The absence of annual complete flooding of floodplains with water has led to a decrease in the groundwater level to 5–6 m, which is an unfavorable factor for the development of woody vegetation. The climatic and hydrological conditions of the steppe zone considered in the article are unfavorable for the development of woody vegetation since they do not correspond to the conditions of its initial formation. In view of the existing conditions and the identified trends in the reduction of floods and the fall of the groundwater level, it is possible to predict a further reduction and redistribution of the forest cover of the Don basin's river floodplains.

Key words: floodplain, steppe zone, groundwater, Don basin, forest growing conditions.

Citation. Solodovnikov D.A., Khavanskaya N.M., Semenova D.A., Shilova N.V. The Influence of Climatic and Hydrological Changes on the Forest-Growing Conditions of the River Floodplains of the Don Basin. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 27-35. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.4>

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ РЕЧНЫХ ПОЙМ ДОНСКОГО БАССЕЙНА

Денис Анатольевич Солодовников

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Наталья Михайловна Хаванская

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Диана Александровна Семенова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Наталья Владимировна Шилова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается проблема деградации пойменных лесов степной зоны, на примере рек Донского бассейна. Ключевыми объектами исследования послужили поймы рек Хопера, Бузулука, Иловли, Медведицы, Чира. Выявление ландшафтно-гидрогеологических условий речных пойм проводилось с помощью метода профилирования. Всего в поймах перечисленных рек было заложено 5 поперечных ландшафтных профилей, вдоль которых проведено нивелирование, для построения гипсометрического профиля, и комплексное почвенно-растительное описание. Для рек аридной зоны грунтовое питание является важным источником влаги в дополнение к атмосферному. Поэтому одной из главных задач стало определение уровня грунтовых вод, с использованием средств подповерхностного зондирования (георадара). Проведенный анализ данных максимальных уровней весенних половодий перечисленных рек, показал тренд уменьшения высоты половодий с конца 1990-х годов. Сопоставление этих данных с гипсометрическим профилем и данными радарной съемки позволило выявить что, обеспеченность полного затопления пойм приходится на один раз в 10–20 лет. Отсутствие ежегодного полного затопления пойм водой привело к понижению уровня грунтовых вод до 5–6 м, что является неблагоприятным фактором для развития древесной растительности. Рассмотренные в статье климатические и гидрологические условия степной зоны являются неблагоприятными для развития древесной растительности, так как не соответствуют условиям ее начального формирования. Ввиду существующих условий и выявленных трендов уменьшения половодий и падения уровня грунтовых вод можно прогнозировать дальнейшее сокращение и перераспределение лесистости речных пойм Донского бассейна.

Ключевые слова: пойма, степная зона, грунтовые воды, Донской бассейн, лесорастительные условия.

Цитирование. Солодовников Д. А., Хаванская Н. М., Семенова Д. А., Шилова Н. В. Влияние климатических и гидрологических изменений на лесорастительные условия речных пойм Донского бассейна // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 27–35. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.4>

Введение

В последние 3–4 десятилетия становится очевиден тренд уменьшения условно-естественного стока рек Донского бассейна. Помимо снижения общего объема годового стока наблюдается перераспределение стока по сезонам. В частности, меняется соотношение объема стока в половодье и межен-

ный период. Наблюдающееся повсеместно в умеренной зоне потепление выражается в первую очередь в повышении средних температур и уменьшении продолжительности зимнего сезона. Это приводит к уменьшению запасов снега зимой и общему уменьшению объема половодья [2–5]. Это, в свою очередь, приводит к слабому затоплению речных пойм и целому ряду экологических и хо-

зайственных последствий [10]. Уменьшение лесистости речных пойм на юге Европейской России также стало очевидной тенденцией [1; 13; 15].

Поймы рек в аридной зоне – основные районы распространения лесной растительности. В условиях дефицита атмосферного увлажнения лесным насаждениям здесь требуются дополнительные к атмосферным осадкам источники водного питания [7]. Таким источником выступают грунтовые воды. Глубина зеркала грунтовых вод в поймах напрямую зависит от общего объема речного стока и условий затопления поймы в период половодья. Таким образом, доступность грунтовых вод для корневых систем деревьев является основным критерием лесопригодности для речных пойм аридной зоны [14]. Отсутствие промывного режима пойменных почв приводит также к росту минерализации грунтовых вод и засолению почвогрунтов, что дополнительно ухудшает лесорастительные условия. Увеличивается продолжительность

послепаводкового отрезка вегетационного периода с напряженным микроклиматом и водным режимом почв [12].

Настоящая работа посвящена анализу изменения лесорастительных условий речных пойм в условиях текущих климатических изменений.

Материал и методы

Исследование ландшафтно-гидрогеологических условий речных пойм проводилось на поперечных профилях, заложенных в поймах пяти рек Донского бассейна (рис. 1). Профили были заложены вблизи действующих гидрологических постов Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, по которым имеются многолетние ряды наблюдений за уровнем воды (см. таблицу). Проанализированы данные о максимальной высоте половодий по годам. Именно этот показатель определяет степень затопления поймы.

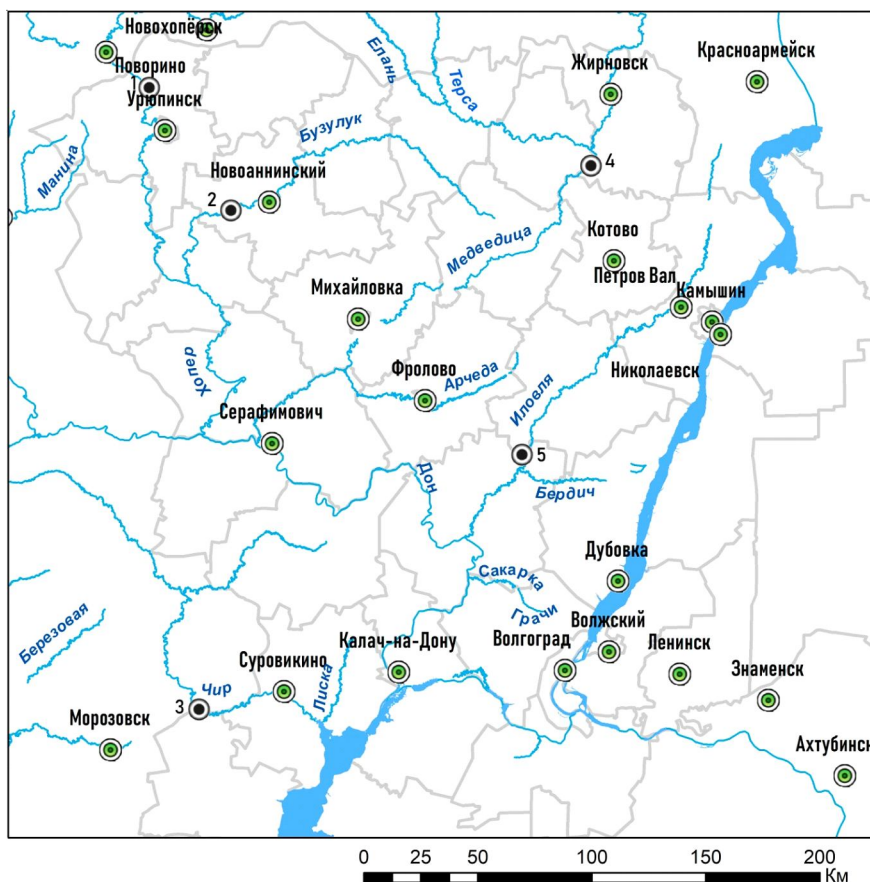


Рис. 1. Расположение участков изучения ландшафтно-гидрогеологических условий речных пойм: 1 – Хопер; 2 – Бузулук; 3 – Чир; 4 – Медведица; 5 – Иловля

Характеристика гидрологических постов

Река	Гидрологический пост	Проанализированный ряд данных, годы
Хопер	Бесплемяновский	1988–2023
Бузулук	Преображенская	1988–2023
Чир	Обливская	1948–2005
Медведица	Красный	1988–2023
Иловля	Александровка	1988–2023

В ходе полевых работ методом маршрутного нивелирования получены гипсометрические поперечные профили речных пойм, выполнены почвенно-растительные описания по линии профилей. По линии профиля определен меженный (вторая половина лета – первая половина осени) уровень грунтовых вод (далее – УГВ). УГВ определялся с помощью прибора подповерхностного зондирования (георадара) ОКО-2 с контрольным бурением ручным пробоотборником в нескольких точках по линии профиля. Методика работ детально изложена в более ранней работе авторов [9].

Результаты

Анализ данных по максимальным уровням весенних половодий на исследуемых реках показывает устойчивый тренд уменьше-

ния высоты половодий с конца 1990-х годов. Эта тенденция отчетливо видна при осреднении высотных отметок пика половодья по годам методом скользящих десятилетних данных (рис. 2).

Пойма – продукт развития реки, она создана процессами транспортировки и отложения речных наносов текущей водой. Регулярное затопление является главным условием существования природного комплекса поймы, особенно в условиях аридного климата. Однако в современных климатических и гидрологических условиях поймы рек степной зоны полностью затапливаются довольно редко. Данные по высоте половодий были обработаны с использованием программы HydroStatCalc. Было получено распределение Критского-Менкеля, отражающее вероятность подъема уровня воды в половодье до разных высот-

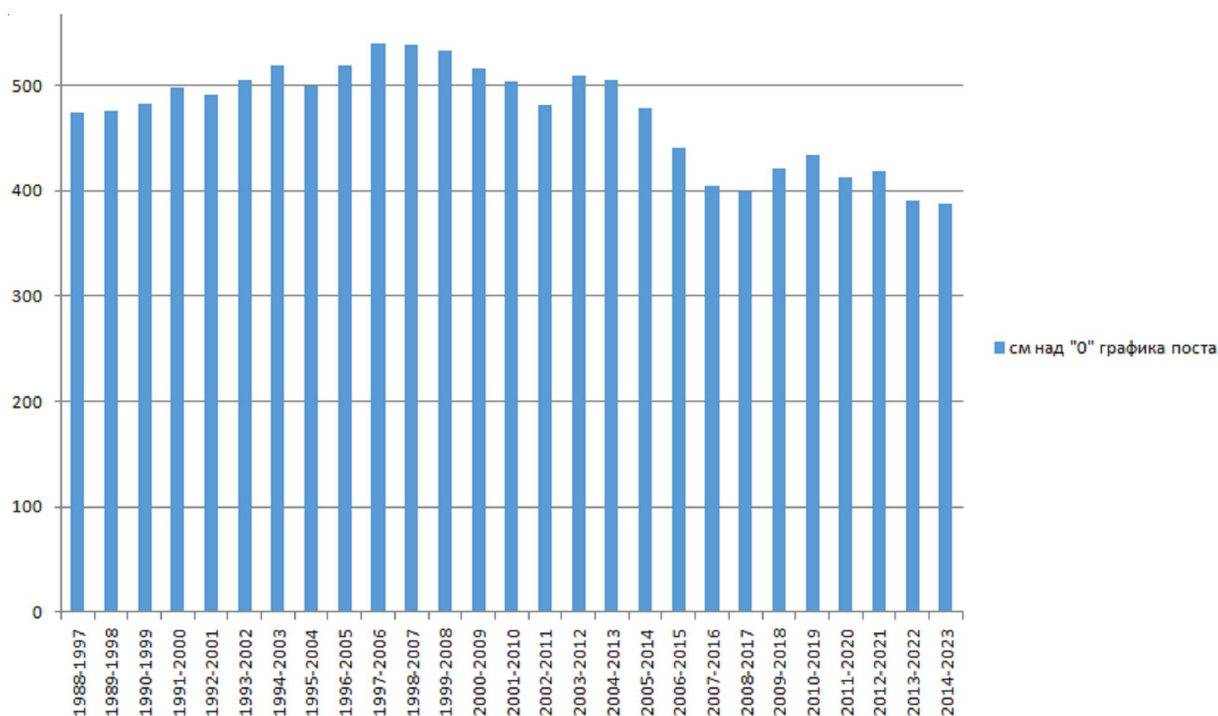


Рис. 2. Максимальная высота половодья на реке Хопер в 1988–2023 гг. (гидропост Бесплемяновский) (в сантиметрах над нулем графика гидропоста)

ных отметок. Сопоставление этих высотных отметок с гипсометрическим профилем поймы (рис. 3) показывает, что обеспеченность полного затопления поймы для реки Хопер составляет 10 %, то есть происходит один раз в 10 лет. Исток Хопра расположен в зоне смешанных лесов, в области гумидного климата. Река пересекает зону лесостепи и северную часть степной зоны. Остальные 4 исследован-

ных реки – Медведица, Иловля, Чир и Бузулук целиком расположены в пределах аридной зоны. Для этих рек обеспеченность полного затопления поймы составляет всего 5–6 %, то есть один раз в 20 лет.

Безусловно, такая обстановка коренным образом отличается от исходного гидрологического режима. Хотя сток рассматриваемых рек антропогенно не преобразован, рассмат-

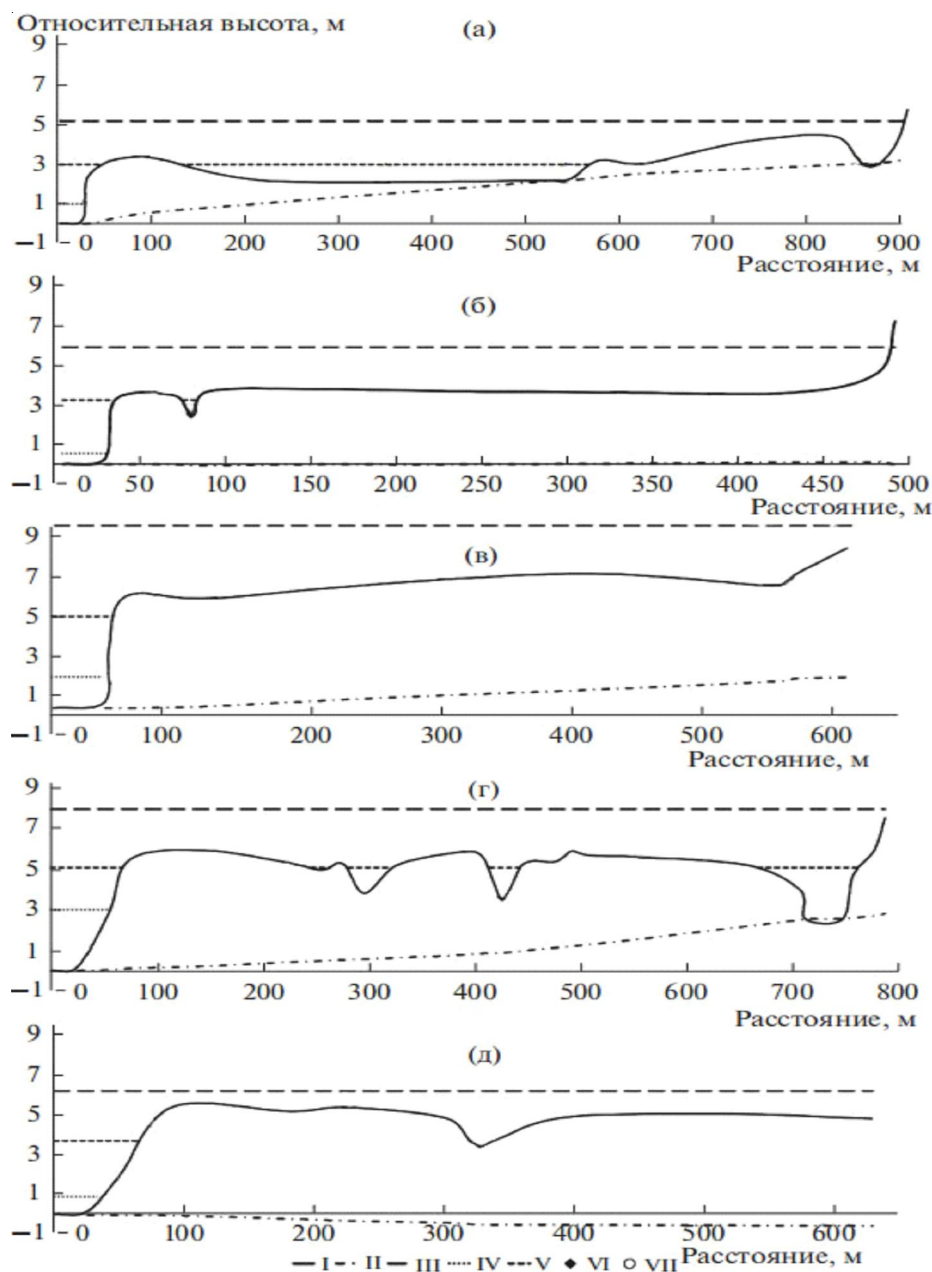


Рис. 3. Гидрогеологические профили пойм рек Донского бассейна (меженный период):

a – Бузулук; *б* – Иловля; *в* – Медведица; *г* – Хопер; *д* – Чир.

I – поверхность поймы; *II* – уровень грунтовых вод; *III* – максимальный уровень воды в половодье (с 1988 г.);

IV – минимальный уровень воды в половодье; *V* – среднемаксимальный уровень половодья

риваемые изменения по результатам близки к тем процессам, которые происходят в поймах зарегулированных рек [6]. При затоплении поймы грунты полностью насыщаются водой. После окончания половодья уровень грунтовых вод начинает снижаться, но в течение первой половины лета находится на вполне доступной для деревьев глубине 2–3 метра. Именно в этот период происходит формирование плодов и годового прироста. В годовом потреблении воды деревьями в степной зоне 1/5 объема приходится на грунтовые воды [7]. Отсутствие ежегодного затопления поймы исключает полное насыщение грунтов водой [16]. В результате УГВ большую часть вегетационного периода находится на глубинах 5–6 м (см. рис. 3). Исключение составляет просто устроенная пойма реки Иловля, представляющая собой почти горизонтальную поверхность, возвышающуюся над меженным уровнем воды в реке и УГВ примерно на 3 метра. Для основных лесобразующих пород степной зоны (дуб черешчатый, тополя черный и белый) 5–6 м это слишком большая глубина, использование таких ресурсов воды растениями затруднительно. Считается, что высотные отметки наиболее высокой части поймы (вершины прирусловых валов) соответствует среднемаксимальным уровням половодья. Построенные нами профили (см. рис. 3) показывают, что в настоящее время средне-многолетний уровень пика половодья снизился примерно на 2 метра, по сравнению с эпохой формирования указанных пойм как форм рельефа. Это характерно для всех исследованных рек, кроме Иловли.

Недоступность грунтовых вод большую часть вегетационного сезона приводит к очевидным последствиям. Лес – это совокупность древесных пород, обеспечивающих 60–100 % затенение почвы и обладающих полной или частичной способностью к биологической саморегуляции. Атмосферные осадки в степной зоне могут обеспечить развитие листовой массы не более 2 т на гектар, это изреженные насаждения (редколесье). Полноценный лес имеет листовую массу 3–4 т на гектар [7]. Следовательно, в современных гидролого-климатических условиях неизбежно изреживание пойменных лесов степной зоны, снижение бонитета лесов

[8]. Возникают сложности с семенным возобновлением дуба. В обследованных нами пойменных дубравах почти полностью отсутствуют сеянцы дуба старше 1 года. В течение первого года жизни они в значительной степени существуют за счет запасов семян долей желудя. Со второго года необходим доступ к грунтовым водам, но корневая система молодого растения еще не может достигнуть необходимой глубины (5–6 м). Можно ожидать также перераспределения леса по площади речных пойм. Насаждения на наиболее высоких отметках рельефа (прирусловые валы, гривы) будут усыхать и изреживаться [17]. Наиболее продуктивные древостои будут формироваться на участках средне-высотной поймы, изначально покрытых луговой растительностью.

Заключение

Существующие тенденции изменения климатических и гидрологических условий степной зоны неблагоприятны для развития лесной растительности. Ландшафты речных пойм здесь являются реликтом, сформировавшимся в условиях частого, почти ежегодного затопления в период весеннего половодья. Последние 25 лет наблюдается устойчивое снижение высоты и продолжительности половодий, полное затопление поймы весной происходит один раз в 10–20 лет. Уровень грунтовых вод большую часть вегетационного периода находится на глубинах 5–6 метров, что затрудняет использование древесной растительностью этого источника воды. Следствием таких тенденций является деградация пойменных лесов в пределах степной зоны. Масштабы этого процесса в полной мере еще не раскрыты. Объективную картину уменьшения лесистости может дать применение методов картографирования лесов по спутниковым снимкам последних 20–30 лет [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильченко, А. А. Картографирование лесистости Волго-Ахтубинской поймы / А. А. Васильченко // Научно-агрономический журнал. – 2023. – № 3 (122). – С. 7–14. – DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2023.122.3.001.07-14>

2. Влияние маловодья 2007–2015 гг. в бассейне р. Дон на состояние водных экосистем / М. Б. Киреева [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5, География. – 2018. – № 5. – С. 3–13.

3. Джамалов, Р. Г. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона / Р. Г. Джамалов, Н. Л. Фролова, М. Б. Киреева // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 6. – С. 544–556.

4. Долгов, С. В. Пространственные и временные изменения вертикальной структуры речного стока в Европейской части России / С. В. Долгов // Вопросы географии. Сб. 133. Географо-гидрологические исследования. – М.: Кодекс, – 2012. – С. 189–210.

5. Киреева, М. Б. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона / М. Б. Киреева, Н. Л. Фролова // Водное хозяйство России. – 2013. – № 1. – С. 60–76.

6. Кузьмина, Ж. В. Оценка последствий гидротехнического воздействия на экосистемы пойменных гидроморфных и полуавтоморфных территорий / Ж. В. Кузьмина, С. Е. Трешкин // Вопросы географии. Сб. 134: Актуальная биогеография. – М.: Кодекс. – 2012. – С. 298–313.

7. Кулик, Н. Ф. Водный режим лесных биоценозов / Н. Ф. Кулик. – Новочеркасск, 1999. – 58 с.

8. Манаенков, А. С. Актуальные проблемы науки и практики лесного сектора на Юге России / А. С. Манаенков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 2 (38). – С. 59–63.

9. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм / Д. А. Солодовников [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2017. – № 12 (3). – С. 106–114.

10. «ООПТ-фантомы» юга Европейской России: проблемы функционирования / Д. А. Солодовников [и др.] // Природные системы и ресурсы. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 77–85. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nr.jvolsu.2022.1.9>

11. Шинкаренко, С. С. Метод картографирования защитных лесных насаждений на основе разновременных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения и бисезонного индекса леса / С. С. Шинкаренко, С. А. Барталев, А. А. Васильченко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 207–222. – DOI: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-4-207-222>

12. Шульга, В. Д. Устойчивость мелиоративных древостоев степных ландшафтов / В. Д. Шульга. – Волгоград: Изд-во ВНИИАЛМИ, 2002. – 158 с.

13. Юферев, В. Г. Ретроспективный анализ деградации лесов Волго-Ахтубинской поймы / В. Г. Юферев, Н. Н. Таранов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее про-

фессиональное образование. – 2016. – № 3 (43). – С. 66–72.

14. Floodplain Forests-Key Forest Ecosystems for Maintaining and Sustainable Management of Water Resources in Alluvial Landscape / I. Machar [et al.] // Springer Water. – 2020. – P. 249–274.

15. Kuzmina, Zh. V. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr Darya River under Modern Changing Conditions / Zh. V. Kuzmina, S. S. Shinkarenko, D. A. Solodovnikov // Arid Ecosystems. – 2019. – Vol. 9, № 4. – P. 226–236. – DOI: <https://doi.org/10.1134/S207909611904005X>

16. Landscape-Scale Ecohydrological Mapping Demonstrating How Flood Inundation Water Quality Types Relate to Floodplain Vegetation Communities / F. M. Keizer [et al.] // Ecohydrology. – 2016. – Vol. 9, iss. 8. – P. 1539–1553.

17. Wen, L. Landscape Position Strongly Affects the Resistance and Resilience to Water Deficit Anomaly of Floodplain Vegetation Community / L. Wen, M. Powell, N. Saintilan // Ecohydrology. – 2018. – Vol. 11, № 8. – P. e2027.

REFERENCES

1. Vasilchenko A.A. Kartografirovaniye lesistosti Volgo-Akhtubinskoi poimy [Mapping of the Forest Cover of the Volga-Akhtuba Floodplain]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic Journal], 2023, no. 3 (122), pp. 7-14. DOI: <https://doi.org/10.34736/FNC.2023.122.3.001.07-14>

2. Kireeva M.B., Ilich V.P., Goncharov A.V., Bogachev A.N., Frolova N.L., Pahomova O.M., Solovyeva V.V. Vliyanie malovodya 2007–2015 gg. v basseine r. Don na sostoyanie vodnykh ekosistem [The Influence of Low Water in 2007–2015 in the Basin of the Don River on the State of Aquatic Ecosystems]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5, Geografiya* [Bulletin of the Moscow University. Ser. 5, Geography], 2018, no. 5, pp. 3-13.

3. Dzhmalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Sovremennye izmeneniya vodnogo rezhima rek v basseine Dona [Modern Changes in the Water Regime of Rivers in the Don Basin]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2013, vol. 40, no. 6, pp. 544-556.

4. Dolgov S.V. Prostranstvennye i vremennye izmeneniya vertikalnoj struktury rechnogo stoka v Evropejskoj chasti Rossii [Spatial and Temporal Changes in the Vertical Structure of River Flow in the European Part of Russia]. *Voprosy geografii. Sb. 133. Geografo-gidrologicheskie issledovaniya* [Questions of Geography. Collection 133. Geographical and Hydrological Studies]. Moscow, Kodeks Publ., 2012, pp. 189-210.

5. Kireeva M.B., Frolova N.L. Sovremennye osobennosti vesennego polovodya rek basseina Dona [Modern Features of the Spring Flood of the Rivers of the Don Basin]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii* [Water Management of Russia], 2013, no. 1, pp. 60-76.

6. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E. Ocenka Posledstviy gidrotekhnicheskogo vozdeistviya na ekosistemy poimennykh gidromorfnykh i poluavtomorfnykh territorii [Assessment of the Consequences of Hydrotechnical Impact on the Ecosystems of Floodplain Hydromorphic and Semi-Automorphic Territories]. *Voprosy geografii. Sb. 134: Aktualnaja biogeografiya* [Questions of Geography. Collection 134: Current Biogeography]. Moscow, Kodeks Publ., 2012, pp. 298-313.

7. Kulik N.F. *Vodnyi rezhim lesnykh biotsenozov* [Water Regime of Forest Biocenoses]. Novocherkassk, 1999. 58 p.

8. Manaenkov A.S. Aktualnye problemy nauki i praktiki lesnogo sektora na Yuge Rossii [Actual Problems of Science and Practice of the Forest Sector in the South of Russia]. *Izvestia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], 2015, no. 2 (38), pp. 59-63.

9. Solodovnikov D.A., Khavanskaya N.M., Vishnyakov N.V., Ivantsova E.A. Metodicheskie osnovy geofizicheskogo monitoringa gruntovykh vod rechnykh poim [Methodological Foundations of Geophysical Monitoring of Groundwater of River Floodplains]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: Ecology, Development], 2017, no. 12 (3), pp. 106-114.

10. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S., Semenova D.A., Shilova N.V. «OOPT-fantomy» yuga Evropeiskoi Rossii: problemy funkcionirovaniya [“NAPP-Phantoms” of the South of European Russia: Problems of Functioning]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2022, vol. 12, no. 1, pp. 77-85. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.1.9>

11. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Vasilchenko A.A. Metod kartografirovaniya zashchitnykh lesnykh nasazhdenii na osnove

raznovremennykh sputnikovykh izobrazhenii vysokogo prostranstvennogo razresheniya i bisezonnogo indeksa lesa [Method of Mapping Protective Forest Stands Based on Multi-Time Satellite Images of High Spatial Resolution and Bi-Seasonal Forest Index]. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], 2022, vol. 19, no. 4, pp. 207-222. DOI: <http://dx.doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-4-207-222>

12. Shulga V.D. *Ustoichivost meliorativnykh drevostoev stepnykh landshaftov* [Stability of Reclamation Stands of Steppe Landscapes]. Volgograd, Izd-vo VNIIALMI, 2002. 158 p.

13. Yuferev V.G., Taranov N.N. Retrospektivnyi analiz degradatsii lesov Volgo-Ahtubinskoi poimy [Retrospective Analysis of Forest Degradation of the Volga-Akhtuba Floodplain]. *Izvestia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], 2016, no. 3 (43), pp. 66-72.

14. Machar I., Hager H., Pechanec V., Kulhavy J., Mindas J. Floodplain Forests-Key Forest Ecosystems for Maintaining and Sustainable Management of Water Resources in Alluvial Landscape. *Springer Water*, 2020, pp. 249-274.

15. Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr Darya River under Modern Changing Conditions. *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, no. 4, pp. 226-236. DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S207909611904005X>

16. Keizer F.M., Schot P.P., Wassen M.J., Okruszko T. Landscape-Scale Ecohydrological Mapping Demonstrating How Flood Inundation Water Quality Types Relate to Floodplain Vegetation Communities. *Ecohydrology*, 2016, no. 9, iss. 8, pp. 1539-1553.

17. Wen L., Powell M., Saintilan N. Landscape Position Strongly Affects the Resistance and Resilience to Water Deficit Anomaly of Floodplain Vegetation Community. *Ecohydrology*, 2018, vol. 11, no. 8, p. e2027.

Information About the Authors

Denis A. Solodovnikov, Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor, Head of the Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, solodovnikov@volsu.ru

Natalya M. Khavanskaya, Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, khavanskaya@volsu.ru

Diana A. Semenova, Senior Lecturer, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, semenova@volsu.ru

Natalya V. Shilova, Senior Lecturer, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, shilova@volsu.ru

Информация об авторах

Денис Анатольевич Солодовников, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, solodovnikov@volsu.ru

Наталья Михайловна Хаванская, кандидат географических наук, доцент кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, khavanskaya@volsu.ru

Диана Александровна Семенова, старший преподаватель кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, semenova@volsu.ru

Наталья Владимировна Шилова, старший преподаватель кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, shilova@volsu.ru



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.5>

UDC 612.1:378.172

LBC 28.707.32

ADAPTIVE REACTIONS OF STUDENTS' BLOOD CIRCULATION IN THE DYNAMICS OF THE ANNUAL CYCLE OF STUDY AT THE UNIVERSITY

Yulia A. Alexandryuk

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Elena A. Ivantsova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. Increasing training loads significantly affects the health of students. The cardiovascular system can react especially sharply to such changes. The purpose of the research is to analyze the indicators of systemic hemodynamics and adaptive reactions in students at Volgograd State University in the dynamics of the academic year. The study of hemodynamics was carried out in 2021–2023, from September to May. The following indicators were used: systolic and diastolic blood pressure, pulse pressure, mean hemodynamic pressure, systolic blood flow volume, minute volume of blood flow and peripheral vascular resistance. When analyzing the parameters of systemic hemodynamics, it was found that seasonal changes in the values of mean hemodynamic pressure, systolic blood volume, minute volume of blood circulation and total peripheral vascular resistance are insignificant among students during the academic year. At the same time, a trend of changes in systemic hemodynamics was revealed during the three years of study. So, in comparison with the first year, the students in the second year showed an increase in the pumping function of the heart; in the third year of study, an increase in the chronotropic function was revealed. The change in hemodynamic indicators is also consistent with fluctuations in the adaptive potential, a decrease in which is noted during the examination and summer periods. At the same time, the level of adaptation in girls is, as a rule, higher than in boys, which indicates more effective adaptive capabilities of the female body.

Key words: adaptive reaction, system hemodynamics, blood circulation, students, study load.

Citation. Alexandryuk Yu.A., Ivantsova E.A. Adaptive Reactions of Students' Blood Circulation in the Dynamics of the Annual Cycle of Study at the University. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 36–41. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.5>

УДК 612.1:378.172

ББК 28.707.32

АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ СТУДЕНТОВ В ДИНАМИКЕ ГОДИЧНОГО ЦИКЛА ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

Юлия Андреевна Александрюк

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Елена Анатольевна Иванцова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Повышение учебных нагрузок существенно влияет на здоровье обучающихся. Особенно резко на такие изменения может реагировать сердечно-сосудистая система. Цель исследования – анализ показателей системной гемодинамики и адаптивных реакций у студентов Волгоградского государственного университета в динамике учебного года. Исследование гемодинамики проводилось в 2021–2023 гг. с сентября по май. Использовались следующие показатели: систолическое и диастолическое артериальное давление, пульсовое давление, среднее гемодинамическое давление, систолический объем кровотока, минутный объем кровотока и периферическое сопротивление сосудов. При анализе параметров системной гемодинамики обнаружено, что сезонные изменения величин среднего гемодинамического давления, систолического объема крови, минутного объема кровообращения и общего периферического сосудистого сопротивления незначительны у студентов в течение учебного года. При этом выявлена тенденция изменений системной гемодинамики в течение трех лет обучения. Так, по сравнению с первым курсом у обучающихся на втором курсе наблюдалось усиление насосной функции сердца, на третьем курсе обучения выявлено усиление хронотропной функции. Изменение показателей гемодинамики согласуется и с колебаниями адаптационного потенциала, снижение которого отмечается в экзаменационный и летний периоды. При этом у девушек уровень адаптации, как правило, выше, чем у юношей, что свидетельствует о более эффективных адаптивных возможностях женского организма.

Ключевые слова: адаптивная реакция, системная гемодинамика, кровообращение, обучающиеся, учебная нагрузка.

Цитирование. Александрюк Ю. А., Иванцова Е. А. Адаптивные реакции кровообращения студентов в динамике годового цикла обучения в вузе // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 36–41. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.5>

Введение

Известно, что повышение учебных нагрузок как в средних общеобразовательных школах, так и в высших учебных заведениях существенно влияет на здоровье обучающихся [4]. Длительный, многолетний учебный процесс, особенно недостаточно рационально организованный с позиций медицинской науки, включает в себя некоторые негативные факторы, способствующие ухудшению здоровья развивающегося организма [8]. Это является одним из факторов «омоложения» некоторых сердечно-сосудистых заболеваний [12]. Недостаток физической активности, сна, учебные перегрузки, переутомление, изменение погодных условий являются стрессовыми факторами для сердечно-сосудистой системы человека и могут вызывать ряд серьезных адаптационных перестроек, а если сила фактора превышает адаптационные возможности организма, может нарушаться функционирование этой системы [5].

Основными факторами, оказывающими негативное воздействие на обучающихся, являются гипокинезия с гиподинамией и психоэмоциональное напряжение, которое имеет «дискретный», циклический характер. Более того, у некоторых обучающихся данные изменения в их образе жизни приводят к появлению хронического стресса. В дальнейшем

попытки адаптироваться к повышению психоэмоционального напряжения могут приводить к появлению вредных привычек. Совокупность всех этих воздействий в значительной степени оказывает влияние на весь организм [2; 7].

Сердечно-сосудистая система сильно подвержена воздействию многих негативных факторов. Любые стрессовые факторы, независимо от того, являются ли они положительными для организма или отрицательными, изменяют деятельность сердца и сосудов, что возможно проследить за счет изменений гемодинамики [9; 13].

Цель исследований – анализ показателей системной гемодинамики и адаптивных реакций у студентов Волгоградского государственного университета на протяжении учебного года.

Материалы и методы

Исследование системной гемодинамики проводилось у студентов 1–3 курсов, обучающихся по направлениям подготовки «Биология», «Биоинженерия и биоинформатика», с помощью автоматического тонометра с сентября по май на протяжении 2021–2023 годов. К критериям исключения из группы наблюдения относили наличие прогрессирующих нервно-мышечных или неврологических рас-

стройств, а также наличие других хронических или острых заболеваний. Все респонденты информировались об условиях проведения исследования, о гарантиях неразглашения полученной информации.

Проводилась регистрация артериального давления (далее – АД), с определением показателей: систолического АД (АДС мм рт. ст.); диастолического АД (АДД, мм рт. ст.). Проводился расчет следующих показателей: пульсовое артериальное давление (АДП, мм рт. ст.), среднее артериальное давление (СГД, мм рт. ст.), систолический объем кровотока (СОК, мл), минутный объем кровотока (минутный объем сердца или сердечный выброс) (МОК, л/мин) и периферическое сопротивление сосудов (ОПС, дин·с·см⁻⁵).

Статистический анализ данных проводили с помощью программы SPSS-26. Нормальность распределения оценивали с применением критерия Колмогорова – Смирнова с последующим применением параметрического или непараметрического методов статистической обработки данных. Различия считались значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

При анализе параметров системной гемодинамики обнаружено, что сезонные изменения величин среднего гемодинамического давления, систолического объема крови, минутного объема кровообращения и общего периферического сосудистого сопротивления незначительны у студентов в течение учебного года. Это показывает, что общее состояние студентов оставалось стабильным в независимости от периода обучения. При этом

выявлена тенденция изменений системной гемодинамики в течение трех лет обучения (см. таблицу).

Так, у студентов-первокурсников параметры системного кровообращения соответствовали значениям, приводимым рядом исследователей в литературных источниках [10]. Полученный результат показывает, что у данных студентов наблюдаются адаптивные реакции к новой среде, включая и учебную нагрузку.

При этом в динамике на втором курсе у обучающихся отмечено достоверное возрастание систолического объема крови, минутного объема кровотока, снижение общего периферического сопротивления сосудов при сохранении стабильных значений среднего артериального давления и частоты сердечных сокращений. Это свидетельствует о существенном возрастании инотропного компонента насосной функции сердца без увеличения хронотропного. Данное явление приводит к значительному возрастанию насосной функции миокарда левого желудочка. Эти изменения сопровождаются снижением общего периферического сопротивления сосудистого русла, поэтому конечный результат функциональной системы оптимизации артериального давления крови вне зависимости от сезона (осень или весна). По-видимому, данный характер реорганизации системной гемодинамики благоприятен для обследуемых студентов. Подобные изменения гемодинамики наблюдаются у лиц, ведущих активный образ жизни, регулярно выполняющих физическую работу умеренной интенсивности [11].

К третьему году обучения изменения показателей центральной гемодинамики ме-

Динамика показателей центральной гемодинамики студентов в течение 3 лет обучения ($M \pm m$)

Показательный этап наблюдения	СГД, мм рт. ст.	СОК, мл	ЧСС, мин ⁻¹	МОК, мл/мин	ОПС, дин·с·см ⁻⁵
Ноябрь (1 курс)	92,4±2,3	86,2±4,2	66,9±5,9	5671,3±146,2	1322,4±47,1
Май (1 курс)	96,7±2,6	90,9±4,7	67,1±4,2	5701,3±155,9	1281,4±54,1
Ноябрь (2 курс)	97,7±3,4	94,9±3,6*	69,5±4,5	6199,2±159,7	980,2±69,2*
Май (2 курс)	96,5±4,3	96,8±4,1*	67,9±4,9*	6200,2±203,7*	966,7±57,5*
Ноябрь (3 курс)	95,8±3,9	74,2±4,7*	79,2±4,6	4607,4±215,9*	1703,9±62,2*
Май (3 курс)	96,3±4,8	75,1±50,1*	78,2±2,1	4724,1±217,1	1609,8±70,2

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения: * – достоверность различий показателя ($p < 0,05$ и более) по сравнению с исходным значением, определенным в ноябре 1-го года обучения.

нее благоприятны. У респондентов отмечается значительное снижение (по сравнению с первым курсом) систолического объема крови, минутного объема кровотока при достоверном возрастании частоты сердечных сокращений и общего периферического сопротивления. Это показывает усиление нагрузки на сердце за счет увеличения хронотропного компонента, что может происходить за счет усиления влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы. Данный факт может указывать на истощение организма за счет психоэмоционального напряжения.

Изменение показателей гемодинамики согласуется и с колебаниями адаптационного потенциала, снижение которого отмечается в экзаменационный и летний периоды. При этом у девушек уровень адаптации, как правило, выше, чем у юношей, что подтверждается и другими исследователями [1; 3; 6].

Заключение

В процессе исследований выявлено, что в течение учебного года основные показатели центральной гемодинамики у обучающихся остаются практически неизменными; при этом наблюдается ухудшение в динамике трех лет обучения. Так, на втором курсе у студентов проявляется в большей степени инотропный компонент насосной функции сердца, что приводит к значительному возрастанию насосной функции миокарда левого желудочка, и это свидетельствует о протекании адаптивных реакций у обучающихся в данный период. Однако уже на третьем курсе у студентов выявляется усиление хронотропного компонента за счет увеличения частоты сердечных сокращений, что является прогностически неблагоприятным явлением. По-видимому, данный феномен связан с увеличением гиподинамии совместно с гипокинезией и психоэмоциональным напряжением при обучении на более старших курсах. Отмечается также, что женский организм демонстрирует более эффективные адаптационные возможности в процессе обучения в вузе.

Полученные данные показывают необходимость изучения состояния как физического, так и психоэмоционального здоровья у

студентов в течение года, а также в динамике годового цикла обучения, особенно в периоды повышенной психоэмоциональной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян, Н. А. Проблемы адаптации и учение о здоровье / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Изд-во РУДН, 2006. – 283 с.
2. Епишкин, И. В. Исследование психоэмоционального напряжения студентов в условиях образовательного процесса / И. В. Епишкин // Актуальные проблемы педагогики и психологии. – 2023. – Т. 4, № 1. – С. 13–23.
3. Измайлова, М. А. Адаптивные перестройки сердечно-сосудистой системы студенток в процессе обучения в вузе / М. А. Измайлова // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение. – 2006. – № 12. – С. 79–86.
4. Каркашадзе, Г. А. Синдром высоких учебных нагрузок у детей школьного и подросткового возраста / Г. А. Каркашадзе // Педиатрическая фармакология. – 2017. – Т. 14, № 1. – С. 7–23.
5. Медведев, В. И. Адаптация сердечного выброса / В. И. Медведев. – СПб. : Ин-т мозга человека РАН, 2003. – 584 с.
6. Морозова, Л. В. Адаптационный показатель как показатель адаптационных возможностей организма / Л. В. Морозова, И. М. Газеева, Л. В. Соколова // Экология человека. – 2002. – № 1. – С. 20–22.
7. Рубизова, А. А. Гиподинамия – болезнь цивилизации / А. А. Рубизова, Д. Р. Жданова, М. О. Джейроанова // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. – 2017. – Т. 7, № 6. – С. 1031–1032.
8. Студеникин, С. И. Аналитический обзор факторов, условий и причин, влияющих на здоровье обучающихся в образовательных учреждениях / С. И. Студеникин // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 6. – С. 264–264.
9. Товмасын, Л. А. Вариации адаптивных сдвигов жизнеобеспечивающих систем у российских и иностранных студентов, обучающихся в вузах Волгограда и республики Калмыкии / Л. А. Товмасын, П. Л. Севрюкова, Г. А. Севрюкова, Ю. Н. Картушина // Биосистемы: организация, поведение, управление : тез. докл. 72-й Всерос. с междунар. участием шк.-конф. молодых уч. (Нижний Новгород, 24–26 апр. 2019 г.). – Н. Новгород : Нац. иссл. Нижегород. гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, 2019. – С. 222.
10. Biryukova, E. V. Gender Peculiarities of Heart Rate Variability and Hemodynamic Basis of Students' Educational Activity / E. V. Biryukova, N. A. Vasilyuk,

V. V. Andrianov // IP Pavlov Russian Medical Biological Herald. – 2019. – Vol. 27, № 2. – P. 188–196.

11. Exercise and Cardiovascular Health: A State-of-the-Art Review / A. Isath [et al.] // Progress in Cardiovascular Diseases. – 2023. – № 1. – P. 112–118.

12. Oganov, R. G. Demographic Situation and Cardiovascular Disease in Russia: Problem Scope and Possible Solutions / R. G. Oganov, G. Y. Maslennikova // Cardiovascular Therapy and Prevention. – 2023. – Vol. 6, № 8. – P. 7–14.

13. Yasmin, H. COVID-19: Stress Management Among Students and Its Impact on Their Effective Learning / H. Yasmin, S. Khalil, R. Mazhar // International Technology and Education Journal. – 2020. – Vol. 4, № 2. – P. 65–74.

REFERENCES

1. Agadzhanian N.A., Baevskij R.M., Berseneva A.P. *Problemy adaptacii i uchenie o zdorovye* [Problems of Adaptation and Teaching About Health]. Moscow, Izd-vo RUDN, 2006. 283 p.

2. Epishkin I.V. Issledovanie psihoemocionalnogo napryazheniya studentov v usloviyah obrazovatel'nogo processa [Research of Students' Psychoemotional Tension in the Conditions of the Educational Process]. *Aktualnye problemy pedagogiki i psichologii* [Actual Problems of Pedagogy and Psychology], 2023, vol. 4, no. 1, pp. 13–23.

3. Izmajlova M.A. Adaptivnye perestrojki serdechno-sosudistoj sistemy studentok v processe obucheniya v vuze [Adaptive Restructuring of the Cardiovascular System of Female Students in the Process of Studying at the University]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. Prilozhenie* [University News. North Caucasus Region. Natural Sciences. Application], 2006, no. 12, pp. 79–86.

4. Karkashadze G.A. Sindrom vysokih uchebnyh nagruzok u detej shkol'nogo i podrostkovogo vozrasta [Syndrome of High Learning Loads in School and Adolescent Children]. *Pediatricheskaja farmakologija* [Pediatric Pharmacology], 2017, vol. 14, no. 1, pp. 7–23.

5. Medvedev V.I. *Adaptaciya serdechnogo vybroso* [Adaptation of Cardiac Output]. Saint Petersburg, In-t mozga cheloveka RAN, 2003, 584 p.

6. Morozova L.V., Gazeeva I.M., Sokolova L.V. Adaptacionnyj pokazatel kak pokazatel adaptacionnyh vozmozhnostej organizma [Adaptive Indicator as an Indicator of the Adaptive Capabilities of the Body].

Ekologiya cheloveka [Human Ecology], 2002, no. 1, pp. 20–22.

7. Rubizova A.A., Zhdanova D.R., Dzhejranova M.O. Gipodinamija – bolezni civilizacii [Inactivity as a Disease of Civilization]. *Bulleten medicinskih Internet-konferencij* [Bulletin of Medical Internet Conferences], 2017, vol. 7, no. 6, pp. 1031–1032.

8. Studenikin S.I. Analiticheskij obzor faktorov, uslovij i pricin, vlijajushhih na zdorovye obuchajushhihsja v obrazovatelnyh uchrezhdenijah [Analytical Review of Factors, Conditions and Causes Affecting the Health of Students in Educational Institutions]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija* [Modern Problems of Science and Education], 2018, no. 6, pp. 264–264.

9. Tovmasjan L.A., Sevrjukova P.L., Sevrjukova G.A., Kartushina Ju.N. Variacii adaptivnyh sdvigoz zhizneobespechivajushhih sistem u rossijskih i inostrannyh studentov, obuchajushhihsja v vuzah Volgograda i respubliki Kalmykii [Variations of Adaptive Shifts of Life-Supporting Systems in Russian and Foreign Students Studying at Universities in Volgograd and the Republic of Kalmykia]. *Biosistemy: organizacija, povedenie, upravlenie: tez. dokl. 72-j Vseros. s mezhdunar. uchastiem shk.-konf. molodyh uch. (Nizhnij Novgorod, 24–26 apr. 2019 g.)* [Biosystems: Organization, Behavior, and Control. Abstracts of the Report of the 72nd All-Russian School Conference of Young Scientists with International Participation (Nizhny Novgorod, April 24–26, 2019)]. Nizhnij Novgorod, Nac. issl. Nizhegorod. gos. un-t im. N.I. Lobachevskogo, 2019, p. 222.

10. Biryukova E.V., Vasilyuk N.A., Andrianov V.V. Gender Peculiarities of Heart Rate Variability and Hemodynamic Basis of Students' Educational Activity. *IP Pavlov Russian Medical Biological Herald*, 2019, vol. 27, no. 2, pp. 188–196.

11. Isath A. et al. Exercise and Cardiovascular Health: A State-of-the-Art Review. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 2023, no. 1, pp. 112–118.

12. Oganov R.G., Maslennikova G.Y. Demographic Situation and Cardiovascular Disease in Russia: Problem Scope and Possible Solutions. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 2023, vol. 6, no. 8, pp. 7–14.

13. Yasmin H., Khalil S., Mazhar R. COVID-19: Stress Management Among Students and Its Impact on Their Effective Learning. *International Technology and Education Journal*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 65–74.

Information About the Authors

Yulia A. Alexandryuk, Master's Student, Department of Bioengineering and Bioinformatics, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, 08julia83@list.ru

Elena A. Ivantsova, Doctor of Sciences (Agriculture), Director of the Institute of Natural Sciences, Professor, Department of Ecology and Nature Management, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, ivantsova.volgu@mail.ru

Информация об авторах

Юлия Андреевна Александрюк, магистрант кафедры биоинженерии и биоинформатики, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, 08julia83@list.ru

Елена Анатольевна Иванцова, доктор сельскохозяйственных наук, директор института естественных наук, профессор кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, ivantsova.volgu@mail.ru



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.6>

UDC 631.47

LBC 40.3

BIOLOGICAL INDICATORS AND THEIR SIGNIFICANCE IN THE DIAGNOSIS OF ALLUVIAL-MEADOW SOILS

Pirverdi A. Samedov

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Beyli B. Aliyeva

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Vafa T. Mammadzade

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Mehbara E. Sadigova

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Matanat M. Aliyeva

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Shahla Z. Jafarova

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Afaq L. Rzayeva

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Abstract. The priority issue that is covered in the article is the expediency of using biological indicators in the diagnosis of alluvial-meadow soils. In Azerbaijan, floodplain soils, common on terraces and alluvial fans of large rivers, where there are groundwater recharge conditions and the influence of the flood floodplain regime, have been widely studied. Alluvial-meadow soils develop under the meadow soil with forb-cereal groups and shrub vegetation under the active influence of groundwater occurring at a depth of 1.0–3.5 and surface (flood) moisture. Rich herbaceous vegetation causes the development of the sod process; as a result, a large amount of organic matter accumulates. Considering that various subtypes of floodplain soils are formed, under characteristic bioclimatic conditions, our goal was to study some biological indicators of alluvial-meadow soils of natural and cultivated cenoses. On the selected biotopes (virgin cenosis, near-terrass biotope, alluvial deposits of Shin-chai, as well as agrocenoses of cereals and tobacco), the group composition and amount of microbiota, complexes of invertebrates, phytomass and humus content were comparatively studied. The accounting of phytomass on the virgin cenosis showed that plant products amount to 363 g/m² of raw and 26 g/m² of dry mass. Possible relationships between individual biological and some physico-chemical parameters are considered. The results obtained can be used as biotests in the diagnosis of alluvial-meadow soils. Plants are the primary source of organic residues in the soil, their main function of which as a soil-forming plant is to create primary bioproducts and participate in the global biological cycle.

Key words: soil, humus, invertebrates, microbiota, fitomass.

Citation. Samedov P.A., Aliyeva B.B., Mammadzade V.T., Sadigova M.E., Aliyeva M.M., Jafarova Sh.Z., Rzayeva A.L. Biological Indicators and Their Significance in the Diagnosis of Alluvial-Meadow Soils. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 42-48. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.6>

УДК 631.47
ББК 40.3

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ДИАГНОСТИКЕ АЛЛЮВИАЛЬНО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ

Приверди Ахмед оглы Самедов

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Бейли Бахад кызы Алиева

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Вафа Тельман кызы Мамедзаде

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Мехбара Эльдар кызы Садыхова

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Матанат Мирисмаил кызы Алиева

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Шахла Зохраб кызы Джафарова

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Афаг Латифага кызы Рзаева

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Аннотация. Приоритетным вопросом, который освещается в статье, является целесообразность использования биологических показателей в диагностике аллювиально-луговых почв. В Азербайджане достаточно широко исследовались пойменные почвы, распространенные на террасах и конусах выноса крупных рек, где имеются условия подпитывания грунтовыми водами и влияние паводкового пойменного режима. Аллювиально-луговые почвы развиваются под луговой с разнотравно-злаковыми группировками и кустарниковой растительностью при активном влиянии грунтовых вод, залегающих на глубине 1,0–3,5, и поверхностного (паводкового) увлажнения. Богатая травянистая растительность обуславливает развитие дернового процесса, в результате накапливается большое количество органического вещества. Учитывая, что различные подтипы пойменных почв формируются в характерных биоклиматических условиях, нашей целью было изучение некоторых биологических показателей аллювиально-луговых почв естественных и окультуренных ценозов. На выбранных биотопах (целинный ценоз, притеррасный биотоп, аллювиальные наносы Шин-чая, а также агроценозы зерновых и табака) сравнительно изучены групповой состав и количество микробиоты, комплексы беспозвоночных животных, фитомасса и содержание гумуса. Учет фитомассы на целинном ценозе показал, что растительная продукция составляет 363 г/м² сырой и 26 г/м² сухой массы. Рассмотрены возможные взаимосвязи между отдельными биологическими и некоторыми физико-химическими показателями. Полученные результаты могут быть использованы в качестве биотестов при диагностике аллювиально-луговых почв. Растения являются главным первоисточником органических остатков в почве, основной функцией которых как почвообразовательной является создание первичной биопродукции и участие в глобальном биологическом круговороте.

Ключевые слова: почва, гумус, беспозвоночные, микробиота, фитомасса.

Цитирование. Самедов П. А., Алиева Б. Б., Мамедзаде В. Т., Садыхова М. Э., Алиева М. М., Джафарова Ш. З., Рзаева А. Л. Биологические показатели и их значение в диагностике аллювиально-луговых почв // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 42–48. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.6>

Введение

В Азербайджане значительные площади пойменных почв встречаются на молодых террасах и конусах выноса горных рек Большого и Малого Кавказа, вдоль рек Куры и Аракса и частично в Хачмаз-Худатской низменности. Главной особенностью почвообразования этих почв является развитие пойменных (затопление речных долин полыми водами) и аллювиальных (принос паводковыми водами взмученного материала в виде аллювия) процессов.

В аллювиально-луговых почвах зоомикробиологические процессы для каждого биотопа проходят при оптимальных гидротермических показателях. Поэтому сравнительное изучение жизнедеятельности отдельных биотопов имеет важную значимость, для правильной оценки адаптивных биологических ритмов живых организмов, как приспособление их физиологии к регулярным экологическим изменениям внешней среды.

Объекты и методика исследования

Исследования проводились на аллювиально-луговых почвах распространенные вдоль пойменной полосы Шин-чая (Большой Кавказ, Шекинский район). В качестве объектов исследования были выбраны естественный целинный ценоз, притеррасный биотоп под луговой растительностью, аллювиальные наносы Шин-чая, а также агроценозы зерновых и табака. Биоклиматические условия почвообразования в зоне распространения указанных почв отличаются полувлажным субтропическим климатом.

На выбранных целинных и окультуренных ценозах учитывалась надземная (сырая, сухая) фитомасса по методике Т.Л. Быстрицкой, В.В. Осычнюка [2].

Почвенные пробы для микробиологического анализа отбирались послойно с 0–10; 10–20; 20–30 см горизонтов почвы, соблюдая все условия асептики. Микробиологические (количество и групповой состав микробиоты), а также физико-химические анализы в отдельных почвенных пробах определились по общепринятым в микробиологии и почвоведении методикам Д.Г. Звягинцева [5] и Е.А. Ари-

нушкиной [1]. Выборка беспозвоночных животных с указанных биотопов проводилась по методике М.С. Гилярова [4].

Поскольку биологические показатели аллювиально-луговых почв мало изучены, нашей целью было проведение комплексных зоо (беспозвоночных) – микробиологических исследований естественных и окультуренных биотопов.

Обсуждение результатов

Почвенная биота, используя индивидуальные, адаптивные механизмы распространяется по различным типам почв и тем самым активно участвует в глобальном почвообразовательном и биогеоценотическом процессах. Почвенные микроорганизмы и беспозвоночные животные, будучи составной частью трофических блоков биогеоценоза не просто осваивают эти почвы, а регулируют свою жизнедеятельность в соответствии с химическими свойствами почвы, а также с экологической обстановкой окружающей среды. Поэтому полученные результаты по биологическим компонентам изучаемых биотопов могут быть использованы при биодиагностике и биоиндикации природных и особенно антропогенно измененных почв, которые более чувствительны и легко подвергаются изменениям.

Большая часть химических элементов почвы находится в почвенном растворе в виде анионов и катионов. Многие анионы, такие как HCO^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , а также катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Al^{3+} являются продуктами трансформационной деятельности живых организмов и в процессе ионообменных реакций переводят их в усвояемые для растений формы, а также определяют реакцию (рН) почвенной среды.

Как видно, только при комплексном изучении биологических и физико-химических свойств с учетом конкретных морфологических характеристик почвенных горизонтов, можно использовать эти данные, как диагностические тесты при детальной классификации и систематике почв распространенных в различных экоклиматических зонах.

Всесторонние морфогенетические исследования пойменных почв проводились в Азербайджане. Было установлено, что ара-

лы их распространения достаточно разнообразны в зависимости от биоклиматических особенностей окружающей среды. Исследования этих почв охватывали, как физико-химические свойства, конкретно морфогенетические особенности так и характер почвообразовательного процесса. Различия, которые обнаруживались в их развитии, связывались со степенью выраженности пойменного режима и приуроченностью этих почв к различным элементам рельефа пойм [4; 6].

Следствием биологического круговорота является аккумуляция потенциальной солнечной энергии и элементов зольного питания растений, обуславливающая постепенное развитие почвенного профиля и основного свойства почвы, ее плодородия.

Аллювиальные отложения, богатые элементами питания, а также обладающие достаточным увлажнением, создают благоприятные условия для развития луговой растительности. Фитопродукция притеррасного биотопа возрастает до 738 г/м² сырой и 376 г/м² сухой массы. В травостое формируется разнотравно-злаковая ассоциация.

В составе растений целинного ценоза на долю злаковых, бобовых, зонтичных приходится 50,2 %, сложноцветных, гераниевых, губоцветных 23,8 %, крестоцветных, подорожниковых 21,22 % и молочайных 4,78 %.

На агроценозах зерновых и табака были получены другие показатели соответственно 1833,36 г/м² сырой и 217,67 г/м² сухой массы, а также 38 г/м² сырой и 5,0 г/м² сухой массы.

Исследования комплексов беспозвоночных на естественных и окультуренных биотопах выявили специфические группы.

Естественный, целинный ценоз заселен в основном беспозвоночными, адаптированными к аридным экологическим условиям. Доминирующими группами здесь являются насекомые – Insekta, гастроподы – Gastropoda и единичные мокрицы – Isopoda.

Встречаемость беспозвоночных на аллювиальных наносах поймы (в результате миграций животных из близлежащих биотопов) связаны, с одной стороны, с влажностью почвы, а с другой – с приуроченностью их к произрастающей вдоль речной террасы растениям, служащие им дополнительной средой обитания и формированием пищевых связей.

Основными преобладающими группами были насекомые – Insekta относящиеся к семействам: Libellulidae, Cicadellidae, Acrididae, Coccinellidae, Pieridae, Reduviidae, Mantidae, Syrphidae, Formicidae, а также паукообразные семейства: Çaleodidae и гастроподы семейства: Helicida.

Окультуренные ценозы, как известно, создаются в результате активного антропогенного преобразования природных ландшафтов.

При этом меняется не только растительный покров за счет посевных культур, но и формируется совершенно новый по составу и качеству комплекс беспозвоночных животных и микроорганизмов, то есть создается иная внутрпочвенная биосреда.

Микроорганизмы и беспозвоночные животные являются хорошим биологическим материалом для биотестирования почв, позволяющий проводить биологический контроль за состоянием естественных и антропогенно измененных в том числе и окультуренных ценозов. Так, на агроценозе табака доминируют беспозвоночные, относящиеся к типу Artropoda, то есть насекомые – Insekta. Агротехнические мероприятия способствовали появлению в составе беспозвоночных ксеромезофильных групп: изопод – Isopoda; ухверток – Dermaptera; кокцинелид – Coccinellidae. Агроценоз зерновых заселен в основном мезогигрофильными группами беспозвоночных: лямбрицидами – Lumbricidae; моллюсками – Gastropoda; изоподами – Isopoda; ухвертками – Dermaptera и личинками двукрылых – Diptera. Целинные ценозы по трофической структуре представлены фито-сапрофагами и хищниками, а поливные ценозы комплектуются из фитофагов, сапрофагов и хищников.

Состав и содержание микроорганизмов в различных типах почв существенно отличаются. Обладая большой физиологической активностью, микрофлора участвует в превращениях органических и минеральных компонентов почвы с образованием органо-минеральных комплексов и гумусовых веществ [3; 7; 8].

Было установлено, что в 0–30 см слое естественного ценоза средняя численность микроорганизмов составляет 4 090,35 тыс./г почвы.

Групповой состав микробиоты состоит из неспорообразующих бактерий – 278,53 тыс./г почвы (68,1 %), актиномецит – 1284,37 тыс./г почвы (31,4 %), и грибов – 20,45 тыс./г почвы (0,5 %). На долю бацилл приходится 640,67 тыс./г почвы (23 %). Среди обнаруженных грибов особую значимость имеют некоторые представители родов микромицет: *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucorales*, *Saccharomyces*, которые активно участвуют в превращениях растительных остатков и первичном гумусообразовании.

В пробах аллювиальных наносов, в которых преобладают песчаные частицы среднее количество микроорганизмов несколько уменьшается до 3 119 тыс./г почвы. Однако в почвенных пробах притеррасного биотопа под луговой растительностью и испытывающих влияние грунтового увлажнения отмечается увеличение их количества до 5133,2 тыс./г почвы.

На агроценозах под культурой табака и зерновыми получены совершенно другие результаты. Заниженные цифры 3452,7 тыс./г почвы на агроценозе табака возможно связано с борьбой против сорняков (внесением гербицидов), которые отрицательно влияют на развитие микрофлоры. На агроценозе зерновых средняя численность микробиоты составляет 4180,7 тыс./г почвы.

Другой важный вопрос, который рассматривается в статье, – это анализ возможных взаимосвязь между биологическими факторами и количественными показателями гумуса изучаемых ценозов [7].

Определение содержания гумуса на целинном ценозе показали на его существенное изменение практически по всем слоям, от 4,85 % до 2,07–1,6 %.

Такое контрастное уменьшение значений гумуса связано с неодинаковой активностью почвенной биоты, участвующей в трансформации органических остатков на гумусообразование.

Отмечается также изменение общих запасов гумуса и азота между 46,07–22,47 16,32 т/га и 2,47–1,21–0,84 т/га.

В аллювиальных наносах Шин-чая, в которых отмечаются слабая деятельность микробиоты, содержание гумуса, изменялось до минимальных значений – 1,62–1,45–1,24 %. Соответственно уменьшались и их запасы от

13,64 т/га до 15,22–17,01 т/га. Почвенные пробы притеррасного биотопа отличались несколько большим количеством гумуса, который возрастал до 1,54–3,0 %.

Увеличивались также и их запасы от 16,17 т/га до 24,24–27,00 т/га. Аналогично гумусу изменялись показатели азота от 0,06–0,09 % до 0,08–0,16 % с запасами от 0,66–0,96 т/га до 0,84–1,44 т/га.

Во всех случаях динамика содержания гумуса и азота соответствовали количественным и качественным показателям фитомассы, микрофлоры и беспозвоночных животных. На агроценозах зерновых и табака общее содержание гумуса изменялось между 3,9–2,85 % и 2,80–2,23 %. Это тесно связано с агротехническими мероприятиями этих культур.

Исследование химического состава почвенных проб, целинного ценоза выявило некоторые характерные особенности. Было установлено, что реакция почвенной среды слабощелочная ($pH=5,9-6,2$). Содержание катионов Са и Mg по почвенным слоям уменьшались от 17 мг/экв. до 14,5–12,0 мг/экв. и от 7,5 мг/экв. до 5,5–6,0 мг/экв.

Реакция среды на агроценозах табака и зерновых была несколько умеренной в отношении кислотности и изменялась между 6,2–6,6 и 6,3–6,5.

На агроценозе зерновых количество катионов Са и Mg увеличивалось по горизонтам соответственно между 12–24 мг/экв. и 5–11 мг/экв. Эти показатели на агроценозе табака были сравнительно низкими и варьировались между 7,6–8,5 мг/экв. и 3,5–5,5 мг/экв.

В речных наносах изучаемых почв существенно уменьшаются карбонаты, которые интенсивно вымываются и выщелачиваются кислыми продуктами щистовых пород. При этом реакция среды была близка к нейтральной и слабощелочной ($pH = 6,7-7,5$), за счет высокого содержания песчаных отложений богатых кремнеземом. Емкость поглощения равна 25–33 мг/экв. в 100 г почвы. Анализируя взаимосвязь биологических показателей с некоторыми абиотическими факторами, было установлено, что для стабильного развития микроорганизмов и беспозвоночных животных в изучаемых ценозах наиболее приемлемыми являются диапазон изменения увлажнения между 15–28–35 % и температуры

между 18–20–27 °С, а также нейтральная и слабощелочная среда.

Выводы

1. Фитомасса изучаемых биотопов, изменяется для целины между 363 г/м² сырой и 26 г/м² сухой массы, притеррасного биотопа между 738 г/м² сырой и 376 г/м² сухой массы, а для агроценозов зерновых и табака соответственно от 1 833,36 г/м² сырой и 217,67 г/м² сухой массы до 38 г/м² сырой и 5,0 г/м² сухой массы.

2. Установлена различная численность микроорганизмов по отдельным ценозам. На целине она составляет 4 090,35 тыс./г почвы на аллювиальных наносах их количество уменьшается до 3 119 тыс./г почвы. В почве притеррасного биотопа их численность возрастает до 5 133,2 тыс./г почвы. На агроценозах табака и зерновых, численность микрофлоры изменяется соответственно между 3452,7–4180,7 тыс./г почвы.

3. На естественных биотопах доминировали ксерофильные беспозвоночные, относящиеся к насекомым – Insekta, гастроподам – Gastropoda, мокрицам – Isopoda. Окультуренные ценозы, притеррасный биотоп и наносы заселены мезоигрофильных группами: лямбрицидами – Lumbricidae, моллюсками – Mollusca, изоподами – Isopoda, уховертками – Dermoptera, некоторыми паукообразными – Galeodidae.

4. Количество гумуса по изучаемым биотопам варьируют для целины между 4,85–1,6 % аллювиальных наносов между 1,62–1,84 %, притеррасного биотопа между 3,0–1,54 %, агроценозов табака и зерновых между 2,80–2,23 % и 3,9–2,85 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 587 с.
2. Быстрицкая, Т. Л. Почвы и первичная биологическая продуктивность степей Приазовья // Т. Л. Быстрицкая, В. В. Осычнюк. – М. : Наука, 1978. – 107 с.
3. Гасымова, Г. С. Почвенная микробиология // Г. С. Гасымова. – Баку : Изд-во БГУ, 2008. – 200 с.

4. Гиляров, М. С. Методы почвенно-зоологических исследований // М. С. Гиляров. – М. : Наука, 1975. – 281 с.

5. Звягинцев, Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии // Д. Г. Звягинцев. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 303 с.

6. Морфогенетическая диагностика, номенклатура и классификация почв Азербайджана / М. П. Бабаев [и др.]. – Баку : Элм, 2011. – 448 с.

7. Самедов, П. А. Роль биологических факторов в формировании гумуса почв // П. А. Самедов, Б. Б. Алиева, В. Т. Мамедзаде // Почвоведение и Агрохимия. – 2013. – Т. 21, № 1. – С. 82–87.

8. Хомутова, Т. Э. Микробное разнообразие погребенных степных почв, в связи с ходом годовых осадков / Т. Э. Хомутова, А. В. Борисов // Почвоведение. – 2022. – № 11. – С. 1391–1398.

REFERENCES

1. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guide to Chemical Analysis of Soils]. Moscow, Izd-vo MGU, 1970. 587 p.
2. Bystritskaya T.L., Osychnyuk V.V. *Pochvy i pervichnaia biologicheskaiia produktivnost stepei Priazovia* [Soils and Primary Biological Productivity of the Azov Steppes]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 107 p.
3. Gasymova G.S. *Pochvennaia mikrobiologiya* [Soil Microbiology]. Baku, Izd-vo BGU, 2008. 200 p.
4. Gilyarov M.S. *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovaniy* [Methods of Soil-Zoological Research]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 281 p.
5. Zvyagintsev D.G. *Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimii* [Methods of Soil Microbiology and Biochemistry]. Moscow, Izd-vo MGU, 1991. 303 p.
6. Babaev M.P., Gasanov V.G., Jafarova Ch.M., Guseinova S.M. *Morfogeneticheskaiia diagnostika, nomenklatura i klassifikatsiia pochv Azerbaidzhana* [Morphogenetic Diagnostics, Nomenclature and Classification of Soils of Azerbaijan]. Baku, Elm Publ., 2011. 448 p.
7. Samedov P.A., Aliyeva B.B., Mamedzade V.T. *Rol biologicheskikh faktorov v formirovaniy gumusa pochv* [The Role of Biological Factors in the Formation of Soil Humus]. *Pochvovedenie i Agrokhimia* [Journal of Soil Science and Agrochemistry], 2013, vol. 21, no. 1, pp. 82-87
8. Khomutova T.E., Borisov A.V. *Mikrobnnoe raznoobrazie pogrebennykh stepnykh pochv, v sviazi s khodom godovykh osadkov* [Microbial Diversity of Buried Steppe Soils, in Connection with the Course of Annual Precipitation]. *Pochvovedenie* [Journal of Soil Science], 2022, no. 11, p. 1391-1398.

Information About the Authors

Pirverdi A. Samedov, Candidate of Sciences (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Soil Biology, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, M. Ragima St, 5, 1073 Baku, Azerbaijan, samed-bio@yandex.ru

Beyli B. Aliyeva, Candidate of Sciences (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, M. Ragima St, 5, 1073 Baku, Azerbaijan, samed-bio@yandex.ru

Vafa T. Mammadzade, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, M. Ragima St, 5, 1073 Baku, Azerbaijan, samed-bio@yandex.ru

Mehbara E. Sadigova, Candidate of Sciences (Agriculture), Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, M. Ragima St, 5, 1073 Baku, Azerbaijan, samed-bio@yandex.ru

Matanat M. Aliyeva, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, M. Ragima St, 5, 1073 Baku, Azerbaijan, samed-bio@yandex.ru

Shahla Z. Jafarova, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, M. Ragima St, 5, 1073 Baku, Azerbaijan, samed-bio@yandex.ru

Afaq L. Rzayeva, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences, M. Ragima St, 5, 1073 Baku, Azerbaijan, afaq.rzayeva@list.ru

Информация об авторах

Приверди Ахмед оглы Самедов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией почвенной биологии, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, ул. М. Рагима, 5, 1073 г. Баку, Азербайджан, samed-bio@yandex.ru

Бейли Бахад кызы Алиева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, ул. М. Рагима, 5, 1073 г. Баку, Азербайджан, samed-bio@yandex.ru

Вафа Тельман кызы Мамедзаде, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, ул. М. Рагима, 5, 1073 г. Баку, Азербайджан, samed-bio@yandex.ru

Мехбара Эльдар кызы Садыхова, кандидат сельскохозяйственных наук, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, ул. М. Рагима, 5, 1073 г. Баку, Азербайджан, samed-bio@yandex.ru

Матанат Мирисмаил кызы Алиева, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, ул. М. Рагима, 5, 1073 г. Баку, Азербайджан, samed-bio@yandex.ru

Шахла Зохраб кызы Джафарова, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, ул. М. Рагима, 5, 1073 г. Баку, Азербайджан, samed-bio@yandex.ru

Афаг Латифага кызы Рзаева, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, ул. М. Рагима, 5, 1073 г. Баку, Азербайджан, afaq.rzayeva@list.ru



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.7>

UDC 91

LBC 26.17

GEOINFORMATION MAPPING OF URBANIZED TERRITORIES USING REMOTE SENSING DATA (ON THE EXAMPLE OF VOLGOGRAD)

Asel' N. Berdengalieva

Federal Scientific Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

Ruslan N. Berdengaliev

City Information Center, Volgograd, Russian Federation;
Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article examines the dynamics of land cover change in the territory of Volgograd city within the administrative districts from 2017 to 2021. The research objective is to analyze the changes in urban development areas of Volgograd over a five-year period using remote sensing data and geoinformation technologies. The data sources used are global land use maps provided by ESRI, based on the automatic classification of Sentinel-2 satellite imagery with a spatial resolution of 10 m/pixel. The creation and analysis of electronic maps were performed using QGIS 3 software. As a result of the conducted research, the areas of major land cover types were obtained, and their dynamics were studied, identifying areas of new urban development. The three most developed districts are Central, Voroshilovsky, and Krasnooktyabrsky. The built-up area has increased by 325 hectares from 2017 to 2021, with the majority of this increase occurring in the Soviet district of the city. The growth of built-up areas mostly happens at the expense of vacant lots and abandoned arable land. From 2012 to 2021, the population of Volgograd was decreasing by an average of 2,500 people per year. However, the construction of new residential complexes has not ceased. In 2022, the population sharply increased to a record level for the past decade, which may intensify new construction. The city's forested areas are decreasing, which is characteristic of all administrative districts. According to ESRI data, in 2021, the average forest coverage was 5.3% with a forest area of 4.6 thousand hectares, while in 2017, the average forest coverage was 5.6%. The highest forest coverage is observed in the Kirovsky district, at 16.4%. Sarpa Island, which was included within the administrative boundaries of the district in 2008, also has a high forest coverage of 30.8%.

Key words: urban development, Volgograd, remote sensing data, geoinformation technologies, land cover.

Citation. Berdengalieva A.N., Berdengaliev R.N. Geoinformation Mapping of Urbanized Territories Using Remote Sensing Data (On the Example of Volgograd). *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 49-57. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.7>

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ г. ВОЛГОГРАДА)****Асель Нурлановна Берденгалиева**Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН,
г. Волгоград, Российская Федерация**Руслан Нурланович Берденгалиев**Городской информационный центр, г. Волгоград, Российская Федерация;
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается динамика изменения типов земного покрова на территории г. Волгограда в границах административных районов за 2017–2021 годы. Цель исследования – проанализировать изменения площадей городской застройки Волгограда за пятилетний период по данным дистанционного зондирования с применением геоинформационных технологий. Источниками данных послужили глобальные карты землепользования компании ESRI, основанные на автоматической классификации спектрально-зональных спутниковых снимков Sentinel-2 пространственного разрешения 10 м/пикс. Создание электронных карт и их анализ выполнены в программе QGIS 3. В результате проведенного исследования получены площади основных типов земного покрова, а также изучена их динамика, определены участки новой городской застройки. Наиболее застроенными являются Центральный, Ворошиловский и Краснооктябрьский районы. Площадь застройки за 2017–2021 гг. увеличилась на 325 га, большая часть из которых приходится на Советский район города. Прирост застроенных площадей в большинстве случаев происходит за счет пустырей и заброшенной пашни. В 2012–2021 гг. отмечалось снижение численности населения Волгограда в среднем на 2,5 тыс. человек в год. Несмотря на это, строительство новых жилых комплексов не прекращалось. В 2022 г. численность населения резко выросла до рекордной за последнее десятилетие величины, что может интенсифицировать новую застройку. В городе сокращается площадь лесных насаждений, это характерно для всех административных районов. Согласно данным ESRI, в 2021 г. средняя лесистость составила 5,3 % площадью лесного покрова 4,6 тыс. га, а в 2017 г. средняя лесистость была 5,6 %. В Кировском районе наблюдается наибольшая лесистость – 16,4 %. Остров Сарпинский, включенный в административные границы района в 2008 г., также имеет высокую лесистость – 30,8 %.

Ключевые слова: городская застройка, Волгоград, данные дистанционного зондирования, геоинформационные технологии, земной покров.

Цитирование. Берденгалиева А. Н., Берденгалиев Р. Н. Геоинформационное картографирование урбанизированных территорий с использованием данных дистанционного зондирования (на примере г. Волгограда) // Природные системы и ресурсы. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 49–57. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.7>

Изучение роста городов с применением геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования является важным направлением исследований, позволяющим получить детальное представление о процессах урбанизации и их влиянии на окружающую среду [5]. Геоинформационные технологии, такие как географические информационные системы (ГИС), обеспечивают возможность интеграции, анализа и визуализации

пространственных данных, включая данные о городской среде и изменениях, происходящих в ней [8; 11].

Дистанционное зондирование, основанное на сборе данных с помощью спутников и других дистанционных средств, предоставляет ценную информацию о городском росте. Спутниковые изображения высокого разрешения позволяют получать подробные карты городских территорий, определять изменения в ис-

пользовании земли, выявлять новые застройки и инфраструктуру, а также анализировать динамику роста городов на различных временных масштабах [4].

Использование геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования позволяет проводить комплексный анализ городского роста. Это включает оценку изменений в плотности застройки, распределении населения, использовании земельных ресурсов, состоянии экосистем и инфраструктурных систем. Анализ таких данных позволяет выявить тенденции развития городов, прогнозировать потребности в инфраструктуре и ресурсах, а также разрабатывать стратегии устойчивого развития [11].

Кроме того, геоинформационные технологии и данные дистанционного зондирования позволяют оценивать воздействие городского роста на окружающую среду. Это включает анализ изменений в качестве воздуха, загрязнении почвы и водных ресурсов, потерях биоразнообразия и изменениях климатических условий [7; 13]. Такой анализ помогает разрабатывать меры по управлению и снижению негативного влияния городской среды на окружающую природу.

Цель исследования – проанализировать изменения площадей городской застройки Волгограда за пятилетний период по данным дистанционного зондирования с применением геоинформационных технологий.

Объект, материалы и методика исследований

В качестве объекта исследования выбран Волгоград, расположенный в сухостепной зоне. Город растянулся вдоль правого берега Волги. Семь из восьми административных районов города выходят к реке. Самый большой по площади Советский район растянут от р. Волга в субширотном направлении на запад до Варваровского и Бересловского водохранилищ. Площадь территории исследования составляет 85,9 тыс. га. Административные границы города периодически расширяются за счет включения близлежащих населенных пунктов [6]. Также к Кировскому району города в 2008 г. был присоединен крупнейший волжский остров Сарпинский [13].

Источниками данных послужили глобальные карты землепользования ESRI Land Cover, которые доступны с 2017 по 2021 год. Набор данных основан на автоматической классификации типов земного покрова по европейским спутниковым снимкам Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 метров. Данные на каждый год генерируются с помощью модели классификации земель на основе методов искусственного интеллекта (AI) с глубоким обучением, разработанных компанией Impact Observatory [18]. Для обучения этих алгоритмов использовался миллиард пикселей изображений, размеченных человеком, полученных от Национального географического общества США. Данный информационный продукт имеет 11 типов земного покрова, из которых на территории исследования отмечается 7 классов: застройка, водные объекты, лес, открытые почвы и грунты, пашни, водно-болотные угодья и пастбища. Класс пастбища (Rangeland) – открытые участки земли с однородной не высокой растительностью, на территории города к этому типу могут быть отнесены различные пустыри.

При исследовании изменения использовали современные геоинформационные программы QGIS и Google Earth Pro. В программе Google Earth Pro используются снимки сверхвысокого пространственного разрешения и есть возможность выбора даты снимка. В геоинформационной системе QGIS выполнена загрузка данных, их обрезка по границам исследования. С помощью инструмента «Зональная гистограмма» определено количества пикселей и выполнен расчет площадей каждого типа земного района в границах муниципальных образований. Составлены электронные карты типов земного покрова на территорию г. Волгограда на 2017 и 2021 гг. Также проведен анализ динамики численности населения города с использованием официальных статистических данных. Анализ полученных данных выполнен в программе MS Office Excel.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования выявлено, что во всех районах во всех периодах в процентном соотношении доминируют

застройка или пастбища (пустыри) (рис. 1). Наиболее застроенными являются Центральный, Ворошиловский и Краснооктябрьский районы. В меньшей степени застроены южные районы города: Советский, Кировский и Красноармейский. Данное распределение подтверждается результатами других исследований [2].

Средняя лесистость на территории г. Волгограда по данным ESRI составила 5,3 % на 2021 г., а площадь лесного покрова составила 4596,5 га. На 2017 г. лесистость составляла 5,6 %, таким образом наблюдается сокращение площадей лесных насаждений в границах города. Максимальное значение лесистости отмечается в Кировском районе: лесные насаждения занимают здесь 16,4 %. На повышение облесенности района повлияло добавление в 2008 г. в административные границы Кировского района о. Сарпинский, где преобладают пойменные ландшафты [12; 13; 15]. Лесистость о. Сарпинского в 2021 г. составила 30,8 % с площадью древесно-кустарниковых насаждений 3,4 тыс. га, что на 47 га меньше, чем в 2017 году. Лесистость Кировского района на 2021 г. без территории Сарпинского составляет 1,13 % при площади на-

саждений 100,7 га. В 2017 г. площадь лесного покрова в Кировском районе была 187 га. В относительном выражении наиболее сильно площадь древесных насаждений за период исследований уменьшилась в Дзержинском районе (около 57 %), а также Ворошиловском, Тракторозаводском и Центральном (в среднем на 32 %).

В исследовании по классификации древесно-кустарниковой растительности, выполненном А.Ш. Хужахметовой с соавторами [17] средняя лесистость г. Волгограда составила 17,06 %, что на 11,71 % больше, чем по набору данных ESRI Land Cover. Для получения границ древесно-кустарниковых насаждений на территории г. Волгограда использовали авторы автоматизированное определение вегетационного индекса NDVI в программе EO browser на портале Sentinel Hub по спутниковым данным Sentinel-2 за 2017–2022 годы. Такая существенная разница с полученными площадями леса согласно информационному продукту ESRI Land Cover может быть вызвана как ошибками (недоучет лесопокрытой площади в условиях городской застройки), так и отнесением к древесно-кустарниковым насаждениям газонов, поливаемой пашни, высе-

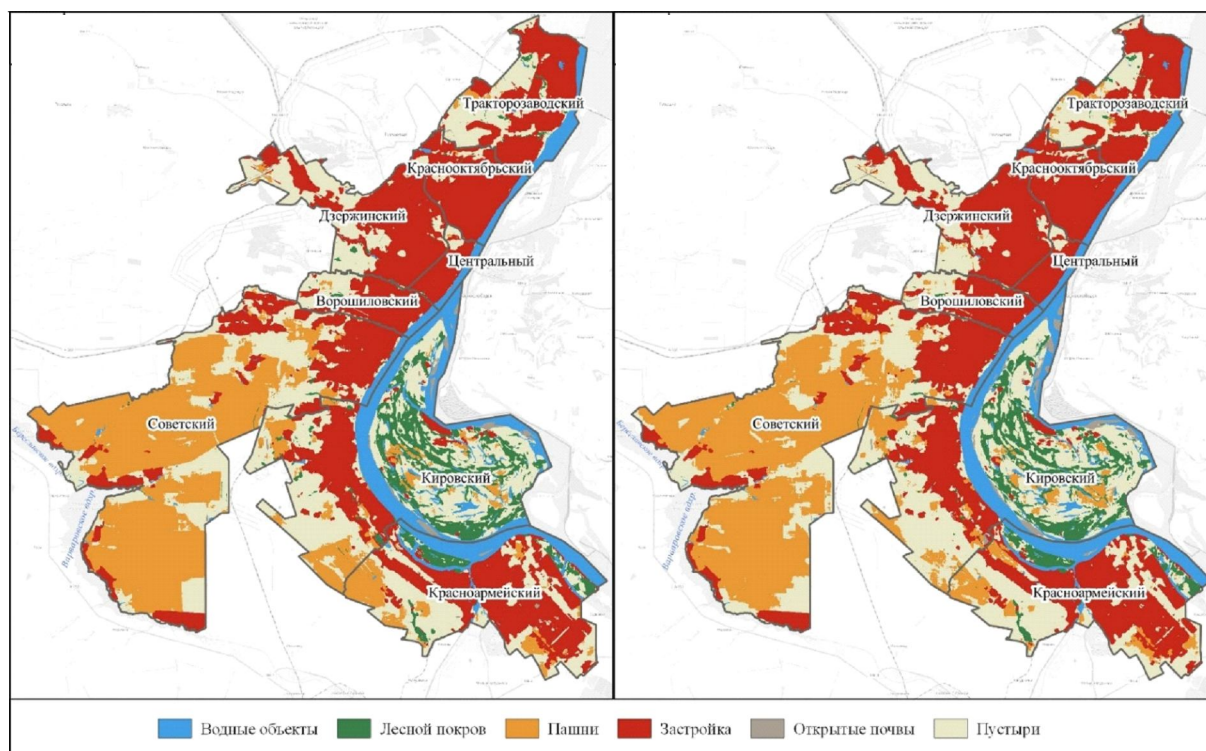


Рис. 1. Распределение территории Волгограда по типам земного покрова

кой околородной растительности, садов и огородов по данным NDVI, что приводит к повышению лесистости.

Застроенная территория за последние пять лет увеличилась на 325 га (рис. 2). Больше всего площадь застройки увеличилась в Советском районе, площадь новых участков застройки – 248 га, что составляет 76 % от всей новой площади. В Краснооктябрьском и Кировском районах городская застройка увеличилась на 32 га в каждом районе, в Ворошиловском районе на 17 га. В целом площадь застройки по городу увеличилась на 1,2 %. Минимальные относительные изменения застроенной площади характерны для Дзержинского и Тракторозаводского районов (0,1–0,2 %), максимальные – для Советского (4,8 %), в котором идет строительство нескольких жилых комплексов.

В программе Google Earth Pro проанализированы изменения на территории Советского района. На рисунке 3 представлен пример масштабной застройки жилого комплек-

са «Родниковая долина» в Советском районе. На снимке 2014 года заметны сгоревшие древесно-кустарниковые насаждения, в том числе и часть государственной защитной лесной полосы «Волгоград-Элиста-Черкесск» (рис. 3, б), в 2020 г. уже идет застройка на территории пустырей (рис. 3, в, г). Указанная гослесополоса находится в неудовлетворительном состоянии и регулярно подвергается воздействию ландшафтных пожаров [3; 9]. Достижение предельного возраста, неблагоприятное воздействие засух, повреждение вредителями и пожарами приводят к снижению площадей лесных насаждений. Большая часть (около 80 %) новой застройки появилась на месте пустырей, и только менее 3 % вновь застроенной площади приходится на уничтоженные лесные насаждения.

В Волгоградской области отмечается уменьшение населения, особенно сельского [1; 16]. Согласно Базе данных муниципальных образований сельское население в ре-

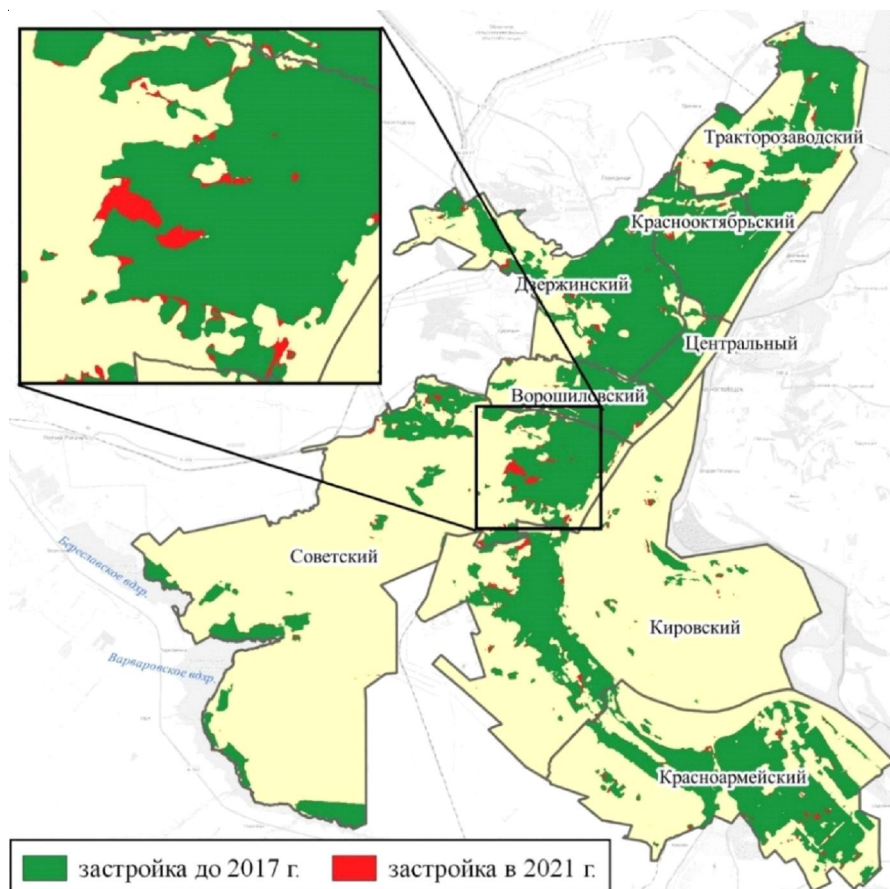


Рис. 2. Сравнение площадей городской застройки по данным ESRI в 2017 и 2021 гг.

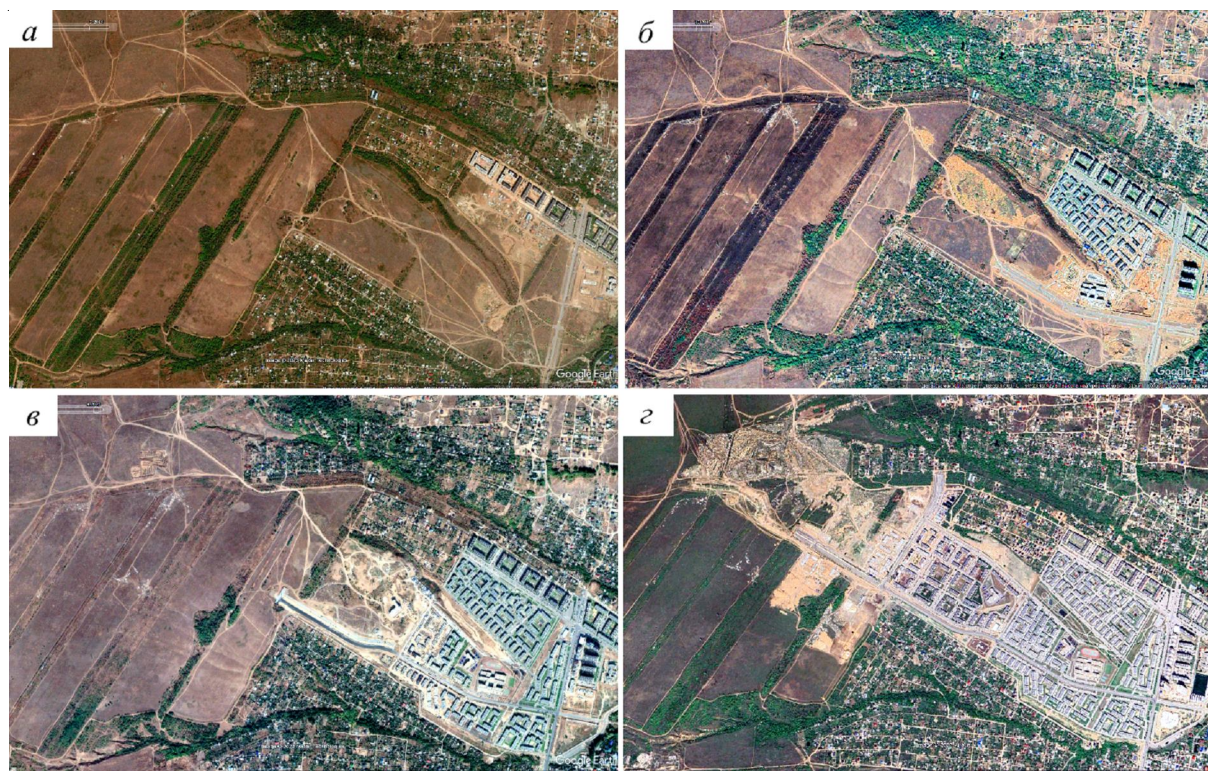


Рис. 3. Фрагменты спутниковых снимков из программы Google Earth Pro:

a – 04.09.2014; *b* – 03.10.2017; *v* – 22.09.2020; *z* – 04.05.2023

гионе сокращается в среднем на 6,5 тыс. человек в год, а городское – 3,5 тыс. в год [10]. Численность населения Волгограда с 2017 по 2021 г. снижалась в среднем на 2,5 тыс. человек. Только в 2022 г. в городе прибавилось около 25 тыс. человек, предположительно за счет миграции. Таким образом, на конец 2022 г. в городе Волгограде наблюдается максимальная численность населения за последнее десятилетие – 1025,7 тыс. человек. Тенденции роста площадей жилой застройки, сохранявшиеся даже при снижении количестве жителей города, могут интенсифицироваться как из-за усиливающейся урбанизации, так и миграционного притока населения [14].

Заключение

В результате проведенного исследования определены изменения земного покрова города Волгограда, что дало возможность получить актуальные сведения о структуре земель в 2017–2021 годах. Установлен рост застроенных площадей, преимущественно за

счет застройки пустырей в Советском районе города. Также отмечен рост площадей открытых почв и грунтов, что может быть связано с расчисткой новых строительных площадок и значительными площадями, на которые свозится грунт из котлованов возводимых построек. Площади лесов и пашни в городе снижаются. Рост площадей городской застройки сохранялся в условиях снижения численности населения Волгограда. В 2022 г. предположительно из-за миграционного притока численность населения города достигла рекордной за последнее десятилетие величины, что может привести к интенсификации строительства.

Таким образом, применение геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования позволяет получать более полное и точное представление о процессах городского роста и их воздействии на окружающую среду. Это является важным инструментом для планирования устойчивого развития городов и принятия эффективных мер по охране окружающей среды и городскому планированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аляев, В. А. Сельское расселение как основа устойчивого развития Волгоградской области / В. А. Аляев, М. В. Аляев // Грани познания. – 2013. – № 3 (23). – С. 58–69.

2. Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS / С. С. Шинкаренко [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 5. – С. 125–141. – DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141

3. Выприцкий, А. А. Анализ влияния почвенно-климатических условий на сохранность государственных защитных лесных полос на основе данных Sentinel-2 / А. А. Выприцкий, С. С. Шинкаренко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 5. – С. 147–163. – DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-147-163

4. Дорошенко, В. В. Функциональное зонирование территории промышленного предприятия дистанционными методами геоинформатики / В. В. Дорошенко // Грани познания. – 2020. – № 6 (71). – С. 25–30.

5. Епринцев, С. А. Геоинформационное картографирование урбанизированных территорий как механизм пространственной оценки социально-экологических факторов / С. А. Епринцев, С. В. Шекоян // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2019. – Т. 5 (15), № 3. – С. 109–115.

6. Зарбалиева, Н. О. Генеральный план г. Волгограда: территориальный анализ современных тенденций экономического развития города // Природные системы и ресурсы. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 34–43. – DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.2.5

7. Матвеев, Ш. Геоинформационный анализ основных источников климатической информации на территорию Волгоградской области / Ш. Матвеев // Научно-агрономический журнал. – 2022. – № 3(118). – С. 81–85. – DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.012.81-85

8. Мелихова, А. В. Основы генерализации данных при проектировании разных уровней детализации в ГИС / А. В. Мелихова // Грани познания. – 2022. – № 3 (80). – С. 93–96.

9. Мониторинг ландшафтных пожаров в Волгоградской области по данным очагов активного горения / С. С. Шинкаренко [и др.] // Природные системы и ресурсы. – 2018. – Т. 8, № 3. – С. 59–66. – DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2018.3.7

10. Муниципальная статистика. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: https://volgastat.gks.ru/municipal_statistics. – Загл. с экрана.

11. Подходы к созданию геоинформационных моделей городских территорий для учета экологи-

ческой составляющей при ведении единого государственного реестра недвижимости / Л. К. Трубина [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 9. – С. 43–51. – DOI: 10.18799/24131830/2018/9/2087

12. Рулев, А. С. Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский / А. С. Рулев, С. С. Шинкаренко, О. Ю. Кошелева // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2017. – Т. 159, № 1. – С. 139–151.

13. Суточная и сезонная динамика температуры поверхности города Волгограда / О. Ю. Кошелева [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2021. – № 1. – С. 14–24. – DOI: 10.17308/geo.2021.1/3252

14. Фесенко, В. В. Анализ реализации основных целей стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 г. / В. В. Фесенко, Н. А. Кукушкина // Грани познания. – 2023. – № 1 (84). – С. 85–91.

15. Формы рекреационного природопользования на территории Волго-Ахтубинской поймы / Д. А. Солодовников [и др.] // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11, Естественные науки. – 2013. – № 2 (6). – С. 53–61. – DOI: 10.15688/jvolsu11.2013.2.7

16. Хаванская, Н. М. Картографические методы исследования системы сельского расселения Волгоградской области / Н. М. Хаванская, В. А. Аляев, Д. А. Семенова // Природные системы и ресурсы. – 2019. – Т. 9, № 4. – С. 64–71. – DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.4.7

17. Хужахметова, А. Ш. Оценка пространственной структуры древесно-кустарниковых насаждений города Волгограда по данным мультиспектральных космических снимков / А. Ш. Хужахметова, В. П. Воронина, С. Е. Лазарев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 3 (67). – С. 218–232. – DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-26

18. Global Land Use/Land Cover with Sentinel-2 and Deep Learning / K. Karra [et al.] // 2021 IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). – 2021. – P. 4704–4707. – DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499

REFERENCES

1. Alyaev V.A., Alyaev M.V. Selskoe rasselenie kak osnova ustoychivogo razvitiya Volgogradskoy oblasti [Rural Settlement as a Basis for Sustainable Development of the Volgograd Region]. *Grani*

poznaniya [Facets of Knowledge], 2013, no. 3 (23), pp. 58-69.

2. Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Gordienko O.A. et al. Analiz vliianiia zapechatannosti pochvennogo pokrova i ozeleneniia na pole temperatur Volgogradskoi aglomeratsii po dannym MODIS [Analysis of the Influence of Soil Cover Sealing and Landscaping on the Temperature Field of the Volgograd Agglomeration According to MODIS Data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], 2020, vol. 17, no. 5, pp. 125-141. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141

3. Vypritskii A.A., Shinkarenko S.S. Analiz vliianiia pochvenno-klimaticheskikh uslovii na sokhrannost gosudarstvennykh zashchitnykh lesnykh polos na osnove dannyykh Sentinel-2 [Analysis of the Influence of Soil and Climatic Conditions on the Preservation of State Protected Forest Strips Based on Sentinel-2 Data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space], 2022, vol. 19, no. 5, pp. 147-163. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-147-163

4. Doroshenko V.V. Funktsionalnoe zonirovaniye territorii promyshlennogo predpriiatiia distantsionnymi metodami geoinformatiki [Functional Zoning of the Territory of an Industrial Enterprise by Remote Geoinformatics Methods]. *Grani poznaniia* [Facets of Knowledge], 2020, no. 6 (71), pp. 25-30.

5. Eprintsev S.A., Shekoian S.V. Geoinformatsionnoe kartografirovaniye urbanizirovannykh territorii kak mekhanizm prostranstvennoi otsenki sotsialno-ekologicheskikh faktorov [Geoinformation Mapping of Urbanized Territories as a Mechanism for Spatial Assessment of Socio-Ecological Factors]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions], 2019, vol. 5 (15), no. 3, pp. 109-115.

6. Zarbalieva N.O. Generalnyi plan g. Volgograda: territorialnyi analiz sovremennykh tendentsii ekonomicheskogo razvitiia goroda [General Plan of Volgograd: Territorial Analysis of Modern Trends in the Economic Development of the City]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2019, vol. 9, no. 2, pp. 34-43. DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.2.5

7. Matveev Sh. Geoinformatsionnyi analiz osnovnykh istochnikov klimaticheskoi informatsii na territorii Volgogradskoi oblasti [Geoinformation Analysis of the Main Sources of Climate Information on the Territory of the Volgograd Region]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic Journal], 2022, no. 3 (118), pp. 81-85. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.012.81-85

8. Melikhova A.V. Osnovy generalizatsii dannyykh pri proektirovani raznykh urovnei detalizatsii v GIS [Fundamentals of Data Generalization in the Design of Different Levels of Detail in GIS]. *Grani poznaniia* [Facets of Knowledge], 2022, no. 3 (80), pp. 93-96.

9. Shinkarenko S.S. et al. Monitoring landshaftnykh pozharov v Volgogradskoy oblasti po dannym ochagov aktivnogo goreniiya [Landscape Fires Monitoring in Volgograd Region According to Active Fire Data]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2018, vol. 8, no. 3, pp. 59-66. DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2018.3.7

10. *Munitsipalnaya statistika* [Municipal Statistics]. URL: https://volgastat.gks.ru/municipal_statistics

11. Trubina L.K., Avrunev E.I., Nikolaeva O.N. et al. Podkhody k sozdaniyu geoinformatsionnykh modelei gorodskikh territorii dlia ucheta ekologicheskoi sostavliaiushchei pri vedenii edinogo gosudarstvennogo reestra nedvizhimosti [Approaches to the Creation of Geoinformation Models of Urban Areas to Take into Account the Environmental Component When Maintaining the Unified State Register of Real Estate]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering], 2018, vol. 329, no. 9, pp. 43-51. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499

12. Rulev A.S., Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu. Otsenka vliianiia gidrologicheskogo rezhima Volgi na dinamiku zatopleniia ostrova Sarpinskii [Assessment of the Influence of the Hydrological Regime of the Volga on the Dynamics of Flooding of Sarpinsky Island]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences], 2017, vol. 159, no. 1, pp. 139-151.

13. Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S., Gordienko O.A. et al. Sutochnaya i sezonnaya dinamika temperatury poverhnosti goroda Volgograda [Daily and Seasonal Temperature Dynamics Surfaces of Volgograd City]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology], 2021, no. 1, pp. 14-24. DOI: 10.17308/geo.2021.1/3252

14. Fesenko V.V., Kukushkina N.A. Analiz realizatsii osnovnykh tselei strategii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiia Volgogradskoi oblasti do 2025 g. [Analysis of the Implementation of the Main Objectives of the Strategy of Socio-Economic Development of the Volgograd Region Until 2025]. *Grani poznaniia* [Facets of Knowledge], 2023, no. 1 (84), pp. 85-91.

15. Solodovnikov D.A., Kanishchev S.N., Zolotarev D.V. et al. Formy rekreatsiionnogo prirodopolzovaniia na territorii Volgo-Akhtubinskoj poimy [Forms of Recreational Nature Management on the Territory of the Volga-Akhtuba Floodplain]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11. Estestvennye nauki* [Science Journal of Volgograd State University. Natural Sciences], 2013, no. 2 (6), pp. 53-61. DOI: 10.15688/jvolsu11.2013.2.7

16. Khavanskaya N.M., Alyaev V.A., Semenova D.A. Kartograficheskie metody issledovaniya sistemy selskogo rasseleniya volgogradskoi oblasti [Cartographic Methods of the Research of the Rural Settlement System in Volgograd Region]. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2019, vol. 9, no. 4, pp. 64-71. DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2019.4.7

17. Khuzhakhmetova A.Sh., Voronina, V.P. Lazarev S.E. Otsenka prostranstvennoi struktury drevesno-kustarnikovykh nasazhdenii goroda Volgograda po dannym multispektralnykh kosmicheskikh snimkov [Assessment of Spatial Structure of Tree and Shrub Plantations of the City of Volgograd According to Multispectral Satellite Images]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Izvestiia of the Lower Volga Agro-University Complex. Science and Higher Professional Education], 2022, no. 3 (67), pp. 218-232. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-26

18. Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z. et al. Global Land Use/Land Cover with Sentinel-2 and Deep Learning. *2021 IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS)*, 2021, pp. 4704-4707. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499

Information About the Authors

Asel' N. Berdengalieva, Junior Researcher, Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforestry Landscapes, Federal Scientific Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Prosp. Universitetsky, 97, 400062 Volgograd, Russian Federation, berdengalieva-an@vfanc.ru

Ruslan N. Berdengaliev, Map Service Engineer, City Information Center, Bobruiskaya St, 7, 400074 Volgograd, Russian Federation; Master's Student, Department of Geography and Cartography, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, kgb-191_282459@volsu.ru

Информация об авторах

Асель Нурлановна Берденгалиева, младший научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, просп. Университетский, 97, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, berdengalieva-an@vfanc.ru

Руслан Нурланович Берденгалиев, инженер картографической службы, Городской информационный центр, ул. Бобруйская, 7, 400074 г. Волгоград, Российская Федерация; магистрант кафедры географии и картографии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, kgb-191_282459@volsu.ru



Журнал «Природные системы и ресурсы» издается для широкого ознакомления научной общественности с результатами современных исследований по экологии, геоэкологии, природопользованию, географии, геоинформатике, а также по биотехнологии и биоинженерии.

Авторами журнала могут быть преподаватели, научные сотрудники и аспиранты высших учебных заведений и научно-исследовательских учреждений России, а также другие отечественные и зарубежные исследователи.

Уважаемые читатели!

Подписка на I полугодие 2024 года осуществляется по «Объединенному каталогу. Пресса России. Газеты и журналы». Т. 1. Подписной индекс 29087.

Стоимость подписки на I полугодие 2024 года 1090 руб. 58 коп.

Распространение журнала осуществляется по адресной системе.

**ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ,
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ В РЕДКОЛЛЕГИЮ ЖУРНАЛА
«ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕСУРСЫ»**

1. Материалы представляются на бумажном и электронном носителях по адресу: 400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100, Волгоградский государственный университет – главному редактору Иванцовой Елене Анатольевне или высылаются по электронной почте на адрес: vestnik11@volsu.ru.

Обязательно наличие сопроводительного письма, в котором должны содержаться следующие пункты: гарантия оригинальности статьи, отсутствия в ней недостоверных данных и плагиата; обязательство не подавать данный материал в другой журнал; информация о наличии/отсутствии потенциального конфликта интересов с членами редколлегии; данные о финансировании исследования (с пометкой об их конфиденциальности или необходимости опубликования); согласие с принципами, изложенными в разделе «Издательская этика» журнала (<https://ns.jvolsu.com/index.php/publishing-ethics-ru>).

Для российских авторов (аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук) необходимо дополнительно представить рекомендацию, подписанную научным руководителем и заверенную печатью учреждения.

2. Правила оформления статей.

Объем статьи не должен превышать 1 п. л.

Каждая статья должна включать следующие элементы издательского оформления:

- 1) Индексы УДК и ББК.
- 2) Заглавие. Подзаголовочные данные (на русском и английском языках).
- 3) Имя, отчество, фамилия автора; ученое звание, ученая степень; контактная информация (место работы/учебы и должность автора, полный почтовый адрес организации, телефон, e-mail) на русском и английском языках.
- 4) Аннотация на русском языке и авторское резюме (Abstract) на английском языке.
- 5) 5–8 ключевых слов или словосочетаний (на русском и английском языках).
- 6) Текст статьи.
- 7) Список литературы на русском языке, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.1-2003, и References – список литературы на английском языке (латинским шрифтом), оформленный в соответствии с требованиями редакции. При необходимости – примечания, приложения.

2.1. Требования к авторским оригиналам на бумажном и электронном носителях.

- 1) Поля по 2 см с каждой стороны.
- 2) Нумерация страницы по центру внизу.
- 3) Шрифт Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5.
- 4) Файл должен быть создан в программе «Microsoft Word» и сохранен с расширением *.rtf; имя файла должно быть набрано латиницей и отражать фамилию автора.

2.2. Оформление библиографических ссылок и примечаний.

- 1) Библиографические ссылки на пристатейный список литературы должны быть оформлены с указанием в строке текста в квадратных скобках цифрового порядкового номера источника и через запятую номеров соответствующих страниц.
- 2) Пристатейный список литературы, озаглавленный как «Список литературы», составляется в алфавитном пронумерованном порядке. Он должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.1–2003 с указанием обязательных сведений библиографического описания.

3. После получения материалов рукопись направляется на рецензирование. Решение о публикации статей принимается редакционной коллегией после рецензирования. Редакция оставляет за собой право отклонить или отправить представленные статьи на доработку на основании соответствующих заключений рецензентов. После получения положительной рецензии редакция уведомляет авторов о том, что статья принята к опубликованию, а также направляет замечания рецензентов и редакторов, в соответствии с которыми необходимо исправить или дополнить статью. В случае отказа в публикации статьи редакция представляет автору мотивированный отказ.

Полнотекстовые версии опубликованных статей и их метаданные (аннотации, ключевые слова, информация об авторах на русском и английском языках, список литературы) будут размещены в свободном доступе в Интернете на официальном сайте издания, на платформе Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU и других реферативных баз данных.

4. Более подробно с требованиями к статьям можно ознакомиться на страничке Издательства на сайте Волгоградского государственного университета: <https://www.volsu.ru> – и сайте журнала: <https://ns.jvolsu.com>.

ISSN 2713-1572



9 772713 157005



45 >