

ISSN 2500-2961  
УДК 55:57:58:59:61:91

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
**ТЕХНОЛОГИИ**

2023. Т. 13. № 4

**Природа и человек:  
экологические исследования**

**Учредитель  
и издатель:**

Московский  
педагогический  
государственный  
университет

Свидетельство  
о регистрации СМИ:  
ПИ № ФС 77–67765  
от 17.11.2016 г.

**Адрес редакции:**

109240, Москва,  
ул. В. Радищевская,  
д. 16–18, каб. 223

**Сайт:** soc-ecol.ru

**E-mail:**

izdat\_mgou@mail.ru

Издается с 2011 г.

Выходит 4 раза в год

Журнал входит в Перечень ведущих  
рецензируемых научных журналов  
и изданий ВАК РФ:

**Биологические науки**

- 1.5.9. Ботаника
- 1.5.7. Генетика
- 1.5.15. Экология
- 1.5.19. Почвоведение
- 1.5.20. Биологические ресурсы
- 1.5.5. Физиология человека и животных
- 1.5.24. Нейробиология

**Географические науки**

- 1.6.12. Физическая география  
и биогеография, география почв  
и геохимия ландшафтов
- 1.6.21. Геоэкология

**Подписной индекс журнала** по Объединенному каталогу  
«Пресса России» – **85004**

ISSN 2500-2961

# ENVIRONMENT AND HUMAN: ECOLOGICAL STUDIES

2023. Vol. 13. No. 4

## **Socialno-ecologicheskie Technologii**

**The Founder  
and Publisher:**

Moscow Pedagogical  
State University

Mass media  
registration  
certificate

ПИ № ФС 77–67765  
as of 17.11.2016

**Editorial office:**

Moscow, Russia, Verh-  
nyaya  
Radishchevskaya str.,  
16–18, room 223,  
109240

The journal is included in the list of the leading peer-reviewed scholarly journals the Higher Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation recommended to PhD candidates and those working for their habilitation who wish to publish the results of their research

The journal has been published since 2011

The journal is published 4 times a year

E-mail: [izdat\\_mgopu@mail.ru](mailto:izdat_mgopu@mail.ru)

Information on journal can be accessed via: [soc-ecol.ru](http://soc-ecol.ru)

## Редакционная коллегия

*Главный редактор*

**Марина Викторовна Костина** – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

*Заместитель главного редактора*

**Зинаида Ивановна Гордеева** – кандидат географических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

*Ответственный секретарь*

**Екатерина Олеговна Королькова** – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет; доцент кафедры клеточной биологии факультета биологии и биотехнологии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва

**Павел Алексеевич Агапов** – кандидат биологических наук; доцент кафедры анатомии и физиологии человека и животных Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет; научный сотрудник лаборатории анатомии и архитектоники мозга Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

**Ирина Олеговна Алябина** – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры географии почв факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Ирина Вениаминовна Беляева-Чемберлен** – доктор биологических наук; редактор содержания (номенклатура и таксономия) баз данных растений и грибов отдела «Биоразнообразие, биоинформатика и анализ распространения растений», Королевские ботанические сады, Кью, Великобритания

**Владимир Владимирович Бобров** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории сохранения биоразнообразия и использования биоресурсов, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

**Алексей Владимирович Богданов** – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории прикладной физиологии высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Василий Николаевич Бурдь** – доктор химических наук (ВАК Республики Беларусь); профессор кафедры химии и химической технологии факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь

**Владимир Павлович Викторov** – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

**Юлия Константиновна Виноградова** – доктор биологических наук; главный научный сотрудник отдела флоры, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г. Москва

**Юрий Никифорович Водяницкий** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; профессор кафедры общего почвоведения факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Ольга Владимировна Галанина** – кандидат биологических наук; доцент кафедры биогеографии и охраны природы Института наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

**Владимир Борисович Дорохов** – доктор биологических наук; заведующий лабораторией нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Александр Сергеевич Зернов** – доктор биологических наук; профессор кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Василий Иванович Ерошенко** – кандидат педагогических наук, доцент; заведующий кафедрой экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

**Сергей Вячеславович Левыкин** – доктор географических наук, профессор; заведующий отделом степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург

**Дмитрий Леонидович Лопатников** – доктор географических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития, Институт географии РАН, г. Одинцово Московской обл.

**Татьяна Михайловна Лысенко** – доктор биологических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия, Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти Самарской области; ведущий научный сотрудник лаборатории общей геоботаники, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

**Ирина Владимировна Лянгузова** – доктор биологических наук, старший научный сотрудник; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии растительных сообществ, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

**Наталья Олеговна Минькова** – кандидат биологических наук, доцент; заместитель проректора по учебной работе, Севастопольский государственный университет

**Сергей Владимирович Наугольных** – доктор геолого-минералогических наук, профессор; главный научный сотрудник лаборатории палеофлористики, Геологический институт РАН, г. Москва

**Наталья Борисовна Панкова** – доктор биологических наук, доцент; главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, г. Москва

**Светлана Камильевна Пятунина** – кандидат биологических наук, доцент; директор Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

**Владимир Николаевич Сальков** – доктор медицинских наук; старший научный сотрудник лаборатории функциональной морфохимии Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

**Олег Викторович Созинов** – доктор биологических наук, доцент (ВАК Республики Беларусь); заведующий кафедрой ботаники, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

**Владимир Семёнович Фридман** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Алексей Владимирович Чернов** – доктор географических наук, доцент; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Андрей Викторович Щербаков** – доктор биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Михаил Сергеевич Яблоков** – кандидат биологических наук; представитель от России, Международный союз охраны природы и природных ресурсов, г. Глен, Швейцария; координатор, Ассоциация заповедников и национальных парков Северо-запада России, пос. Пржевальское, Смоленская обл.; главный специалист, Информационно-аналитический центр поддержки заповедного дела, г. Москва

## Editorial Board

### *Editor-in-Chief*

**Marina V. Kostina** – professor at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

### *Deputy Chief Editor*

**Zinaida I. Gordeeva** – professor at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

### *Executive secretary*

**Ekaterina O. Korolkova** – associate professor at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; Associate Professor at the Department of Cell Biology of the Faculty of Biology and Biotechnologies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

**Pavel A. Agapov** – associate professor at the Department of Anatomy and Physiology at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; researcher at the Anatomy and Architectonics Laboratory at the Brain Research Department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

**Irina O. Alyabina** – professor at the Soil Geography Department at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Irina V. Belyaeva-Chamberlain** – content editor – Plant & Fungal Names, Biodiversity Informatics & Spatial Analysis, Royal Botanic Gardens, Kew, United Kingdom

**Vladimir V. Bobrov** – senior researcher at the Laboratory of Biodiversity Conservation and Use of Biological Resources, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Aleksej V. Bogdanov** – head at the Laboratory of General Physiology of Temporary Connections, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Vasilii N. Burd** – professor at the Department of Chemistry and Chemical Technology at the Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

**Aleksei V. Chernov** – leading researcher at the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes at the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Vladimir B. Dorohov** – head at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Vasilii I. Eroshenko** – head at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

**Vladimir S. Friedman** – senior researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Conservation at the Department of Higher Plants of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Olga V. Galanina** – associate professor at the Department of Biogeography and Environmental Protection at the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Russia

**Sergey V. Levykin** – Head at the Department of Steppe Studies and Nature Management, Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

**Dmitry L. Lopatnikov** – senior researcher at the World Development Geography Laboratory, Institute of Geography RAS, Odintsovo, Moscow region, Russia

**Irina V. Lyanguzova** – leading researcher at the Laboratory of Ecology of Plant Communities, Komarov Institute of Botany, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

**Tatyana M. Lysenko** – senior researcher at the Laboratory of Phytodiversity Problems, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Science, Togliatti, Samara region, Russia

**Natalia O. Minkova** – deputy vice-rector for Academic Affairs, Sevastopol State University, Russia

**Serge V. Naugolnykh** – chief scientific officer at the Laboratory of Paleofloristics, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Natalia B. Pankova** – chief scientific officer at the Laboratory of Physical-Chemical and Environmental Pathophysiology, Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

**Svetlana K. Piatunina** – director at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

**Vladimir N. Salkov** – senior researcher at the Laboratory of Functional Morphochemistry, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

**Andrei V. Scherbakov** – leading researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Nature Protection of Higher Plants at the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Oleg V. Sozinov** – head at the Department of Botany, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

**Yulia K. Vinogradova** – chief researcher at the Flora Department, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Vladimir P. Viktorov** – head at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

**Yury N. Vodyanitsky** – professor at the Department of General Soil Science at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Mikhail S. Yablokov** – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland; coordinator, Association of Nature Reserves and National Parks of North-West Russia, Przhevalskoye, Smolensk region; Chief Specialist, Information and Analytical Center for Support of Conservation Affairs, Moscow

**Aleksandr S. Zernov** – professor at the Department of Higher Plants at the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

## Содержание

### ИЗУЧЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

*С.В. Наугольных, М.И. Афонькин*

Новый представитель  
ихнорода *Megalosauripus* (динозавры)  
из нижнего мела Северного Кавказа . . . . . 347

*Н.Г. Черткова, А.В. Усатов,  
П.И. Костылев, Н.Г. Дуплий*

Идентификация генов устойчивости  
к длительному затоплению  
в гибридных образцах риса . . . . . 366

### ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И УРБЭКОЛОГИЯ

*Т.А. Трифонова, А.Г. Космачева,  
А.А. Марцев, О.Г. Селиванов, И.Н. Курочкин*

Оценка засоления почв среднего по численности города  
(на примере Гусь-Хрустального  
Владимирской области) . . . . . 384

### АНТРОПОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Н.В. Лигун*

Влияние слабого сверхнизкочастотного  
электромагнитного поля 2 и 8 Гц  
на консолидированность дневного сна. . . . . 399

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

*М.А. Ключникова, П.В. Стручков, И.Г. Кваша*

Влияние запаха эфирных масел на поведение  
лабораторных мышей и крыс:  
краткий систематический обзор . . . . . 413

# Contents

## STUDY AND CONSERVATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY

*S.V. Naugolnykh, M.I. Afonkin*

A new representative  
of the ichnogenus *Megalosauripus* (dinosaurs)  
from the Lower Cretaceous  
of Northern Caucasus . . . . . 347

*N.G. Chertkova, A.V. Usatov,  
P.I. Kostylev, N.G. Dupliy*

Identification of long-term flood-resistant genes  
in rice hybrid samples. . . . . 366

## ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS AND URBAN ECOLOGY

*T.A. Trifonova, A.G. Kosmacheva,  
A.A. Martsev, O.G. Selivanov, I.N. Kurochkin*

Assessment of soil salinity  
in an average city (on the example  
of Gus-Khrustalny in Vladimir region). . . . . 384

## ANTHROPOECOLOGICAL RESEARCH

*N.V. Ligun*

The influence of a weak ultra-low frequency  
electromagnetic field 2 and 8 Hz on the consolidation  
of daytime sleep. . . . . 399

## ANALYTICAL REVIEWS

*M.A. Klyuchnikova, P.V. Struchkov,  
I.G. Kvasha*

The effects of essential oil scents on the behavior  
of laboratory mice and rats: A brief systematic review . . . . . 413



Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-347-365

УДК 551.763.1:568.191

**С.В. Наугольных<sup>1</sup>, М.И. Афонькин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Геологический институт Российской академии наук,  
119017 г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Северо-Кавказский федеральный университет,  
355017 г. Ставрополь, Российская Федерация

## Новый представитель ихнорода *Megalosauripus* (динозавры) из нижнего мела Северного Кавказа

Район Кавказских Минеральных вод – уникальное место, в котором сосредоточено большое количество обнажений отложений мелового возраста в интервале от валанжинского до маастрихтского ярусов. Эти отложения включают ископаемые остатки многочисленных и разнообразных организмов, включая следы их жизнедеятельности. Статья посвящена описанию нового ихновида следов хищных динозавров, отнесенных к ихнороду *Megalosauripus*. Следы были обнаружены в валанжинских отложениях (нижний мел) окрестностей г. Кисловодска. Из всего материала, имеющегося в распоряжении авторов и представленного серией полевых и лабораторных фотографий, детальных прорисовок как самих следов, так и фиксации их взаимного расположения на поверхностях напластования валанжинских отложений, а также гипсовых слепков, снятых с наиболее хорошо сохранившихся и представительных экземпляров, было отобрано четыре следа, отличающихся хорошей сохранностью, которые были положены в основу



подготовки настоящей работы. Подробно рассмотрена история изучения следов динозавров на Северном Кавказе. Наиболее представительный отпечаток стопы, отнесенный к новому виду *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov., был избран в качестве голотипа нового ихновида. Голотип представляет собой трехпалый след с отпечатком когтевых фаланг. Наиболее выступает вперед третий палец: длина 18 см, ширина 5 см. Второй палец: длина 11 см, ширина 3 см. Четвертый палец: длина 12 см, ширина 2 см. Первый палец отпечатан слабо. Углы между пальцами: между вторым и третьим  $36^\circ$ , между третьим и четвертым  $30^\circ$ . Полная длина следа 19 см. Максимальная ширина 12 см. Глубина до 1 см. Приведено описание еще трех следов, отнесенных к этому же ихновиду. Дано сравнение нового ихновида *M. caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, sp. nov. с морфологически сходными следами мегалозаврид из других регионов мира. Описываемые следы являются самыми небольшими по размеру среди остальных известных видов ихнорода *Megalosauripus*. Они отличаются от *M. transjuranicus* Razzolini et al., *M. uzbekistanicus* Gabunyia et Kurbatov, а также от следов этого морфологического типа из Марокко и Северной Америки небольшими размерами и слабой выраженностью отпечатков фаланг пальцев.

**Ключевые слова:** меловая система, палеоихнология, динозавры, новые таксоны, *Megalosauripus*

**Благодарности.** Работа подготовлена в рамках государственного задания Геологического института Российской академии наук.

Авторы выражают свою искреннюю признательность А.В. Иванову (Музей землеведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Институт географии Российской академии наук, Москва) за ценные замечания.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Наугольных С.В., Афонькин М.И. Новый представитель ихнорода *Megalosauripus* (динозавры) из нижнего мела Северного Кавказа // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 4. С. 347–365. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-347-365

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-347-365

**S.V. Naugolnykh<sup>1</sup>, M.I. Afonkin<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Geological Institute, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 119017, Russian Federation<sup>2</sup> North-Caucasus Federal University,  
Stavropol, 355017, Russian Federation

## A new representative of the ichnogenus *Megalosauripus* (dinosaurs) from the Lower Cretaceous of Northern Caucasus

The Northern Caucasus area is a unique place, which contains numerous outcrops of the Cretaceous deposits of wide stratigraphic range from Valanginian up to Maastrichtian stages. These deposits contain taxonomically various and highly diverse fossils of many organisms, and traces of their life activity as well. The paper deals with a description of a new ichnospecies of the carnivorous dinosaurs attributed to the ichnogenus *Megalosauripus*, found in the Valanginian deposits (Lower Cretaceous) of the close vicinity of the City of Kislovodsk. Four best-preserved footprints were selected for the present study. These footprints represent a part of the collection of data including a series of field and camera photo-images, detailed line-tracing drawings of the footprints, measurements of the footprints relative position on the Valanginian depositional / sedimentary surfaces, and the plaster molds taken of/from the footprints. History of study of the dinosaur footprints in Northern Caucasus region is described in detail. The most representative footprint assigned to a new ichnospecies *M. caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov. was selected as a holotype. The holotype is a tridactyl footprint with imprints of claw phalanges. The most prominent digit is a middle one (third digit), 18 cm long and 5 cm wide. Second digit is 11 cm long and 3 cm wide. Fourth digit is 12 cm long, 2 cm wide. The first digit is weakly visible. The angles between digits are: the angle between second and third digits is 36°, the angle between third and fourth digits is 30°. Full length

of the footprint is 19 cm. Maximal width of the footprint is 12 cm. The depth of the footprint is about 1 cm. Two additional footprints attributed to the same ichnospecies are described in detail as well. A comparison of the new ichnospecies *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov. and the morphologically similar megalosaurid footprints from other regions of the world is given. The footprints described in the present paper are smaller than most of the other representatives of the ichnogenus *Megalosauripus*. They are different of the similar ichnospecies *M. transjuranicus* Razzolini et al., *M. uzbekistanicus* Gabunya et Kurbatov, and the similar footprints of the same morphological type from Morocco and North America in weakly pronounced imprints of the digit phalanges.

**Key words:** Cretaceous, paleoichnology, dinosaurs, new taxa, *Megalosauripus*

**Acknowledgments.** The work was prepared within the framework of the state assignment of the Geological Institute, Russian Academy of Sciences.

The authors express their sincere gratitude to A.V. Ivanov (Museum of Geography of the Lomonosov Moscow State University; Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow) for valuable comments.

FOR CITATION: Naugolnykh S.V., Afonkin M.I. A new representative of the ichnogenus *Megalosauripus* (dinosaurs) from the Lower Cretaceous of Northern Caucasus. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 347–365. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-347-365

## Введение

В ходе исследований нижнемеловых отложений, обнажающихся в районе Кавказских Минеральных Вод (окрестности г. Кисловодска, Ставропольский край), одним из авторов (СВН) были обнаружены следы динозавров, которые могут быть отнесены к ихнороду *Megalosauripus* Lessertisseur.

Следы были оставлены хищными динозаврами подотряда Theropoda инфраотряда Carnosauria (систематика по: [Черепанов, Иванов, 2001]). В настоящее время существует несколько конкурирующих между собой, а подчас, и взаимоисключающих представлений о систематике и филогении теропод. Чтобы не углубляться в детали этой дискуссии, следует отметить, что основные источники противоречий в подходах к систематике теропод связаны с определением соотношения плезиоморфий и апоморфий при составлении филогенетических схем, что, в свою очередь, отражает предконцепцию автора той или иной схемы.

Именно поэтому в настоящей работе приняты традиционные представления о систематике теропод и динозавров в целом [Черепанов, Иванов, 2001].

В окрестностях Кисловодска обнаружены следы динозавров нескольких типов и в разной степени сохранившиеся. Наиболее известна следовая дорожка игуанодонтида из местонахождения Ольховка-1, открытая в 1980-е гг. (подробнее об истории находки см.: [Наугольных, 2010; Сенников, Наугольных, 2010]). Следы мегалозаврид были обнаружены в местонахождениях Ольховка-2 и Березовка-2 [Naugolnykh, 2018, 2020]. Также были найдены следы, морфологически близкие роду *Macropodosaurus Zakharov* (местонахождение Ольховка-2), кроме этого, каких-то небольших орнитопод, близких роду *Camptosaurus Marsh*, а также, возможно, птерозавров [Наугольных, 2021]. Высока вероятность того, что разнообразие следов наземных тетрапод, встречающихся в этом районе, перечисленными типам не исчерпывается, однако их поиск и детальное изучение – дело будущих исследований.

Большая часть кисловодских ископаемых следов наземных тетрапод приурочена к одному стратиграфическому уровню, а именно, к верхней части валанжинского яруса. Известняки, слагающие эти отложения, образуют отчетливо выраженную бронирующую поверхность с куэстовым рельефом [Мордвилко, 1960], наблюдающимся в ущельях рек Ольховки, Березовки и Аликоновки. Отдельные следы также встречены в вышележащих готеривских отложениях.

## Материал и методика

Учитывая, что часть обсуждаемых в статье следов и следовых дорожек располагаются на особо охраняемой территории, входящей в состав Кисловодского национального парка (местонахождение Ольховка-2), а другая часть – в долине р. Березовки в пределах муниципального образования г. Кисловодск (местонахождение Березовка-2) попытки каким-либо образом извлечь сами следы из тех отложений, в которых они сохранились, пока не предпринимались. Теоретически рассуждая, осуществить такую процедуру можно, но только с применением специального оборудования и тяжелой техники, имея для осуществления таких действий официальное разрешение хозяйствующих субъектов. Кроме этого, можно осуществить музеефикацию плит со следами непосредственно на самих местонахождениях. Но и такое решение проблемы сохранения этих ценных геолого-палеонтологических памятников также требует больших затрат и потребует специальной защиты местонахождений от актов вандализма. Если проблему вандализма

в Кисловодском национальном парке можно решить путем установки скрытых видеокамер и организации охраны работниками частных охранных подразделений, то в Березовском ущелье защитить следы от вандалов будет сложно. Именно поэтому информация о новых находках следов динозавров и других наземных тетрапод пока практически не поступает в масс-медиа, а публикуется преимущественно в специализированных научных журналах.

Методика изготовления слепков следов, разработанная одним из авторов, подробно изложена в предыдущей работе [Naugolnykh, 2020]. Для удобства цитирования везде ниже по тексту вместо слов «слепок следа» при упоминании объектов исследования применяется слово «след».

Из всего материала, имеющегося в распоряжении авторов и представленного серией полевых и лабораторных фотографий, детальных прорисовок как самих следов, так и их взаимного расположения на поверхностях напластования, а также слепков, снятых практически со всех наиболее хорошо сохранившихся следов, было отобрано четыре экземпляра следов, отличающихся хорошей сохранностью. Эти экземпляры происходят из двух местонахождений: Ольховка-2 и Березовка-2 (подробнее о номенклатуре изученных местонахождений см. [Naugolnykh, 2020, 2022]).

Изученная коллекция следов в настоящее время хранится в Геологическом институте РАН, однако в перспективе предполагается передать ее в монографический отдел одного из профильных московских музеев.

## История изучения следов динозавров на Кавказе

Первые следы динозавров на Кавказе обнаружил учитель истории, краевед Петре Чабукиани в 1933 г. На горе Сатаплия, в 6 км к северо-западу от г. Кутаиси в Грузии, были найдены более ста пятидесяти следов задних лап, в основном оставленных тероподами. Следы были обнаружены в нижнемеловых отложениях. Первые сведения о следах динозавров на г. Сатаплия были опубликованы Н.А. Канделаки и Г.С. Дзоценидзе в 1938 г.

Уже после окончания Великой Отечественной войны эти отпечатки изучил палеонтолог Леонид Калистратович Габуня, который описал следы динозавров в качестве новых рода и вида (*Satapliasaurus tschabukianii* Gabunia) в 1951 г. [Габуня, 1951]. В качестве голотипа был избран полный след задней лапы, с отпечатками всех четырех пальцев. К тому же роду *Satapliasaurus* Габуня отнес еще два вида – *Satapliasaurus kandelakii* Gabunia и *S. dsocenidzei* Gabunia. Отмечалось их сходство со следами *Columbosauripus* Sternberg [Sternberg,

1932] из верхнего мела Канады. На два метра выше уровня со следами сатаплиазавров в разрезе Сатаплиа были обнаружены следы с тремя короткими пальцами, направленными вперед. Эти следы, предположительно, принадлежат камптозаврам s.l. (Camptosauridea [Несов, 1995]).

В 1958 г. в издательстве Академии наук СССР вышла книга Л.К. Габунии «Следы динозавров (по материалам горы Сатаплиа и данным литературы)», в которой он подвел итог своим исследованиям [Габуния, 1958]. На данный момент местонахождение «Сатаплиа» – на территории охраняемого природного заповедника и доступно для посещения.

Следующая по хронологии находка следов динозавров на Кавказе произошла на территории Ставропольского края в Предгорном районе. В 1987 г. работники Кисловодского водоканала обнаружили на плите, расположенной на территории водозабора в долине р. Ольховки, странные отпечатки. В 2010 г. вышла статья, в которой было приведено первое научное описание находки [Наугольных, 2010]. В апреле–августе 2018 г. и июне–июле 2019 г. группа исследователей Северо-Кавказского федерального университета, получив доступ к плите со следами динозавра, провела изучение ее, а также прилегающей к ней территории, с использованием геофизических и геохимических методов. Итоги работы этой группы исследователей были представлены на Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа» (10–12 октября 2019 г., г. Ессентуки) [Результаты..., 2019]. Так как плита со следами находится на территории Кисловодского водоканала, доступ к ней ограничен. Для сохранения объекта от атмосферных осадков предприятием был сооружен навес.

В балке Ксурт на р. Ардон в Алагирском районе Республики Северная Осетия – Алания Ю.О. Гавриловым (Геологический институт РАН, г. Москва) на поверхности напластования глинистых алевролитов были обнаружены следы динозавров раннеюрского возраста [Гаврилов, 2020]. Все найденные следы, как одиночные, так и целые следовые дорожки, принадлежат хищным динозабрам – тероподам (Theropoda). Выявлено несколько морфотипов, среди которых есть отпечатки и небольших, и крупных особей.

В 2018 г. в результате повторного маршрута на местонахождение «Ольховка-1» одним из авторов настоящей статьи (СВН) были изготовлены слепки двух наиболее хорошо сохранившихся следов по оригинальной методике, специально разработанной для объектов этого типа [Naugolnykh, 2020]. Разведочные маршруты были проведены

ниже по течению р. Ольховки, а также в долинах рек Аликоновки и Берёзовки, в окрестностях Кисловодска и в самом городе (улицы Ермолова и Березовская), где выходят на поверхность породы того же возраста, что и в обнажении «Ольховка-1».

Результатом стало открытие следов не только динозавров, но и птерозавров (ихнород *Pteraichnus* Stokes). Следы сходного типа также были обнаружены на плато Бермамыт в Карачаево-Черкесии [Наугольных, 2021].

Были найдены морфотипы следов динозавров, которые принадлежат хищным тероподам мегалозавридам (ихнород *Megalosauripus*), небольшим травоядным орнитоподам камптозаврам (cf. *Camptosaurus* sp.), макроподозаврам (ихнород *Macropodosaurus*) из группы сегнозавров (семейство Therizinosauridae). Также были обнаружены предполагаемые следы сцелидозавра (*Scelidosaurus* Owen), но в вышележащих отложениях готеривского яруса.

Ниже приводится список наиболее важных ихнофоссилий мезозойских тетрапод, найденных на Кавказе; подробные библиографические ссылки см. выше, а также в контекстуальных страницах интернета.

1. Следы теропод (*Satapliasaurus tshabukianii*, *S. dsocenidzei*, *S. kandelakii*); на вышележащем уровне (два метра вверх над следами теропод) присутствуют следы небольших орнитопод (*Camptosaurus*). Гора Сатаплиа, Кутаиси, Грузия, нижний мел, берриас-валанжин.

2. Следы крупных орнитопод (*Iguanodontipus* spp.), теропод (*Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov.; *Megalosauripus* spp.), сегнозавров (*Macropodosaurus* sp.), мелких орнитопод (cf. *Camptosaurus* sp.) и птерозавров (*Pteraichnus* sp.) Ущелья рек Ольховки и Берёзовки, г. Кисловодск, Ставропольский край, Россия, нижний мел, валанжин. Предполагаемые следы панцирных динозавров (*Scelidosaurus*) из готеривских отложений, обнажающихся в бассейне р. Ольховки, г. Кисловодск.

3. Следы теропод (Theropoda). Балка Ксурт, река Ардон, Алагирский район, Республика Северная Осетия – Алания, Россия, нижняя юра, плинсбах.

4. Следы динозавров, среди них, возможно, орнитопод (Hadrosauoidea) и мелких теропод (Theropoda); Мартвильский каньон в Мегрелии, р. Абаша, в 20 км от города Мартвили, Грузия, верхний мел<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> URL: <http://jurassic.ucoz.ru/forum/9-1089-1> (дата посещения: 30.10.2022).



5. Следы лап и клюва птерозавра (*Pteraichnus*). Плато Бермамыт, Малокарачаевский район, Республика Карачаево-Черкесия, Россия, нижний мел, Валанжин.

### Палеоихнологическое описание

Класс Eureptilia (Diapsida)

Подкласс Archosauria

Надотряд Dinosauria Owen, 1842

Отряд Saurischia Seeley, 1888

Подотряд Theropoda Marsh, 1881

Семейство Megalosauridae Huxley, 1869 (Eubrontidae Lull, 1904)

Род *Megalosauripus* Lessertisseur, 1955 emend. Lockley et al., 1998

*Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin sp. nov.

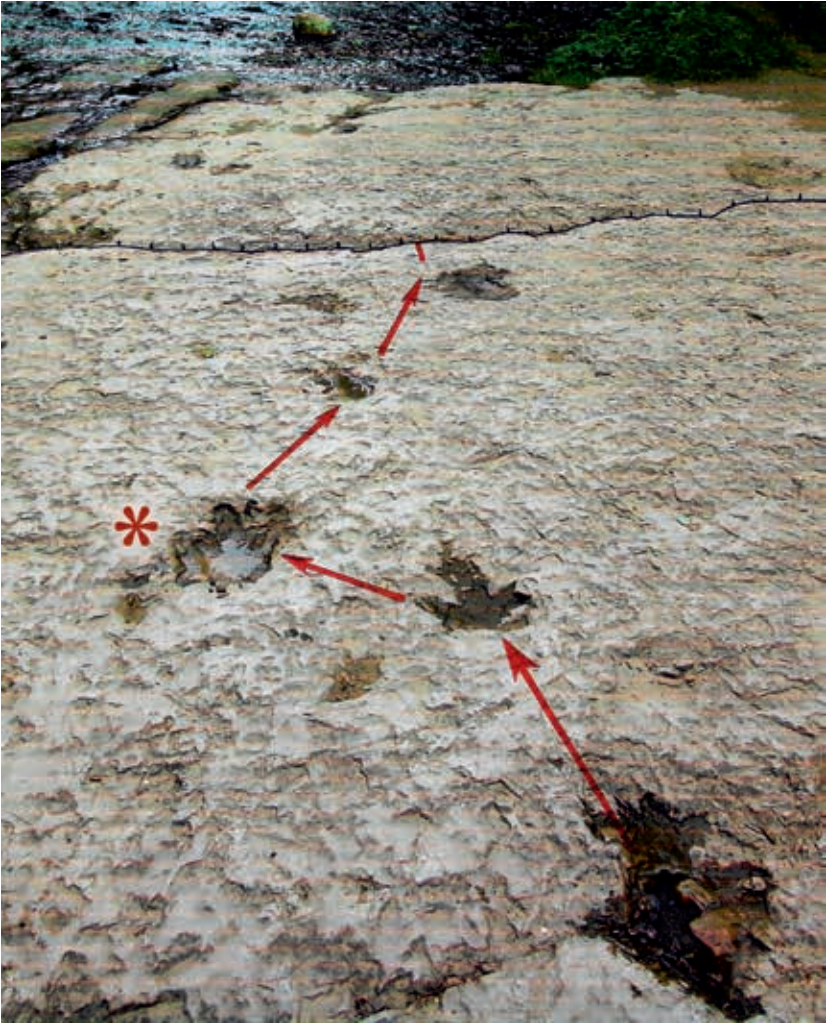
Название вида: *caucasicus* – от «Кавказские горы» (рис. 1–4, 5 (фиг. 1), рис. 6 (фиг. 12)).

Голотип: № KF-1; см. рис. 1 (отмечен астериском), 3 (фиг. 3), 4, 5 (фиг. 1); местонахождение Ольховка-2; нижний мел, валанжинский ярус.

**Diagnosis.** Narrow tridactyl footprints of small to medium size, subtriangular to rhombic shape, heel is rounded, sometimes with imprint of first digit. All visible digits pointed.

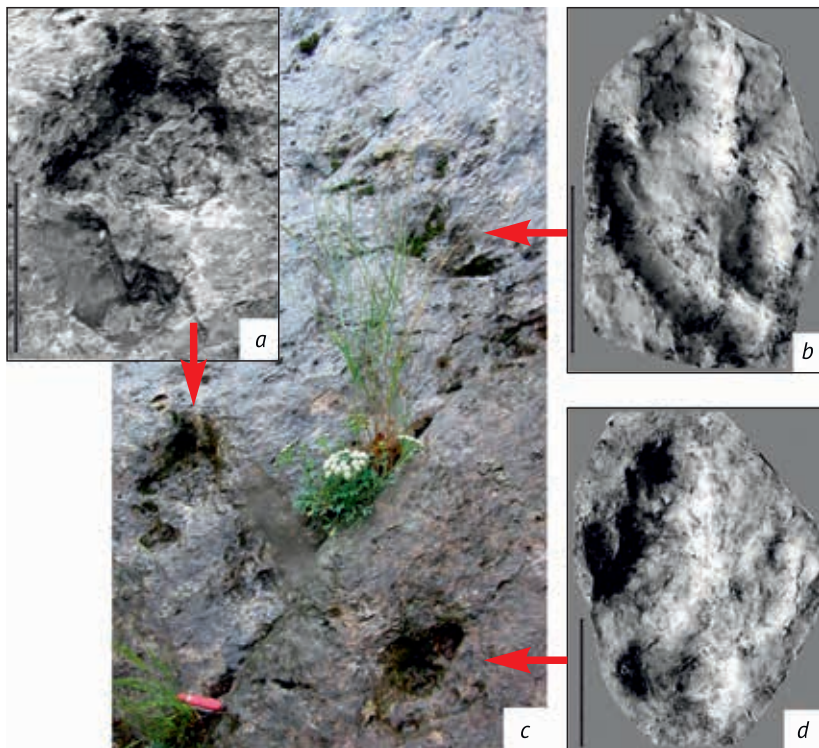
**Описание.** Голотип представляет собой трехпалый след с отпечатком когтевых фаланг. Наиболее выделяющимся (выдвинутым вперед) является третий палец: длина 18 см, ширина 5 см. Второй палец: длина 11 см, ширина 3 см. Четвертый палец: длина 12 см, ширина 2 см. Первый палец отпечатан слабо. Углы между пальцами: между вторым и третьим 36°, между третьим и четвертым 30°. Полная длина следа 19 см. Максимальная ширина 12 см. Глубина до 1 см.

Паратип № KF-2; см. рис. 3, фиг. 4; местонахождение Березовка-2; нижний мел, валанжинский ярус. Трехпалый след с отпечатком когтевых фаланг. Наиболее выделяющимся является третий палец: длина 19 см, ширина 5 см. Второй палец: длина 13 см, ширина 4 см. Четвертый палец: длина 15 см, ширина 3 см. Первый палец отпечатан слабо, ширина 4 см. Углы между пальцами: между вторым и третьим 22°, между третьим и четвертым 22°. Полная длина следа 19 см. Максимальная ширина 14 см. Глубина следа до 1 см.



**Рис. 1.** Следовая дорожка *Megalosaurus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov. Кисловодский национальный парк, долина р. Ольховки, местонахождение Ольховка-2. Нижний мел, валанжинский ярус  
Место взятия слепка-голотипа отмечено астериском

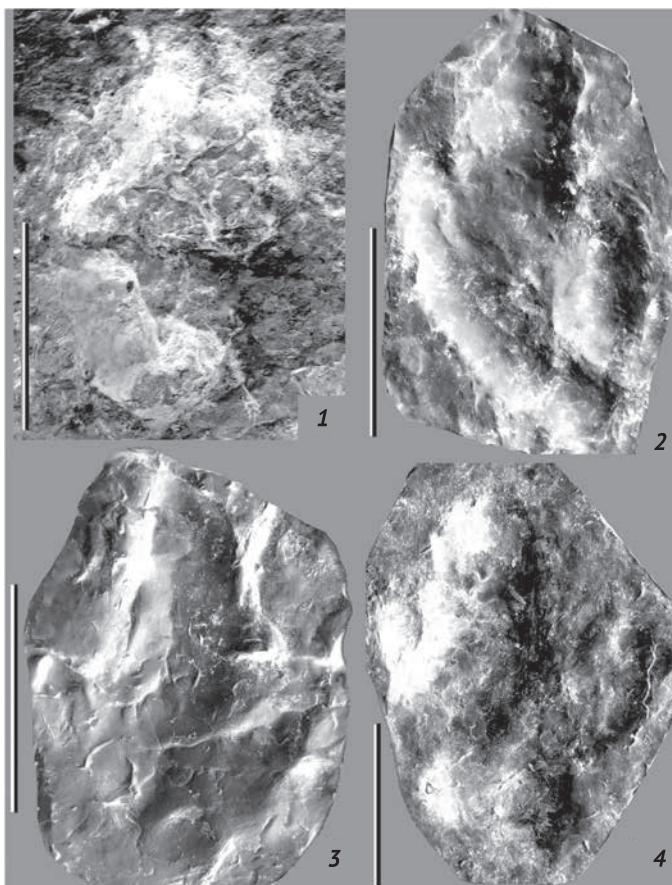
**Fig. 1.** A trackway of *Megalosaurus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov. The Kislovodsk National Park, Olkhovka River Valley, the locality Olkhovka-2. Lower Cretaceous, Valanginian  
The place of taking of the holotype mold is marked by an asterisk



**Рис. 2.** Следовая дорожка *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov. Долина р. Березовки, местонахождение Березовка-2. Нижний мел, валанжинский ярус  
Длина масштабной линейки – 10 см

**Fig. 2.** A trackway of *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov. The valley of Berezovka River, the locality Berezovka-2. Lower Cretaceous, Valanginian.  
Scale bar is 10 cm

Паратип № KF-3; см. рис. 3, фиг. 1; местонахождение Березовка-2; нижний мел, валанжинский ярус. Трехпалый след со слабо различимыми отпечатками пальцев. Наиболее выделяющимся являются третий и четвертый пальцы. Поскольку границы этого следа не очень отчетливые, его линейные размеры здесь не указаны. В целом, общие размеры и пропорции этого следа вполне соответствуют размерам и пропорциям остальных следов, отнесенных к этому виду.



**Рис. 3.** Следы *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov., инвертированные фотоизображения:

1 – KF-3; 2 – KF-4; 3 – голотип KF-1; 4 – KF-2

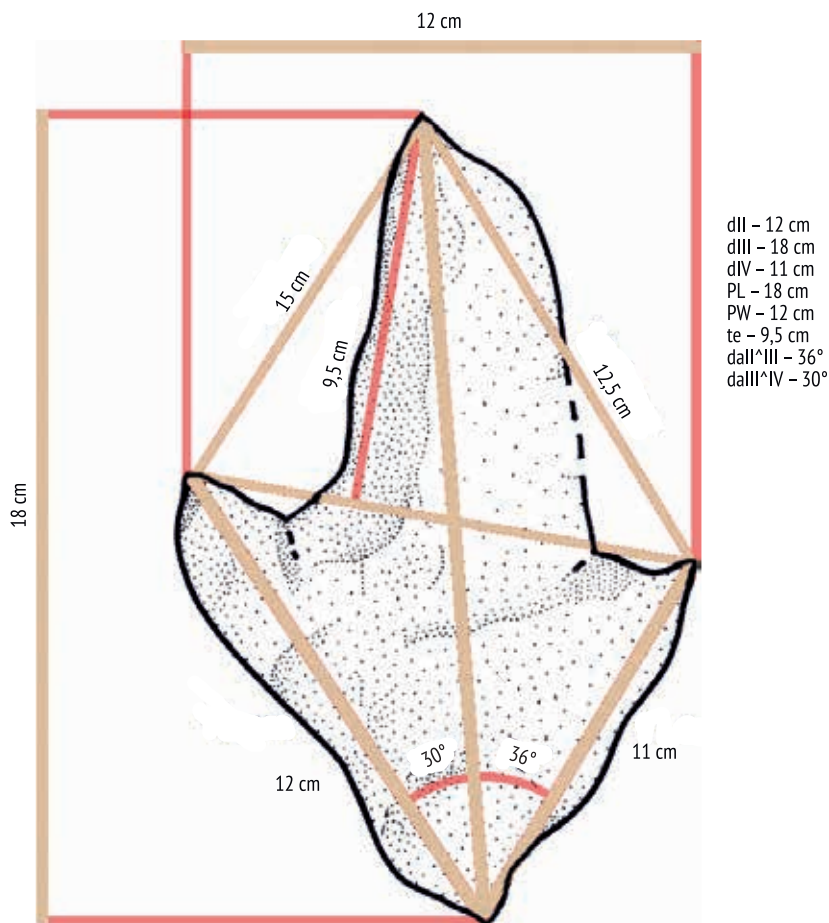
Местонахождения: долина р. Березовки, местонахождение Березовка-2 (1, 2, 4); Кисловодский национальный парк, долина р. Ольховки, местонахождение Ольховка-2 (3). Нижний мел, валанжинский ярус  
Длина масштабной линейки – 10 см

**Fig. 3.** The footprints *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov., inverted images:

1 – KF-3; 2 – KF-4; 3 – holotype № KF-1; 4 – KF-2

Localities: valley of the Berezovka River, the locality Berezovka-2 (1, 2, 4); the Kislovodsk National Park, valley of the Olkhovka River, the locality Olkhovka-2 (3). Lower Cretaceous, Valanginian  
Scale bar is 10 cm



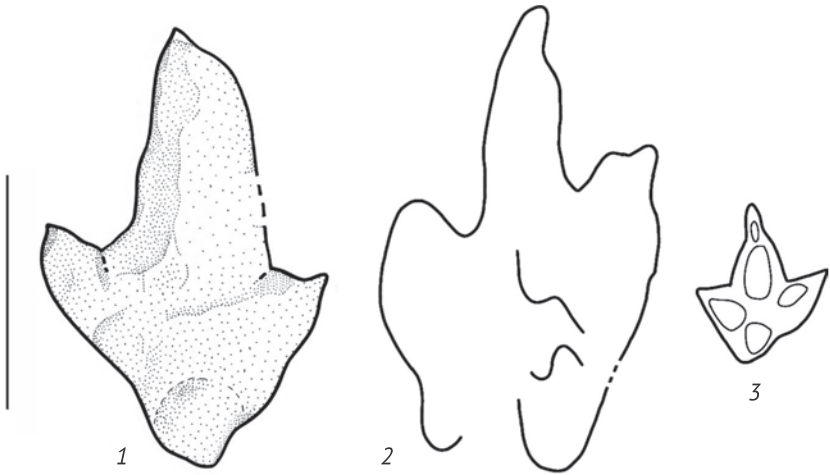


**Рис. 4.** Результаты измерения основных линейных параметров голотипа (KF-1) *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, *ichnosp. nov.*

Кисловодский национальный парк, долина р. Ольховки, местонахождение Ольховка-2. Нижний мел, валанжинский ярус  
 Длина масштабной линейки – 10 см

**Fig. 4.** Results of measurements of the basic linear parameters of the holotype (KF-1) of *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, *ichnosp. nov.*

The Kislovodsk National Park, valley of the Olkhovka River, the locality Olkhovka-2. Lower Cretaceous, Valanginian  
 Scale bar is 10 cm



**Рис. 5.** Сравнительная морфология следов мегалозаврид:

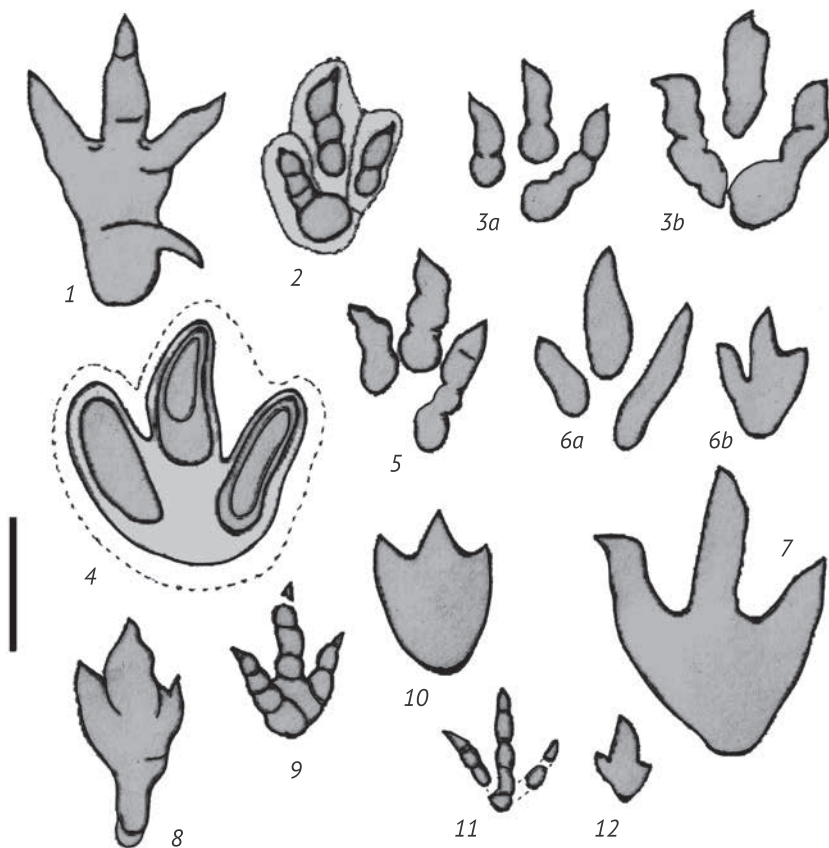
1 – *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov., голотип KF-1; 2 – *Satapliasaurus* (по [Габуня, 1958]; местонахождение: Сатаплиа, Грузия); 3 – неописанный морфотип следов не крупного теропода (рисунок по фото (<http://jurassic.ucoz.ru/forum/9-1089-1>, дата посещения 30.10.2022); местонахождение: каньон Мартвили, Грузия)  
Длина масштабной линейки – 10 см

**Fig. 5.** Comparative morphology of the megalosaurid footprints:

1 – *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov., holotype KF-1; 2 – *Satapliasaurus* (after: [Gabunia, 1958]; the Sataptia locality, Georgia); 3 – undescribed morphotype of the small theropod footprints (line-tracing after image published in: <http://jurassic.ucoz.ru/forum/9-1089-1>, access date: 30.10.2022; locality: the Martvili gorge, Georgia)  
Scale bar is 10 cm

**Рис. 6.** Основные морфотипы следов мегалозаврид:

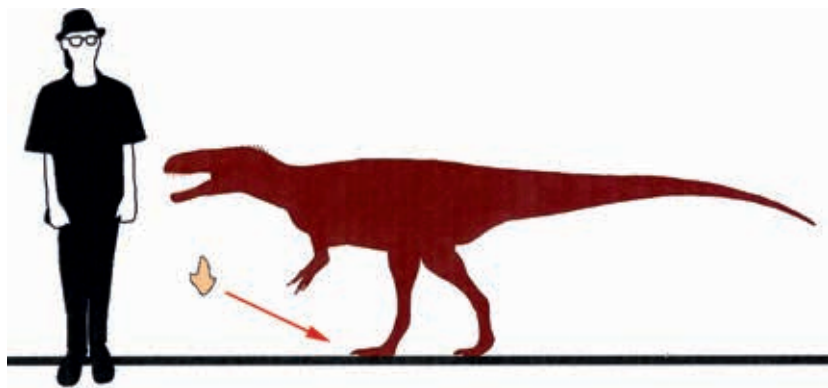
1 – *Megalosauripus/Bueckeburgichnus maximus* [Thulborn, 2001];  
2 – *Megalosauripus transjuranicus* [Razzolini et al., 2017];  
3 – *Megalosauripus uzbekistanicus* (a – Turkmenistan, b – Uzbekistan) [Lockley et al., 1996, 1998];  
4 – *Megalosauripus teutonicus* [Razzolini et al., 2017];  
5 – *Megalosauripus* sp., США, штат Юта [Haubold, 1971];  
6 – *Megalosauripus brionensis* [Lockley et al., 1998];  
7 – *Megalosauripus/Eubrontes glenrosensis* [Sciscio et al., 2017];  
8 – *Megalosauripus/Euthynichniumlus itanicum* [Santos et al., 2008];  
9 – *Megalosauripus* sp., Марокко [Belvedere et al., 2010];  
10 – *Megalosauripus gomesi* [Lockley et al., 1998];  
11 – “*Megalosauropus*” *broomensis* [Razzolini et al., 2017];  
12 – *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, ichnosp. nov.  
Длина масштабной линейки – 30 см



**Fig. 6.** The main morphotypes of the megalosaurid footprints:

- 1 – *Megalosauripus/Bueckeburgichnus maximus* [Thulborn, 2001];
  - 2 – *Megalosauripus transjuranicus* [Razzolini et al., 2017];
  - 3 – *Megalosauripus uzbekistanicus* (a – Turkmenistan, b – Uzbekistan) [Lockley et al., 1996, 1998];
  - 4 – *Megalosauripus teutonicus* [Razzolini et al., 2017];
  - 5 – *Megalosauripus* sp., USA, Utah [Haubold, 1971];
  - 6 – *Megalosauripus brionensis* [Lockley et al., 1998];
  - 7 – *Megalosauripus/Eubrontes glenrosensis* [Sciscio et al., 2017];
  - 8 – *Megalosauripus/Euthynichniumlus itanicum* [Santos et al., 2008];
  - 9 – *Megalosauripus* sp., Morocco [Belvedere et al., 2010];
  - 10 – *Megalosauripus gomesi* [Lockley et al., 1998];
  - 11 – “*Megalosauropus*” *broomensis* [Razzolini et al., 2017];
  - 12 – *Megalosauripus caucasicus* ichnosp. nov.
- Scale bar is 30 cm

Паратип № KF-4; см. рис. 3, фиг. 2; местонахождение Березовка-2; нижний мел, валанжинский ярус. Трехпалый след с отпечатком когтевых фаланг. Наиболее выделяющимся является третий палец: длина 19 см, ширина 5 см. Второй палец: длина 13 см, ширина 4 см. Четвертый палец: длина 15 см, ширина 3 см. Первый палец отпечатан слабо, ширина 4 см. Углы между пальцами: между вторым и третьим  $15^\circ$ , между третьим и четвертым  $23^\circ$ . Полная длина следа 19 см. Максимальная ширина 11 см. Глубина до 1 см.



**Рис. 7.** Реконструкция размеров и формы тела теропода, которому принадлежат следы *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, *ichnosp. nov.*

**Fig. 7.** Reconstruction of the size and body shape of the theropod that left the footprints *Megalosauripus caucasicus* Naugolnykh et Afonkin, *ichnosp. nov.*

**С р а в н е н и е.** Описываемые следы являются самыми небольшими по размеру среди остальных известных видов ихнорода *Megalosauripus* (см. рис. 5–7; обзор литературы см. [Lockley et al., 1996, 1998; Thulborn, 2001; Santos et al., 2008; Belvedere et al., 2010; Sciscio et al., 2017]). Они отличаются от *Megalosauripus transjuranicus* Razzolini et al. [Razzolini et al., 2017], *M. uzbekistanicus* Gabunia et Kurbatov, а также от следов этого морфологического типа из Марокко и Северной Америки невыраженностью отпечатков фаланг пальцев. У *M. caucasicus* Naugolnykh et Afonkin sp. nov. очертания пальцев сильно слиты, визуально слабо дифференцированы, что сближает его с некоторыми следами *M. brionensis* (Haubold) [Haubold, 1971], *M. (Euthynichnium) lusitanicum* (Norca) и *M. gomesi* Antunes. По этим же критериям новый вид отличается от большинства следов *Satapliasaurus* [Габуня, 1971] из Грузии.



Местонахождение и возраст: Джинальский хребет, долина реки Ольховки, местонахождение Ольховка-2; нижний мел, валанжинский ярус; пять следов из одной следовой дорожки, включая голотип вида (хорошо сохранились только два следа); четыре следа из одной следовой дорожки местонахождения Березовка-2. Все следы удовлетворительной сохранности.

## Библиографический список / References

Габуня Л.К. О следах динозавров из нижнемеловых отложений западной Грузии // Доклады АН СССР. 1951. Т. 81. № 5. С. 917–919. [Gabunia L.K. About dinosaur tracks from the Lower Cretaceous deposits of Western Georgia. *Doklady AN SSSR*. 1951. Vol. 81. No. 5. Pp. 917–919. (In Rus.)]

Габуня Л.К. Следы динозавров. М., 1958. [Gabunia L.K. *Sledy dinozavrov* [Dinosaur tracks]. Moscow, 1958.]

Гаврилов Ю.О. Следы динозавров в терригенных отложениях раннеюрского шельфа центральной части Северного Кавказа (седиментологические и палеоэкологические обстановки) // Литология и полезные ископаемые. 2020б. № 5. С. 408–418. [Gavrilov Yu.O. Dinosaur footprints in terrigenous deposits of the Early Jurassic shelf of the central part of Northern Caucasus (sedimentologic and paleoecologic environments). *Lithology and Mineral Resources*. 2020. No. 5. Pp. 408–418. (In Rus.)]

Мордвилко Т.А. Нижнемеловые отложения Северного Кавказа и Предкавказья. М.; Л., 1960. [Mordvilko T.A. *Nizhnemelovye otlozhenija Severnogo Kavkaza i Predkavkazja* [Lower Cretaceous deposits of the North Caucasus and Ciscaucasia]. Moscow; Leningrad, 1960.]

Наугольных С.В. На поиски меловых палеопочв, или По следам игуанодона // Природа. 2010. № 4. С. 43–48. [Naugolnykh S.V. In search of Cretaceous paleosols, or In the footsteps of *Iguanodon*. *Priroda*. 2010. No. 4. Pp. 43–48. (In Rus.)]

Наугольных С.В. Взгляд на мезозойскую эру: тайны «Берега динозавров» // Природа. 2018. № 7. С. 58–63. [Naugolnykh S.V. A look at the Mesozoic era: The secrets of the “Dinosaur Beach”. *Priroda*. 2018. No. 7. Pp. 58–63. (In Rus.)]

Наугольных С.В. Геомониторинг палеонтологически значимых территорий Кавминвод и находки следов динозавров и птерозавров в этом регионе // Социально-экологические технологии. 2021. Т. 11. № 4. С. 488–507. DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-4-488-507 [Naugolnykh S.V. Geomonitoring of the paleontologically significant areas of the Caucasus Mineral Waters and new discoveries of the dinosaur and pterosaur footprints in this region. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2021. Vol. 11. No. 4. Pp. 488–507. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-4-488-507]

Несов Л.А. Динозавры Северной Евразии: Новые данные о составе комплексов, экологии и палеобиогеографии. СПб., 1995. [Nesov L.A. *Dinozavry Severnoi Evrazii: novye dannye o sostave kompleksov, ekologii i paleobiogeografii*

[Dinosaurs of Northern Eurasia: New data on the composition of complexes, ecology and paleobiogeography]. St. Petersburg, 1995.]

Результаты обследования плиты со следами динозавра методами геофизического и геохимического анализа / Якушев В.М., Голованов К.С., Шерстюков М.П. и др. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. IX / Под ред. И.А. Керимова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М., 2019. С. 535–539. [Yakushev V.M., Golovanov K.S., Sherstjukov M.P. et al. Results of examination of a slab with dinosaur footprints using geophysical and geochemical analysis methods. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geokologii Severnogo Kavkaza*. Т. IX. 2019. I.A. Kerimov, V.B. Zaalishvili, V.I. Cherkashin (eds.). Pp. 535–539. (In Rus.)]

Сенников А.Г., Наугольных С.В. Первая находка следов динозавров в Российской Федерации // IV Международный семинар по ихнотаксономии. М., 2010. С. 26–28. [Sennikov A.G., Naugolnykh S.V. The first discovery of dinosaur tracks in the Russian Federation. *IV International workshop on ichnotaxonomy. Moscow – St.-Petersburg, June 21–26, 2010, Abstracts*. A.V. Dronov (ed.). Moscow, 2010. Pp. 26–28. (In Rus.)]

Черепанов Г.О., Иванов А.О. Ископаемые высшие позвоночные. СПб., 2001. [Tcherpanov G.O., Ivanov A.O. *Iskopaemye vyschie pozvonochnye* [Fossils of higher vertebrates]. St. Peterburg, 2001.]

Belvedere M., Mietto P., Ishigaki S.A Late Jurassic diverse ichnocoenosis from the siliciclastic Louaridene Formation (Central High Atlas, Morocco). *Geological Quarterly*. 2010. Vol. 54. Pp. 367–380.

Haubold H. *Ichnia amphibiorum et reptiliorum fossilium*. Handbuch der Paläoherpetologie. E. Kuhn (eds.). G. Fischer, 1971.

Lockley M.G., Meyer C.A., Santos V.F. *Megalosauripus* and the problematic concept of megalosaur footprint. *Gaia*. 1998. No. 15. Pp. 313–337.

Lockley M.G., Meyer C., Schulz-Pittman R., Forney G. Late Jurassic dinosaur tracksites from Central Asia: A preliminary report on the world's longest trackways. *Continental Jurassic. Symposium Volume*. M. Morales (ed.). Flagstaff, 1996. Bulletin 60. Pp. 137–140.

Naugolnykh S.V. Dinosaur tracks from the Caucasian Mineral Waters Country in the context of the study of Lower Cretaceous paleosols of this region. *Paleontological Journal*. 2020. Vol. 54. No. 7. Pp. 87–96.

Naugolnykh S.V. Paleosols and Tetrapod tracks from the Lower Cretaceous of the Northern Caucasus. *Paleontological Journal*. 2022. Vol. 56. No. 11. Pp. 1491–1511.

Razzolini N.I., Belvedere M., Marty D. et al. *Megalosauripus transjurancicus* ichnosp. nov. A new Late Jurassic theropod from NW Switzerland and implications for tridactyl dinosaur ichnology and ichnotaxonomy. *PLoS One*. 2017. 12:e0180289. DOI: 10.1371/journal.pone.0180289.

Santos V.F., Silva C.M., Rodrigues L.A. Dinosaur track sites from Portugal: Scientific and cultural significance. *Oryctos*. 2008. Vol. 8. Pp. 77–88.

Sciscio L., Bordy E.M., Abrahams M. et al. The first megatheropod tracks from the Lower Jurassic upper Elliot Formation, Karoo Basin, Lesotho. *PLoS One*. 2017. No. 12 (10). e0185941. DOI: 10.1371/journal.pone.0185941.

Sternberg C.M. Dinosaur tracks from Peace River, British Columbia. *Annual Report, National Museum of Canada*. 1932. Pp. 59–85.

Thulborn T. History and nomenclature of the theropod dinosaur tracks *Bueckeburgichnus* and *Megalosauripus*. *Ichnos*. 2001. Vol. 8. Pp. 207–222.

Статья поступила в редакцию 23.07.2023, принята к публикации 24.08.2023  
The article was received on 23.07.2023, accepted for publication 24.08.2023

## Об авторах / About the authors

**Наугольных Сергей Владимирович** – профессор РАН, доктор геолого-минералогических наук; главный научный сотрудник лаборатории палеофлористики, Геологический институт Российской академии наук, г. Москва

**Sergey V. Naugolnykh** – Dr. Hab. (Geology and Mineralogy); chief scientist officer at the Laboratory of Paleofloristics, Geological Institute RAS, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6506-7319>

E-mail: [naugolnykh@list.ru](mailto:naugolnykh@list.ru)

**Афонькин Максим Иванович** – студент медико-биологического факультета, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

**Maxim I. Afonkin** – student at the Medicine-Biologic Faculty, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation

E-mail: [afonkinmaksym@yandex.ru](mailto:afonkinmaksym@yandex.ru)

## Заявленный вклад авторов

**Наугольных С.В.** – подготовка текста и иллюстраций, общая концепция, участие в полевых работах

**Афонькин М.И.** – сравнительный анализ изученного материала, исторический обзор, обсуждение результатов

## Contribution of the authors

**S.V. Naugolnykh** – preparation of the text and illustrations, general concept, participation in field work

**M.I. Afonkin** – comparative analysis of the material studied, historical overview, discussion of the research results

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи  
All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-366-383

УДК 575.167

**Н.Г. Черткова<sup>1, 2</sup>, А.В. Усатов<sup>1</sup>,  
П.И. Костылев<sup>2</sup>, Н.Г. Дуплий<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Южный федеральный университет,  
344090 г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>2</sup> Аграрный научный центр «Донской»,  
347740 г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация

## Идентификация генов устойчивости к длительному затоплению в гибридных образцах риса

Рис – важная зерновая культура, известная способностью расти на затопленной почве. Растения риса конкурируют с сорняками, а использование гербицидов зачастую малоэффективно и нерентабельно. В решении данной проблемы могут помочь сорта, которые имеют гены, придающие устойчивость к глубокому затоплению, поэтому изучение ДНК-маркеров является важной задачей. В локусах толерантности к затоплению имеются ген *Sub1*, который активируется в анаэробных условиях. В локусе находятся три сходных гена: *Sub1A*, *Sub1B*, *Sub1C*, но только ген *Sub1A* повышает выживаемость в условиях длительного затопления. Целью исследования является поиск наиболее эффективного маркера *Sub1A* для идентификации в отечественных гибридных образцах риса генов толерантности к длительному затоплению как природному методу борьбы с сорными растениями. В качестве доноров использовали зарубежные сорта (Inbarga-3, BR-11, TDK-1, IR-64, CR-1009, Swarna), а в качестве реципиентных форм – российские сорта (Новатор, Магнат, Степняк, Бахус, Командор, Кубань-3, Боярин, Контакт). Из популяций  $F_5$ – $F_9$  поколений отобрали 96 скороспелых гибридов. Для идентификации гена у гибридных растений использовали три набора самых широко используемых, по литературным данным, локус-специфических праймеров: *Sub1A(1F1R)*, *Sub1A(2F2R)* и *Sub1A(3F3R)*. Из 96 исследованных гибридных растений ампликон участка *Sub1A(1F1R)* обнаружен

© Черткова Н.Г., Усатов А.В., Костылев П.И., Дуплий Н.Г., 2023

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License  
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



в 17 образцах, ампликон участка *Sub1A(2F2R)* – в 17 образцах, а праймер *Sub1A(3F3R)* инициировал неспецифическую амплификацию и не позволил идентифицировать генотипы. Для дальнейшей проверки фенотипического выражения интродуцируемых локусов провели анализ морфо-физиологического ответа всех гибридных линий риса в условиях затопления. В условиях затопления количество проросших семян риса у родительских линий (Новатор, Боярин и Степняк) снижалось, как и у гибридов, не унаследовавших локус по данным молекулярно-генетического анализа. Таким образом, рекомендуется проводить анализ по двум маркерам для повышения эффективности.

**Ключевые слова:** рис (*Oryza sativa* L.), гены *Sub1*, ДНК-маркеры генов толерантности к длительному затоплению у риса, гибридные линии риса, устойчивость к затоплению у риса

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Идентификация генов устойчивости к длительному затоплению в гибридных образцах риса / Черткова Н.Г., Усатов А.В., Костылев П.И., Дуплий Н.Г. // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 4. С. 366–383. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-366-383

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-366-383

**N.G. Chertkova<sup>1,2</sup>, A.V. Usatov<sup>1</sup>,  
P.I. Kostylev<sup>2</sup>, N.G. Dupliy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation

<sup>2</sup> Agricultural Research Center “Donskoy”,  
Zernograd, Rostov region, 347740, Russian Federation

## Identification of long-term flood-resistant genes in rice hybrid samples

Rice is an important grain crop known for its ability to grow in flooded soil. Sometimes rice plants resist weeds and herbicides' application ineffectively and unprofitably. The varieties that have flood-resistant genes can help solve

this problem, so the study of DNA markers is of great importance. Flood-resistant loci contain the *Sub1* gene, which is activated under anaerobic conditions. The locus contains three similar genes *Sub1A*, *Sub1B*, *Sub1C*, but only the gene *Sub1A* improves resistance to such conditions. The purpose of the study is to find the most effective *Sub1A* marker for identifying genes for tolerance to prolonged flooding in domestic hybrid rice samples as a natural method of weed control. As donors there have been used foreign varieties (Inbara-3, BR-11, TDK-1, IR-64, CR-1009, Swarna), and Russian varieties (Novator, Magnat, Stepnyak, Bakhus, Komandor, Kuban-3, Boyarin, Kontakt) as recipient forms. From the populations of  $F_5$ - $F_9$  generations, there have been selected 96 early maturing hybrids. To identify the gene in hybrid plants, three sets of locus-specific primers, the most widely used according to the literature, were used: *Sub1A*(1F1R), *Sub1A*(2F2R), and *Sub1A*(3F3R). The region amplicon *Sub1A*(1F1R) was found in 17 samples among 96 studied hybrids, the region amplicon *Sub1A*(2F2R) was found in 17 samples, and the *Sub1A*(3F3R) primer has initiated nonspecific amplification and did not allow the identification of genotypes. To further verify the phenotypic expression of the introduced locus, the morpho-physiological response of all hybrid rice lines under flooding conditions was analyzed. Under flooding conditions, the number of germinated rice seeds in the parental lines (Novator, Boyarin and Stepnyak) decreased, as well as in hybrids that did not inherit the locus according to molecular genetic analysis. As a result, it is recommended to carry out analysis using two markers to improve efficiency.

**Key words:** rice (*Oryza sativa* L.), *Sub1* genes, DNA markers of genes for tolerance to long-term flooding in rice, rice hybrid lines, flood-resistance in rice

FOR CITATION. Chertkova N.G., Usatov A.V., Kostylev P.I., Dupliy N.G. Identification of long-term flood-resistant genes in rice hybrid samples. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 366–383. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-366-383

## Введение

Рис (*Oryza sativa* L.) является важным источником пищи для многих людей в мире и, в отличие от других сельскохозяйственных культур, хорошо известен своей способностью расти на затопленной почве. В России посевы риса в основном сосредоточены в Краснодарском крае и Ростовской области. Прямой посев риса становится все более популярным во многих странах мира из-за его более низкой стоимости и простоты

в эксплуатации [Panda, Barik, 2021]. При таком посеве рис конкурирует с сорными растениями за важнейшие факторы питания. В рисовых чеках потери по урожайности из-за таких растений могут варьировать от 20 до 60%. Применение химических препаратов в борьбе с сорняками иногда малоэффективно и нерентабельно [Oladosu et al., 2020]. Кроме того, использование гербицидов приводит к химическому загрязнению воды в оросительных системах, в природных водоемах, а также может ухудшать качество зерна. В настоящее время одним из способов решения этих проблем является затопление поля до определенного уровня после посева семян. Сорные растения не могут находиться долгое время в таких условиях и погибают. Однако большинство современных сортов риса в России также не могут находиться в затоплении более 7 дней из-за высокой чувствительности к анаэробным условиям во время прорастания [Barik et al., 2019]. Азиатскими исследователями на данный момент широко изучены механизмы устойчивости риса к анаэробным условиям, а также выделены сорта (Br-11, CR-1009, Inbara-3, IR-64, TDK-1), обладающие этим признаком [Oe et al., 2021].

Устойчивость к затоплению у риса ранее считалась количественным признаком. Однако использование молекулярных маркеров показало, что в локусах толерантности к затоплению имеется ген *Sub1*, который начинает действовать при повышении уровня воды в рисовых чеках [Xu et al., 2006; Hattori et al., 2009]. Локус *Sub1* на хромосоме 9 позволяет достичь до 70% выживания растений в анаэробных условиях и помогает растениям выдерживать полное погружение до двух недель. В этом локусе находятся три сходных гена: *Sub1A*, *Sub1B*, *Sub1C*, но только ген *Sub1A* повышает устойчивость растений риса к анаэробным условиям [Khasna et al., 2020; Zhao et al., 2021]. Механизм действия локуса *Sub1* заключается в том, что этилен, накапливающийся во время затопления, индуцирует экспрессию *Sub1A*. Индуцированный белок *Sub1A* повышает чувствительность тканей к абсцизовой кислоте, что приводит к снижению действия гиббереллиновой кислоты. У каждого из генов выявлено несколько аллельных вариантов, которые регулируют метаболизм и продлевают период выживания растений [Yang et al., 2019]. Адаптация растения под контролем этих генов проявляется в избегании условий гипоксии и осуществлении нормальной аэрации тканей после сброса воды [Zhao et al., 2021; Yang et al., 2021].

В настоящее время подобран ряд наиболее эффективных молекулярных маркеров для идентификации генетической изменчивости риса [Xu et al., 2006; Niroula et al., 2012]. Отбор генотипов, устойчивых к длительному погружению, с использованием ДНК-маркеров в российской

селекции значительно повысит эффективность и точность улучшения сортов. Высокоурожайные сорта риса в России уже доступны, и необходимо внедрить гены устойчивости к затоплению в эти сорта, чтобы они могли противостоять таким условиям.

Нами апробированы три наиболее широко используемых маркеров на отечественных сортах для выявления наиболее информативных. Данный скрининг позволит создать перспективные, высокоурожайные и устойчивые к абиотическим и биотическим стрессам сорта риса [Dubina et al., 2020]. Использование воды в качестве «природного гербицида» даст возможность получить экологически чистые семена с улучшенными вкусовыми качествами, которые могут применяться в детском питании, а также позволит сократить затраты на их производство.

Целью работы является поиск наиболее эффективного маркера *Sub1A* для идентификации в отечественных гибридных образцах риса генов толерантности к длительному затоплению как природному методу борьбы с сорными растениями.

## Материалы и методы

Отбор гибридных форм осуществляли на полях лаборатории селекции и семеноводства риса Аграрного научного центра «Донской» в г. Пролетарске Ростовской области.

Поскольку рис относится к культурам, которые чувствительны к продолжительности дня, в нашем регионе согласно методическим указаниям и классификатору рода *Oryza sativa* L. (1982) приоритетнее возделывать сорта с вегетационным периодом 110–125 дней. В качестве доноров в скрещивания были включены широко используемые толерантные к затоплению позднеспелые (145–160 дней) сорта (Inbara-3, BR-11, TDK-1, IR-64, CR-1009, Swarna) [Mackill, Khush, 2018; Naque et al., 2022]. Доноры при выращивании в условиях Ростовской области зацветали в сентябре и не успевали созревать. В качестве реципиентных форм выбрали высокопродуктивные, раннеспелые российские сорта (Новатор, Магнат, Степняк, Бахус, Командор, Кубань-3, Боярин, Контакт) с вегетационным периодом 105–120 дней.

После скрещивания из получившихся гибридов отобрали лучшие по селекционно-ценным признакам линии, которые в дальнейшем пересеивали в полевых опытах. Из популяций растений  $F_5$ – $F_9$  поколений, в которых не наблюдалось расщепления по фенотипу, отобрали 96 скороспелых гибридов, из них: Inbara-3 × Новатор – 32 гибридных образца (3121–3125, 3125/1, 3126, 3110, 3130–3131/1, 3223, 3230, 5620, 5620/1, 5621, 5622/1, 5622, 5622/2, 343–354), BR-11 × Новатор – 13 образцов



(3269, 5618–5620, 5442–5445, 5459–5461, 5698–5699), TDK-1 × Новатор – 7 (3143–3144, 5463/1, 5463, 5738–5740), IR-64 × Боярин – 3 образца (5577–5578/1), IR-64 × Магнат – 1 образец (5579), Inbara-3 × Контакт – 4 образца (766, 1191, 707, 1191/1), Inbara-3 × Боярин – 1 образец (1193), Inbara-3 × Степняк – 3 образца (3133, 3135, 3137), IR-64 × Новатор – 2 (3325, 5720), CR-1009 × Новатор – 5 образцов (5462, 5541, 5541/1, 5541/2, 5541/3), BR-11 × Кубань-3 – 4 образца (5575, 5575/1, 5575/2, 5575/3), Inbara-3 × Командор – 4 (5576, 5576/1, 5576/2, 5576/3), Swarna × Магнат – 8 образцов (5588, 5588/1, 5588/2, 5588/3, 5589, 5589/1, 5589/2, 5589/3), Inbara-3 × Бахус – 9 (5591, 5591/1, 5591/2, 5591/3, 5592, 5592/1, 5592/2, 5592/3, 5618). Гибриды имели высокие показатели селекционно-ценных признаков (масса 1000 зерен, количество зерен в метелке и масса зерен с 1 метелки).

Геномную ДНК из высечек листьев риса выделяли с помощью детергента СТАВ (ЦТАБ – цетилтриметиламмонийбромид), который хорошо растворяет и лизирует клеточную мембрану, а также эффективно разрушает ДНК-белковые комплексы. Процесс выделения ДНК состоял из следующих фаз: лизирование клеток, распад РНК, депротенинизация и экстракция ДНК под действием хлороформа и выпадения нуклеиновых кислот в виде осадка благодаря действию изопропанола. Для проведения полимеразной цепной реакции использовали 25 мкл реакционной смеси следующего состава: 5 мкл *Sybr Green* (5×; Евроген, Россия), 1 мкл прямого праймера, 1 мкл обратного праймера (общая концентрация праймеров в конечной реакционной смеси 0,4 мкМ), 15 мкл бидистиллированной воды и 3 мкл ДНК (с концентрацией 100 нг).

По литературным данным и базе данных [www.ncbi.nih.gov](http://www.ncbi.nih.gov) нами были подобраны локус-специфические праймеры *Sub1A*(1F1R), *Sub1A*(2F2R) и *Sub1A*(3F3R) для исследования отечественных гибридных линий на наличие аллелей гена *Sub1A* [Xu et al., 2006; Niroula et al., 2012]. Нуклеотидные последовательности представлены в табл. 1.

Аmplификацию проводили в термоциклере Rotorgene 6000 (Corbett Research, Австралия). Этапы реакции были следующими: денатурация (при 96 °С 2 мин), 30 циклов отжига (при 55–60 °С 40 с), элонгация (при 70 °С 1 мин), денатурация (при 94 °С 30 с) и финальная элонгация (2 мин). Амплификационные продукты разделяли электрофоретически с использованием 2-процентного агарозного гель-электрофореза и трисборатного буфера (1×) с добавлением бромистого этидия (1 мкг/мл). Гель фотографировали под ультрафиолетовым светом с помощью видеосистемы (GelDoc 2000, BioRad, США).

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программ Statistica и Excel пакета Microsoft Office.

Таблица 1

**Нуклеотидные последовательности праймеров для идентификации *Sub1A***  
**[Nucleotide sequences of primers to identify *Sub1A*]**

Ген [Gene]	Праймер [Primer]	Последовательность праймера (5'–3') [Primer sequence (5'–3')]	Размер ампликона, bp [Amplicon size, bp]	Температура отжига праймера, °C [Primer annealing temperature, °C]	Ссылка [Link]
<i>Sub1A</i>	1F	CGGCCTCATCACAATCGGAG	203	59	Xu et al., 2006
	1R	ATGTCCATGTCCATATGTCGTCTG			
<i>Sub1A</i>	2F	ATATTCACCTGCTCACTAGTAAC	1040	59	Niroula et al., 2012
	2R	GTTTGTGGCCTTTGAGTAAG			
<i>Sub1A</i>	3F	GATGTGTGGAGGAGAAGTGA	1015	59	Xu et al., 2006
	3R	GGTAGATGCCGAGAAGTGTA			

Морфологическую и физиологическую оценку изученных генотипов выполняли в условиях теплицы. Высевание набухших зерен в почву осуществляли в аквариум высотой 50 см. Затем проводили затопление водой. Расчет процента выживших растений выполняли через 21 день. Достоверные отличия рассчитывали при помощи критерия Стьюдента.

## Результаты и их обсуждение

В настоящее время создание сортов с использованием молекулярных технологий выходит на первое место среди других методов. Внедрение сортов, обладающих устойчивостью к различным абиотическим и биотическим стрессам, является не только экономическим, но и важным природоохранным фактором [Dubina et al., 2020; Oladosu et al., 2020; Naque et al., 2022].

В процессе исследований было отобрано и оценено 96 гибридов на наличие локуса гена *Sub1A*. Согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, гибридные образцы, проанализировали по следующим показателям: продолжительность вегетационного периода; высота растений; длина метелки; масса 1000 зерен; количество зерен в метелке и масса зерен с 1 метелки. В табл. 2 представлены средние значения селекционно-ценных признаков у гибридов риса.

Одним из основных признаков риса в России является период вегетации, его продолжительность в родительских линиях варьировала от 105 (Контакт) до 145 (CR-1009) дней периода «всходы–созревание», а у гибридных растений варьировала от 110 (IR-64 × Боярин, IR-64 × Магнат и BR-11 × Кубань-3) до 120 дней (CR-1009 × Новатор и Swarna × Магнат). По признаку «период вегетации» отобранные гибридные растения соответствуют условиям выращивания, поскольку они характеризуются меньшим периодом созревания, чем линии доноров [Dubina et al., 2018]. Донорные линии по признаку «высота растений» превышали в среднем на 27 см отечественные сорта. Высота растений у гибридных линий варьировала от 95,5 (IR-64 × Боярин) до 103,7 см (BR-11 × Новатор).

В нашем исследовании гибриды риса были оценены тремя парами наиболее применяемых, по литературным данным, молекулярных маркеров. В результате только два маркера *Sub1A*(1F1R) и *Sub1A*(2F2R) являются информативными для скрининга отечественных гибридов и дали специфический амплификационный продукт ожидаемого размера. Третий маркер инициировал неспецифическую амплификацию и не позволил идентифицировать генотипы риса. Электрофореграммы фрагментов ДНК представлены на рис. 1 и 2.

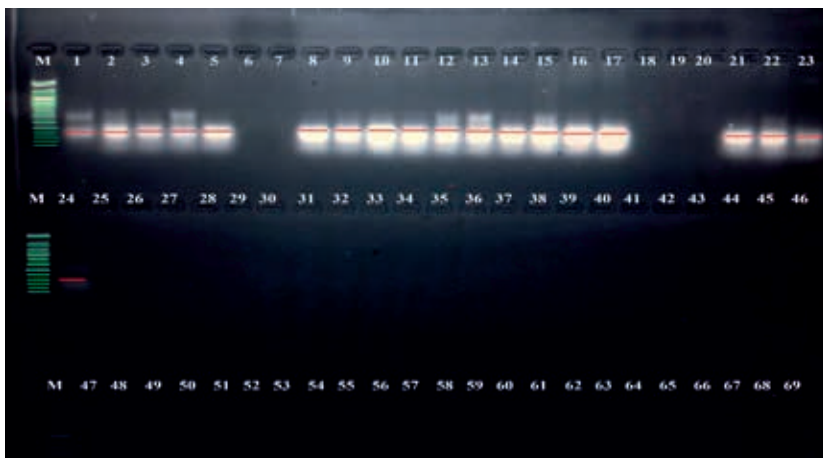
Таблица 2

**Характеристика родительских и гибридных образцов риса по селекционно-ценным признакам**  
**[Characteristics of parental and hybrid rice samples according to breeding and valuable traits]**

Образец [Sample]	Вегетационный период, дней [Vegetation period, days]	Высота растений, см [Plant height, cm]	Длина метелки, см [Panicle length, cm]	Количество зерен в метелке, шт [Number of seeds per panicle, pcs.]	Масса зерен с 1 метелки, г [Seed weight per a panicle, g]	Масса 1000 зерен, г [1000-seed weight, g]
♀ Inbara-3 ( <i>Sub1A</i> )	140	148,0	25,2	94,7	2,5	25,5
♀ CR-1009 ( <i>Sub1A</i> )	145	132,5	22,8	68,3	2,1	29,4
♀ TDK-1 ( <i>Sub1A</i> )	144	136,5	23,7	66,8	2,2	29,8
♀ IR-64 ( <i>Sub1A</i> )	140	110,5	25,7	98,4	3,5	32,3
♀ BR-11 ( <i>Sub1A</i> )	140	130,1	20,9	73,5	2,4	27,4
♀ Swarna ( <i>Sub1A</i> )	135	126,4	22,4	85,2	2,8	28,6
♂ Контакт [♂ Kontakt]	105	97,5	12,3	97,3	2,7	29,5
♂ Новатор [♂ Novator]	111	98,5	17,3	115,5	3,1	30,7
♂ Боярин [♂ Boyarin]	117	108,2	14,5	138,5	3,8	30,9
♂ Магнат [♂ Magnat]	112	110,3	15,1	119,2	3,1	29,2
♂ Степняк [♂ Stepnyak]	113	105,1	14,7	117,4	3,2	28,8

♂ Бахус [♂ Bakhus]	115	96,6	15,9	109,5	3,2	28,6
♂ Командор [♂ Komandor]	115	105,4	15,1	124,6	3,5	29,1
♂ Кубань-3 [♂ Kuban-3]	112	102,3	17,6	107,7	2,9	25,7
TDK-1 × Новатор [TDK-1 × Novator]	116	97,5	14,3	139,7	3,5	26,2
IR-64 × Боярин [IR-64 × Boyarin]	110	95,5	16,3	175,0	4,2	24,2
IR-64 × Магнат [IR-64 × Magnat]	110	97,1	16,0	244,0	4,8	20,3
Inbara-3 × Контакт [Inbara-3 × Kontakt]	111	101,3	12,8	128,5	3,8	27,8
Inbara-3 × Боярин [Inbara-3 × Boyarin]	112	100,5	15,5	177	3,4	26,3
Inbara-3 × Степняк [Inbara-3 × Stepnyak]	112	98,4	16,3	142,0	3,4	25,5
IR-64 × Новатор [IR-64 × Novator]	113	99,3	14,5	190,0	6,3	25,9
CR-1009 × Новатор [CR-1009 × Novator]	120	97,3	15,5	182,0	5,1	30,6
BR-11 × Кубань-3 [BR-11 × Kuban-3]	110	100,5	13,8	145,5	3,1	24,0
Inbara-3 × Командор [Inbara-3 × Komandor]	115	92,5	14,8	169,8	4,9	29,6
Swarna × Магнат [Swarna × Magnat]	120	100,6	14,3	195,4	5,1	26,6
Inbara-3 × Бахус [Inbara-3 × Bakhus]	117	99,4	16,6	183,9	5,4	29,9
BR-11 × Новатор [BR-11 × Novator]	116	103,7	17,5	109,2	3,1	29,2
Inbara-3 × Новатор [Inbara-3 × Novator]	111	95,7	20,2	99,6	2,6	28,6
LSD <sub>0,05</sub>	5,35	4,25	2,36	11,74	0,72	2,75

На электрофореграмме отчетливо видно наличие аллеля *Sub1A* (1F1R) в проанализированных гибридных образцах (см. рис. 1). Так, из 96 гибридных растений ампликон длиной 203 пн присутствовал в 17 образцах (№ 2–5, 8–17, 21–23). Также был выявлен неспецифический продукт примерным размером 350 пн, не только в донорном сорте (№ 2, 24), но и в гибридных образцах (№ 2, 4, 12, 13). Изучение причин появления этого продукта планируется в дальнейшем исследовании.



**Рис. 1.** Электрофореграмма продуктов амплификации геномной ДНК на наличие локуса гена устойчивости к затоплению *Sub1A*(1F1R)

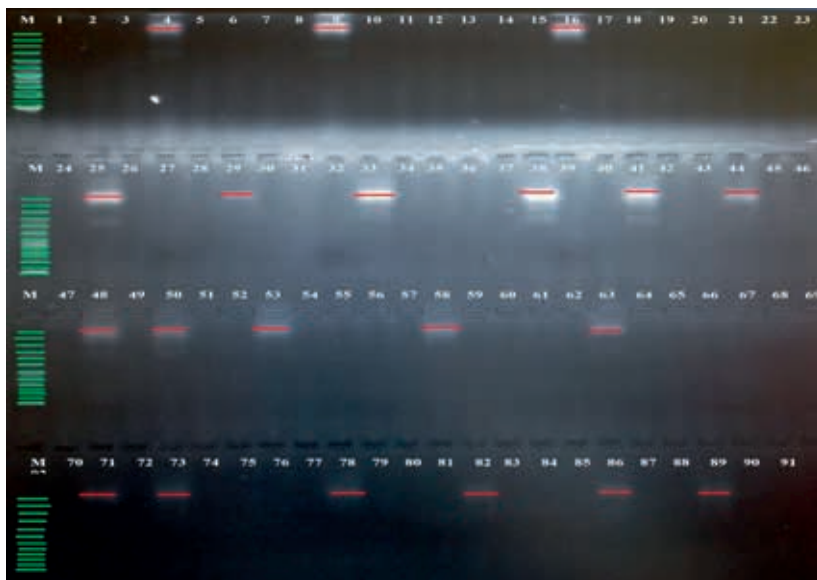
М – маркер молекулярного веса 50+ bp  
(размеры полос снизу вверх – 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 пн)

1, 24 – Inbara-3 (донор); 2 – № 3121; 3 – № 3126; 4 – № 3122;  
5 – № 3123; 8 – № 3130; 9 – № 3131; 10 – № 5461; 11 – № 5463;  
12 – № 5577; 13 – № 5578; 14 – № 5579; 15 – № 5618; 16 – № 5619;  
17 – № 5620; 21 – № 3223; 22 – № 3125/1; 23 – № 3230

**Fig. 1.** Electropherogram of genomic DNA amplification products for the presence of the flood-resistant locus gene *Sub1A*(1F1R)

М – molecular weight marker 50+ bp  
(band sizes from bottom to top – 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 pn)

1, 24 – Inbara-3 (donor); 2 – No. 3121; 3 – No. 3126; 4 – No. 3122;  
5 – No. 3123; 8 – No. 3130; 9 – No. 3131; 10 – No. 5461;  
11 – No. 5463; 12 – No. 5577; 13 – No. 5578; 14 – No. 5579;  
15 – No. 5618; 16 – No. 5619; 17 – No. 5620; 21 – No. 3223;  
22 – No. 3125/1; 23 – No. 3230



**Рис. 2.** Электрофореграмма продуктов амплификации геномной ДНК на наличие локуса гена устойчивости к затоплению *Sub1A(2F2R)*

M – маркер молекулярного веса 50+ бп (размеры полос снизу вверх – 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 пн)

25, 48, 71 – Inbara-3 (донор); 4 – № 3123; 9 – № 3130; 16 – № 5619; 29 – № 3131/1; 33 – № 5443; 38 – №5463/1; 41 – № 5541/3; 44 – № 5575/1; 50 – №5575/2; 53 – № 5575/3; 58 – № 5576; 63 – № 5588/1; 73 – № 5589/1; 78 – № 5589/3; 82 – № 5591; 86 – № 5620/1; 89 – № 5699

**Fig. 2.** Electropherogram of genomic DNA amplification products for the presence of the *Sub1A(2F2R)* flood resistance gene locus

M – molecular weight marker 50+ bp (band sizes from bottom to top – 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 pn)

25, 48, 71 – No. 3123; 9 – No. 3130; 16 – No. 5619; 29 – No. 3131/1; 33 – No. 5443; 38 – No. 5463/1; 41 – No. 5541/3; 44 – No. 5575/1; 50 – No. 5575/2; 53 – No. 5575/3; 58 – No. 5576; 63 – No. 5588/1; 73 – No. 5589/1; 78 – No. 5589/3; 82 – No. 5591; 86 – No. 5620/1; 89 – No. 5699

На электрофореграмме видно наличие аллеля *Sub1A(2F2R)* длиной 1040 пн в 17 гибридных образцах (см. рис. 2). Подобная работа по идентификации генотипов риса с локусами генов устойчивости к затоплению проводится в Федеральном научном центре риса [Dubina et al., 2020, 2022]. Результаты генотипирования гибридов риса по функциональным аллелям гена устойчивости представлены в табл. 3.

**Оценка наличия гена *Sub1A* у гибридных растений риса**  
**[Estimation of the gene *Sub1A* presence in rice hybrids]**

Гибриды [Hybrids]	Аллель <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R) [Allele <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R)]	Гибриды [Hybrids]	Аллель <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R) [Allele <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R)]	Гибриды [Hybrids]	Аллель <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R) [Allele <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R)]
3121	+/-	5443	-/+	5591/3	-/-
3126	+/-	5444	-/-	5592	-/-
3122	+/-	5445	-/-	5592/1	-/-
3123	+/+	5459	-/-	5592/2	-/-
3124	-/-	5460	-/-	5592/3	-/-
3125	-/-	5462	-/-	5618	-/-
3130	+/+	5463/1	-/+	5620/2	-/-
3131	+/-	5541	-/-	5620/1	-/+
5461	+/-	5541/1	-/-	5621	-/-
5463	+/-	5541/2	-/-	5621/1	-/-
5577	+/-	5541/3	-/+	5622/1	-/-
5578	+/-	5575	-/-	5622	-/-
5579	+/-	5575/1	-/+	5698	-/-
5618	+/-	5575/2	-/+	5699	-/+
5619	+/+	5575/3	-/+	5720	-/-
5620	+/-	5576	-/+	5738	-/-
766	-/-	5576/1	-/-	5739	-/-
1191	-/-	5576/2	-/-	5740	-/-
1193	-/-	5576/3	-/-	343	-/-
3223	+/-	5578/1	-/-	344	-/-
3125/1	+/-	5622/2	-/-	345	-/-
3230	+/-	5588	-/-	346	-/-
3131/1	-/+	5588/1	-/+	347	-/-



Гибриды [Hybrids]	Аллель <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R) [Allele <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R)]	Гибриды [Hybrids]	Аллель <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R) [Allele <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R)]	Гибриды [Hybrids]	Аллель <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R) [Allele <i>Sub1A</i> (1F1R)/(2F2R)]
3110	—/—	5588/2	—/—	348	—/—
3133	—/—	5588/3	—/—	349	—/—
3135	—/—	5589	—/—	350	—/—
3137	—/—	5589/1	—/+	351	—/—
3143	—/—	5589/2	—/—	352	—/—
3144	—/—	5589/3	—/+	353	—/—
3269	—/—	5591	—/+	354	—/—
3325	—/—	5591/1	—/—	767	—/—
5442	—/—	5591/2	—/—	1191/1	—/—

По данным электрофореза у образцов № 3123 (Inbara-3 × Новатор), № 3130 (Inbara-3 × Новатор) и № 5619 (BR-11 × Новатор) было выявлено два аллельных варианта гена *Sub1A*.

Для дальнейшей проверки фенотипического выражения интродуцируемых локусов провели анализ морфо-физиологического ответа всех гибридных линий риса в условиях затопления. Для опыта использовали набухшие зерна (выдержанные в воде 12 ч). Затопление выполняли после посева семян. Контрольные растения выращивали в физиологически нормальных условиях. Через 7 и 21 день были измерены показатели длины проростка, рассчитана выживаемость в процентах. Часть полученных результатов представлена в табл. 4.

В условиях затопления количество проросших семян риса у родительских линий (Новатор, Боярин и Степняк), а также у гибридов, не унаследовавших аллель гена *Sub1A* по данным молекулярно-генетического анализа (№ 3269, 3124, 5462, 5588), снижалось. У гибридов, унаследовавших два аллеля признака (№ 5619, № 3123 и № 3130), выживаемость была выше на 3–5% в сравнении с гибридами, имеющих один аллель гена *Sub1A* (№ 5618, 3121, 5541/3, 5588/1). Таким образом, эксперимент по глубоководному затоплению наглядно показал стратегию выживания растений риса в анаэробных условиях.

Таблица 4

**Показатели выживаемости (%) образцов риса  
через 21 день прорастания в условиях затопления**  
**[Survival rates (%) of rice samples after 21 days of germination  
when flooding]**

№ образца [Sample No.]	Образцы [Samples]	Выживаемость, % [Survival rate, (%)]	
		Контроль [Control]	Опыт [Trial]
1	Новатор [Novator]	97 ± 1,5	51 ± 3,5*
2	Боярин [Boyarin]	98 ± 2,0	61 ± 2,0*
3	Степняк [Stepnyak]	99 ± 1,0	62 ± 2,0*
4	Inbara-3	92 ± 2,0	88 ± 2,4
5	BR-11	95 ± 2,5	86 ± 2,0
5618	BR-11 × Новатор [BR-11 × Novator]	93 ± 1,5	84 ± 2,3
<b>5619</b>	<b>BR-11 × Новатор [BR-11 × Novator]</b>	<b>94 ± 1,3</b>	<b>89 ± 2,5</b>
3269	BR-11 × Новатор [BR-11 × Novator]	93 ± 1,7	69 ± 1,5*
3121	Inbara-3 × Новатор [Inbara-3 × Novator]	92 ± 2,0	85 ± 2,0
<b>3123</b>	<b>Inbara-3 × Новатор [Inbara-3 × Novator]</b>	<b>94 ± 1,5</b>	<b>88 ± 2,5</b>
<b>3130</b>	<b>Inbara-3 × Новатор [Inbara-3 × Novator]</b>	<b>93 ± 1,7</b>	<b>90 ± 3,0</b>
3124	Inbara-3 × Новатор [Inbara-3 × Novator]	93 ± 1,9	68 ± 1,7*
5541/3	CR-1009 × Новатор [CR-1009 × Novator]	90 ± 1,5	88 ± 2,5
5462	CR-1009 × Новатор [CR-1009 × Novator]	92±2,0	69 ± 2,2*
5588/1	Swarna × Магнат [Swarna × Magnat]	91 ± 2,0	79 ± 2,6
5588	Swarna × Магнат [Swarna × Magnat]	93 ± 1,7	65 ± 1,8*

Пр и м е ч а н и е: \* достоверные отличия по сравнению с контролем при  $p < 0,05$ .

[Note: \* significant differences compared to the control when  $p < 0.05$ .]

### Выводы

Таким образом, гибриды риса были оценены тремя парами ДНК-маркеров. В результате только два маркера *Sub1A(1F1R)* и *Sub1A(2F2R)* являются информативными для скрининга и дали специфический амплификационный продукт ожидаемого размера. Третий маркер инициировал неспецифическую амплификацию и не позволил идентифицировать генотипы риса.

В результате проведенных исследований было изучено 96 генотипов риса. Функциональные аллели гена *Sub1A* идентифицировали в 31 гибридных линиях (аллель *Sub1A*(1F1R) – 14 гибридах, аллель *Sub1A*(1F1R) – 14 гибридах и два аллеля в гибридах № 3123 (Inbara-3 × Новатор), № 3130 (Inbara-3 × Новатор) и № 5619 (BR-11 × Новатор). По признаку «период вегетации» гибридные растения характеризовались меньшим периодом созревания от 110 (IR-64 × Боярин, IR-64 × Магнат и BR-11 × Кубань-3) до 120 дней (CR-1009 × Новатор и Swarna × Магнат), в сравнении с донорами устойчивости к затоплению. В условиях затопления количество проросших семян риса у родительских линий (Новатор, Боярин и Степняк), а также у гибридов, не унаследовавших аллель гена *Sub1A*, снижалось. Выживаемость гибридов, унаследовавших два аллеля, была выше на 3–5%, чем имеющих одну аллель гена *Sub1A*.

Анализ генотипов риса на наличие устойчивости к гипоксии позволил идентифицировать линии риса, которые будут использованы в дальнейших исследованиях и полевых опытах. Внедрение таких линий в селекционные посева позволит получить экологически чистые семена риса с улучшенными вкусовыми качествами, снизит применение гербицидов и химическое загрязнение природных водоемов.

## Библиографический список / References

- Barik S.R., Pandit E., Pradhan S.K. et al. Genetic mapping of morpho-physiological traits involved during reproductive stage drought tolerance in rice. *PLoS One*. 2019. No. 14 (12). Article number e0214979. DOI: 10.1371/journal.pone.0214979
- Dubina E.V., Alabushev A.V., Kostylev P.I. et al. Introduction of the *Sub1* gene into the Russian rice varieties using the polymerase chain reaction (PCR) methods. *Full Length Research Paper*. 2018. DOI: 10.5897/AJAR2018.13563
- Dubina E., Kostylev P., Ruban M. et al. Rice breeding in Russia using genetic markers. *Plants (Basel)*. 2020. Vol. 15. No. 9 (11). P. 1580. DOI: 10.3390/plants9111580
- Haque A., Rafii Y., Yusoff M. et al. Flooding tolerance in Rice: Adaptive mechanism and marker-assisted selection breeding approaches. *Nature*. 2022. DOI: 10.1007/s11033-022-07853-9
- Hattori Y., Nagai K., Furukawa S. The ethylene response factors SNORKEL1 and SNORKEL2 allow rice to adapt to deep water. *Nature*. 2009. Vol. 460. Pp. 1026–1030.
- Mackill D., Khush G. IR64: A high-quality and high-yielding mega variety. *Plant Science*. 2018. DOI: 10.1186/s12284-018-0208-3
- Niroula R., Pucciariello C., Ho V. et al. SUB1A-dependent and -independent mechanisms are involved in the flooding tolerance of wild rice species. *The Plant Journal*. 2012. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2012.05078.x.
- Oladosu Y., Rafii M.Y., Arolu F. et al. Submergence tolerance in rice: Review of mechanism, breeding and, future prospects. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. P. 1632. DOI: 10.3390/su12041632

Khasna E., Karisma K., Ardana G. et al. Sub1A gene screening for submergence stress in Indonesian local rice varieties. *AIP Conference Proceedings* 2260. DOI: 10.1063/5.0015816

Oe S., Sasayama D., Luo Q. et al. Growth responses of seedlings under complete submergence in rice cultivars carrying both the submergence-tolerance gene Sub1A-1 and the floating genes snorkels. *Plant Production Science*. 2021. No. 25. Pp. 70–77. DOI: 10.1080/1343943x.2021.1943465

Panda D., Barik J. Flooding tolerance in rice: Focus on mechanisms and approaches. *Rice Science*. 2021. Vol. 28. Is. 1. Pp. 43–57. DOI: 10.1016/j.rsci.2020.11.006

Perata P. The rice SUB1A gene: Making adaptation to submergence and post-submergence possible. *Plant, Cell & Environment*. 2018. Vol. 41. No. 4. Pp. 717–720.

Sasaki T., Ashikari M. Rice genomics, genetics and breeding. Springer, 2018. Pp. 116–118.

Xu K., Xu X., Fukao T. et al. Sub1A is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice. *Nature*. 2006. Vol. 442. Pp. 705–708. DOI: 10.1038/nature04920

Yang J., Guo Z., Luo L. et al. Identification of QTL and candidate genes involved in early seedling growth in rice via high-density genetic mapping and RNA-seq. *The Crop Journal*. 2021. Vol. 9. Pp. 360–371.

Yang J., Sun K., Li D. et al. Identification of stable QTLs and candidate genes involved in anaerobic germination tolerance in rice via high-density genetic mapping and RNA-Seq. *BMC Genomics*. 2019. Vol. 20. Pp. 355. DOI: 10.1186/s12864-019-5741-y

Zhao J., He Y., Huang S., Wang Z. Advances in the identification of quantitative trait loci and genes involved in seed vigor in rice. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Art. 659307. DOI: 10.3389/fpls.2021.659307.

Статья поступила в редакцию 25.04.2023, принята к публикации 22.06.2023

The article was received on 25.04.2023, accepted for publication 22.06.2023

#### Сведения об авторах / About the authors

**Черткова Наталья Григорьевна** – аспирант кафедры генетики Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону; младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Ростовская обл.

**Natalya G. Chertkova** – post graduate student at the Department of Genetics of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don; junior researcher at the Cell Selection Laboratory, Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Rostov region, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4005-9771>

E-mail: [tycik17082012@gmail.com](mailto:tycik17082012@gmail.com)

**Усатов Александр Вячеславович** – доктор биологических наук, профессор; заведующий лабораторией молекулярной генетики Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

**Alexander V. Usatov** – Dr. Biol. Hab.; head at the Laboratory of Molecular Genetics of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-7927>

E-mail: [usatova@sfedu.ru](mailto:usatova@sfedu.ru)

**Костылев Павел Иванович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Ростовская обл.

**Pavel I. Kostylev** – Dr. Hab. (Agricultural Sciences); Chief Researcher at the Laboratory of Rice Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Rostov region, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4371-6848>

E-mail: [p-kostylev@mail.ru](mailto:p-kostylev@mail.ru)

**Дуплий Надежда Геннадьевна** – лаборант кафедры генетики Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

**Nadezhda G. Duplii** – laboratory assistant at the Department of Genetics of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5782-9942>

E-mail: [duplii@rambler.ru](mailto:duplii@rambler.ru)

#### Заявленный вклад авторов

**Черткова Н.Г.** – разработка и проведение экспериментов, подготовка основного текста статьи

**Усатов А.В.** – осуществление научного руководства работой, подготовка и написание литературного обзора

**Костылев П.И.** – предоставление семенного и растительного материала

**Дуплий Н.Г.** – помощь в статистической обработке данных и составлении графиков

#### Contribution of the authors

**N.G. Chertkova** – development and carry out of experiments, preparation of the main text of the article

**A.V. Usatov** – scientific supervision of work, preparation of a review

**P.I. Kostylev** – provision of seed and plant material

**N.G. Duplii** – assistance in statistical data processing and drawing up graphs

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи  
All authors have read and approved the final manuscript

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-384-398

УДК 504.064.2+631.413/.423.5/.437.31

**Т.А. Трифонова<sup>1, 2</sup>, А.Г. Космачева<sup>1</sup>,  
А.А. Марцев<sup>1</sup>, О.Г. Селиванов<sup>1</sup>, И.Н. Курочкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича  
и Николая Григорьевича Столетовых,  
600000 г. Владимир, Российская Федерация,

<sup>2</sup> Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова,  
119991 г. Москва, Российская Федерация

## Оценка засоления почв среднего по численности города (на примере Гусь-Хрустального Владимирской области)

Целью данного исследования являлась оценка засоления почв среднего города с развитым промышленным производством на примере Гусь-Хрустального Владимирской области. Установлено, что в исследуемых почвах преобладают катионы кальция и сульфат-анионы. Увеличение содержания отдельных ионов имеет локальный характер, связанный с различными источниками загрязнения. Превышение ПДК нитрат-ионов в 1,1 раза (145,05 мг/кг) выявлено вблизи стекольного завода. Промышленная зона Гусь-Хрустального характеризуется загрязнением токсичными

анионами  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , а также катионами  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{K}^+$ , связанными со спецификой газовоздушных выбросов предприятий. Придорожные территории преимущественно загрязнены  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , поступающими в составе противогололедных реагентов. Наиболее засоленным является образец, отобранный в транспортной зоне, характеризующийся максимальным содержанием  $\text{Cl}^-$  (2819,5 мг/кг),  $\text{SO}_4^{2-}$  (134,65 мг/кг),  $\text{Na}^+$  (2046,5 мг/кг) и значением удельной электропроводности (731,8 мкСм/см). Данное исследование демонстрирует, что, несмотря на значительное воздействие промышленных предприятий, преимущественным источником засоления почв города является автомобильный транспорт.

**Ключевые слова:** городские почвы, катионно-анионный состав почв, засоление почв

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Оценка засоления почв среднего по численности города (на примере Гусь-Хрустального Владимирской области) / Трифонова Т.А, Космачева А.Г., Марцев А.А. и др. // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 4. С. 384–398. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-384-398

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-384-398

**T.A. Trifonova<sup>1, 2</sup>, A.G. Kosmacheva<sup>1</sup>,  
A.A. Martsev<sup>1</sup>, O.G. Selivanov<sup>1</sup>, I.N. Kurochkin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Vladimir State University,  
Vladimir, 600000, Russian Federation

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, 119991, Russian Federation

## Assessment of soil salinity in an average city (on the example of Gus-Khrustalny in Vladimir region)

The research objective was to assess the salinity of soils of an average city with a developed industrial production on the example of Gus-Khrustalny, Vladimir region. It was found that calcium cations and sulfate anions

predominate in the studied soils. The increase in the content of individual ions has a local character associated with various sources of pollution. The excess of the maximum permissible concentration of nitrate ions by 1.1 times (145.05 mg/kg) is near the glass factory. The industrial zone of Gus-Khrustalny is characterized by contamination with toxic anions  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , as well as  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  cations associated with the specifics of gas-air emissions of enterprises. Roadside areas are mainly contaminated with  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , which come as part of deicing reagents. The most saline is the sample taken in the transport zone, characterized by a maximum content of  $\text{Cl}^-$  (2819.5 mg/kg),  $\text{SO}_4^{2-}$  (134.65 mg/kg),  $\text{Na}^+$  (2046.5 mg/kg) and a value of electrical conductivity (731.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). This study demonstrates that despite the significant impact of industrial enterprises, the primary source of salinization of the city soils is road transport.

**Key words:** urban soils, cationic-anionic soil composition, soil salinization

FOR CITATION: Trifonova T.A. Kosmacheva A.G. Martsev A.A. et al. Assessment of soil salinity in an average city (on the example of Gus-Khrustalny in Vladimir region). *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 384–398. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-384-398

## Введение

Засоление почв – показатель количества растворенных в ней минеральных солей, а также один из видов химического загрязнения и деградации. Являясь глобальной проблемой, оно оказывает негативное влияние как на физико-химические и биологические свойства почвы, так и на функционирование растений и микроорганизмов [Осина, Арляпов, Горелова, 2023].

В первую очередь проблема засоления затрагивает сельскохозяйственные почвы, способствуя снижению продукционной способности, агроэкологической и коммерческой ценности почв. Однако исследования солевого состава почв урбанизированных территорий также демонстрируют накопление растворенных минеральных солей [Распределение..., 2011; Горяшкиева, Щербакова, Цомбуева, 2017; Наместникова, Бузаева, 2019; Закамская, Максимова, 2021; Осина, Арляпов, Горелова, 2023]. Помимо вклада материнских пород, источниками поступления являются атмосферные осадки, сточные воды, выбросы промышленных предприятий, бытовые и промышленные отходы, противогололедные смеси.

Действие солей на изменение качества почв зависит от ионного состава и типа засоления. Основными катионами, загрязняющими городские



почвы, являются  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  (перечислены в порядке убывания важности). Оценка степени засоленности необходима для восстановления почв и поддержания оптимального солевого баланса и может производиться через определение общего содержания легкорастворимых солей в почве, по общей концентрации солей в почвенном растворе или фильтрате, с помощью измерения солевых показателей водной вытяжки (электропроводности и кислотности) [Манжина, 2021].

К настоящему времени опубликованы результаты исследования засоления почв ряда населенных пунктов Российской Федерации [Горяшкиева, Щербакова, Цомбуева, 2017; Наместникова, Бузаева, 2019; Закамская, Максимова, 2021; Осина, Арляпов, Горелова, 2023] и Республики Беларусь [Распределение..., 2011]. Засоление почв городов Владимирской области ранее не изучалось.

Согласно СП 42.13330.2016<sup>1</sup>, по численности населения Гусь-Хрустальный относится к средним городам (50–100 тыс. человек) и является одним из типичных городов в данном сегменте. В 2010 г. этот сегмент состоял из 155 городов Российской Федерации [Смирнов, 2019]. Во Владимирской области Гусь-Хрустальный является пятым по площади и численности населения. Развитое промышленное производство и высокая техногенная нагрузка обуславливают актуальность изучения состояния химического состава почвенного покрова города. К настоящему времени опубликованы результаты исследования загрязнения Гусь-Хрустального тяжелыми металлами, которое подтверждает негативное влияние стекольной промышленности на состояние окружающей среды и здоровье населения [Эколого-гигиеническая оценка..., 2023].

Цель данного исследования – оценка засоления почв среднего города с развитым промышленным производством на примере Гусь-Хрустального Владимирской области.

## Материалы и методы

Объектами исследования являлись почвы Гусь-Хрустального (55°37' N, 40°39' E). Общая площадь 43 км<sup>2</sup>, численность населения 51 552 человек. Город расположен в зоне дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почв с содержанием физической глины (<0,01 мм) 10–20%, гумуса – 1,83%, рН 4,5–6,0. Город является административным центром Гусь-Хрустального района Владимирской области.

<sup>1</sup> СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89\* (утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 № 1034/пр). М., 2016.

Показатель  $pH_{\text{водн}}$  исследуемых образцов варьирует от 5,06 до 8,09, преимущественно находится в диапазоне 6,5–7,5 и характеризует почву Гусь-Хрустального как нейтральную и слабощелочную, что во многом связано с ее формированием и трансформацией. Городские почвы переуплотнены, их горизонты перемешаны, содержат большое количество строительного и бытового мусора, кроме того, поступление карбонатов кальция и магния из атмосферы в результате работы стекольных производств способствует повышению щелочности [Эколого-гигиеническая оценка..., 2023].

Карта с точками отбора проб почвы приведена на рис. 1. Ландшафтно-рекреационная зона представлена образцами, отобранными в пригородной дачной территории (№ 1, 3), городском парке культуры отдыха «Барина роща» (№ 2). Промышленная зона включает пробы, отобранные вблизи промышленных предприятий: точка № 4 – ОАО «Стекловолокно», № 5 и 6 – АО «Гусевский стекольный завод им. Ф.Э. Дзержинского», № 7 – ООО «Гусевской хрустальный завод им. Мальцова», № 8 – ООО «Опытный стекольный завод», заводы трубопроводной арматуры ООО «Гусевский арматурный завод “Гусар”» (№ 9) и ОАО «Армагус» (№ 10). Транспортная зона представлена образцами № 11–14.

Отбор почвенных проб осуществляли в августе 2022 г. в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–2017<sup>2</sup> на глубине 0–10 см.

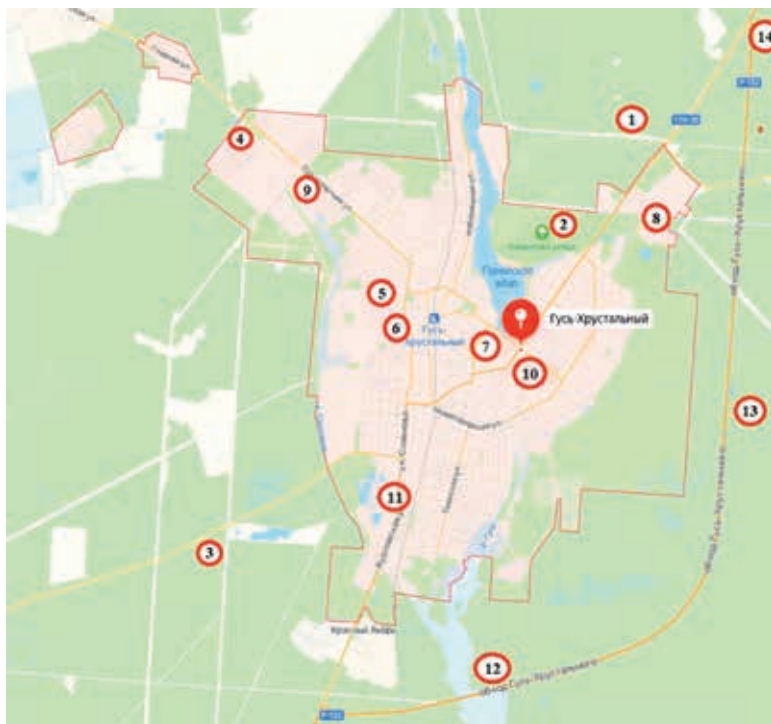
Содержание органического вещества колеблется от 0 до 10,22%. Максимальное значение установлено в почве, расположенной в промышленной зоне в центральной части города (точка № 10). Минимальное содержание выявлено в северо-восточной части города (образцы из ландшафтно-рекреационной зоны – № 1 и 2, промышленной зоны – № 8), а также в пробе № 13 – вблизи автомобильной дороги.

Для статистической обработки результатов полученные данные анализировали с использованием программы Statistica 7.0. Проведен корреляционный анализ зависимости показателя удельной электрической проводимости от концентрации ионов в почве ( $p < 0,05$ ), рассчитан коэффициент корреляции Пирсона. В качестве погрешности указаны значения стандартной ошибки среднего.

Удельную электрическую проводимость водной вытяжки почвенных образцов определяли согласно ГОСТ 26423–85<sup>3</sup> кондуктометром марки HANNA HI 8733.

<sup>2</sup> ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». М., 2018.

<sup>3</sup> ГОСТ 26423–85 «Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки». М., 1986.



**Рис. 1.** Карта города Гусь-Хрустальный  
Цифрами обозначены точки отбора проб

**Fig. 1.** Map of Gus-Khrustalny  
The numbers indicate sampling points

Содержание ионов устанавливали методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-205» согласно ПНД Ф 16.1:2:2.3:2.2.69–10<sup>4</sup> для определения анионов и ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.74–2012<sup>5</sup> для определения катионов.

<sup>4</sup> ПНД Ф 16.1:2:2.3:2.2.69–10 «Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли водорастворимых форм хлорид-, сульфат-, оксалат-, нитрат-, фторид-, формиат-, фосфат-, ацетат-ионов в почвах, грунтах тепличных, глинах, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель»». М., 2010.

<sup>5</sup> ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.74–2012 «Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли водорастворимых форм аммония, калия, натрия, магния, кальция в почвах, грунтах, глине, торфе, осадках сточных вод, донных отложениях методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель»». М., 2012.

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) приведены согласно СанПиН 1.2.3685–21<sup>6</sup>.

## Результаты и обсуждение

Результаты содержания катионов и анионов в исследуемых почвах представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

### Содержание катионов, мг/кг почвы [Cation content, mg/kg of soil]

№ образца почвенной пробы [Number of the soil sample]	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
1	9,45	12,95	19,10	10,30	34,75
2	11,60	14,70	18,60	12,75	37,70
3	10,65	36,65	13,15	46,05	209,25
4	9,30	75,00	21,10	41,70	193,35
5	14,35	30,35	18,05	48,90	215,50
6	2,90	59,05	35,35	58,90	260,75
7	19,45	129,50	47,20	39,75	269,95
8	12,35	34,15	8,95	32,25	98,05
9	18,30	86,00	44,55	149,85	248,50
10	15,30	48,55	21,15	42,20	241,20
11	5,90	5,20	54,05	28,65	277,45
12	6,60	4,65	31,05	15,00	59,15
13	11,35	4,30	276,60	13,05	48,95
14	0,00	0,00	2046,50	45,15	221,55

В исследуемых почвах среди катионов преобладает кальций (34,75–277,45 мг/кг), что соответствует литературным данным [Распределение..., 2011; Наместникова, Бузаева, 2019; Осина, Арляпов,

<sup>6</sup> СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 2021.

Горелова, 2023]. Высокие концентрации данного элемента могут быть обусловлены как геологической природой материнских пород, так и поступлением в составе противогололедных солей и промышленных выбросов [Распределение..., 2011; Наместникова, Бузаева, 2019]. С одной стороны, кальций способствует формированию почвенных коллоидов, играет важную роль в метаболизме растений и обеспечении их устойчивости к неблагоприятным факторам среды, может препятствовать образованию соды [Манжина, 2021; Осина, Арляпов, Горелова, 2023]. С другой стороны, повышенное содержание карбоната кальция в городских почвах создает риск ослабления грунта, образования трещин и дифференциальной осадки зданий [Al-Mamoori et al., 2019].

Натрий является вторым по содержанию катионом в исследуемых пробах, что соответствует литературным данным [Распределение..., 2011; Горяшкиева, Щербакова, Цомбуева, 2017; Наместникова, Бузаева, 2019; Осина, Арляпов, Горелова, 2023]. Максимальная концентрация выявлена в точке № 14, расположенной в транспортной зоне, что, вероятно, вызвано поступлением в составе противогололедных реагентов, являющихся основным источником ионов натрия в городских почвах [Распределение..., 2011; Наместникова, Бузаева, 2019; Закамская, Максимова, 2021; Осина, Арляпов, Горелова, 2023]. Избыток данных катионов приводит к образованию соды, вызывая один из самых негативных видов засоления, а также к дисбалансу в соотношении одновалентных и двухвалентных катионов [Манжина, 2021]. Ионы натрия вытесняют ионы кальция и магния, способствуя снижению поглотительной способности почв и усилению процессов осолонцевания, являющегося наиболее опасным видом засоления городских почв [Осина, Арляпов, Горелова, 2023]. Накопление данного элемента приводит к пептизации почвенных коллоидов, усиливая их подвижность в результате процессов вымывания, изменяя механический состав почв в сторону увеличения илистой фракции. Потеря структурных свойств и снижение водного потенциала почвы способствуют нарушению поступления воды и процессов обмена веществ растений, окислительному стрессу, снижению жизнедеятельности, ухудшению вегетации зеленых насаждений [Распределение..., 2011; Закамская, Максимова, 2021; Осина, Арляпов, Горелова, 2023].

Магний также является распространенным катионом в городских почвах. Максимальная концентрация установлена в точке № 9, расположенной около ООО «Гусевский арматурный завод “Гусар”». Источниками поступления могут являться выбросы промышленного предприятия, загрязняющие почвы в составе золы и пыли [Распределение..., 2011],

некоторые противогололедные средства на основе хлоридов магния [Наместникова, Бузаева, 2019].

Почвы исследуемого города характеризуются значительными колебаниями содержания калия (0–129,5 мг/кг). Минимальные концентрации выявлены в точках № 11–14, расположенных в транспортной зоне. Максимальное содержание установлено в точке № 7, расположенной вблизи промышленного предприятия ООО «Гусевской хрустальный завод им. Мальцова», что, вероятно, связано с применением карбоната калия в производстве стекла и хрусталя [Шакиров, Тлехусеж, 2019]. Повышение концентрации ионов калия увеличивает уровень миграции в нижележащие горизонты и приводит к дисбалансу в концентрации солей почвенного раствора [Осина, Арляпов, Горелова, 2023].

Концентрация ионов аммония варьирует в диапазоне 0–19,45 мг/кг, что совпадает с литературными данными по почвам в городах Тульской области [Осина, Арляпов, Горелова, 2023].

Таблица 2

**Содержание анионов, мг/кг почвы [Anion content, mg/kg of soil]**

№ образца почвенной пробы [Number of the soil sample]	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
1	0,00	22,69	0,00	0,00	2,26
2	0,00	0,76	16,87	0,29	1,95
3	0,00	16,37	0,00	1,72	0,00
4	0,00	14,95	17,38	0,80	9,37
5	0,00	15,34	0,00	1,15	0,00
6	0,00	3,46	145,05	0,60	4,40
7	23,50	22,99	0,00	1,53	0,00
8	0,00	6,21	0,00	1,26	11,70
9	28,18	30,87	0,00	1,90	3,82
10	0,00	1,46	0,00	5,09	3,93
11	29,63	18,09	0,00	2,68	0,00
12	0,41	57,20	0,00	3,97	0,00
13	288,20	31,64	0,00	1,57	29,94
14	2819,50	134,65	0,00	0,00	0,00

Согласно полученным результатам, в исследуемых почвах среди анионов преобладают сульфаты, что соответствует литературным данным [Распределение..., 2011; Горяшкиева, Щербакова, Цомбуева, 2017; Наместникова, Бузаева, 2019; Осина, Арляпов, Горелова, 2023] и свидетельствует о высоком содержании соединений серы в выбросах промышленных предприятий и их последующем осаждении с атмосферными осадками [Распределение..., 2011; Иванов, Черкасова, 2011]. Максимальные концентрации установлены в точке № 14 вблизи автомобильной дороги. Аналогичное повышение сульфат-ионов в придорожных территориях показано в исследовании почв вблизи трассы «Пермь – Березники» [Пименова, Лихачев, 2020], что демонстрирует сильное воздействие автомобильного транспорта на накопление данных анионов. Повышение концентрации данных анионов в почве приводит к увеличению кислотности, мобилизации тяжелых металлов, снижению плодородия, изменению активности минерализации, нарушению почвенного гомеостаза [Иванов, Черкасова, 2011].

Одиннадцать из четырнадцати образцов почв, отобранных в Гусь-Хрустальном, характеризуются отсутствием нитратов. Наибольшее содержание (145,05 мг/кг), превышающее ПДК (130 мг/кг) в 1,1 раза, установлено в точке № 6, вблизи промышленного предприятия АО «Гусевский стекольный завод им. Ф.Э. Дзержинского», который, вероятно, и является источником загрязнения. Аналогичное повышение нитрат-ионов под влиянием стеклотарного производства было выявлено в г. Гороховце Владимирской области и связывалось авторами с выбросами соединений азота, их последующим поступлением в почву и биохимическим превращением [Трифонова, Марцев, Селиванов, 2020]. Высокое содержание данных ионов также установлено в промышленных зонах почв городов Тульской области [Осина, Арляпов, Горелова, 2023]. Избыток нитрат-ионов в почве представляет опасность в связи с поступлением в подземные и грунтовые воды, накоплением в растениях, образованием токсичных нитропроизводных.

Максимальное содержание хлорид-ионов установлено в образце № 14, отобранном рядом с автомобильной дорогой. Преобладание в почвах транспортной зоны хлоридов согласуется с литературными данными и связано с загрязнением придорожных территорий противогололедными реагентами [Распределение..., 2011; Наместникова, Бузаева, 2019; Закамская, Максимова, 2021]. Повышение концентраций хлоридов в почве приводит к снижению жизнедеятельности растений, микро- и микобиоты [Распределение..., 2011; Закамская, Максимова, 2021], влияет на инженерное поведение грунта, представляет опасность

для фундаментов и арматурной стали, приводит к увеличению значения максимальной сухой плотности, влияет на свойства сопротивления сжатию бетона [Al-Mamoori et al., 2019].

Содержание фторидов в почвах Гусь-Хрустального не превышает ПДК (10 мг/кг) и соответствует литературным данным [Осина, Арляпов, Горелова, 2023].

Концентрации фосфат-ионов варьируют в диапазоне 0–29,94 мг/кг. Невысокое содержание обусловлено тем, что большая часть неорганического фосфора в почве содержится в виде нерастворимых минералов. В почвенном растворе присутствуют также анионы  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  [Weil, Brady, 2017]. Однако в рамках данного исследования осуществлялось определение концентрации только ортофосфат-ионов в связи с возможностями аналитического оборудования.

Удельная электрическая проводимость обусловлена ионами, образующимися при диссоциации электролитов и также является мерой засоления почвы. Величина удельной электропроводности водных вытяжек почв Гусь-Хрустального варьирует в диапазоне 52,03–731,8 мкСм/см, что говорит о высоких значениях измеряемого показателя и высокой концентрации ионов в растворах. Минимальные значения выявлены в точках № 1 и 2, являющихся контрольными, и составляют 66,03 мкСм/см и 52,03 мкСм/см соответственно. Максимальное (731,8 мкСм/см) – в точке № 14, расположенной вблизи автомобильной дороги, что также указывает на высокую степень засоления и содержание ионов в почвенном растворе.

Установлена положительная корреляционная зависимость удельной электропроводности от концентрации анионов хлора ( $r = 0,8708$ ;  $p = 0,000$ ), сульфат-ионов ( $r = 0,7736$ ;  $p = 0,001$ ), катионов натрия ( $r = 0,8704$ ;  $p = 0,000$ ) и кальция ( $r = 0,5650$ ;  $p = 0,035$ ). Таким образом, выявлено, что на величину электрической проводимости почв города Гусь-Хрустальный оказывают наибольшее влияние анионы  $\text{Cl}^-$  и катионы  $\text{Na}^+$ .

## Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что в почвах г. Гусь-Хрустальный преобладают катионы кальция и сульфат-анионы.

Анализ состава исследуемых почв демонстрирует, что увеличение содержания отдельных ионов имеет локальный характер, связанный с различными источниками загрязнения. Превышение ПДК нитрат-ионов в 1,1 раза (145,05 мг/кг) выявлено в точке, расположенной вблизи стекольного завода. Промышленная зона Гусь-Хрустального



характеризуется загрязнением токсичными анионами  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , а также катионами  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{K}^+$ , связанными со спецификой газовоздушных выбросов предприятий.

Придорожные территории наиболее сильно загрязнены ионами  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , поступающими в составе противогололедных реагентов. Наиболее засоленным является образец № 14, отобранный в транспортной зоне. В данной пробе установлены максимальное содержание хлоридов (2819,5 мг/кг), сульфатов (134,65 мг/кг), натрия (2046,5 мг/кг) и максимальное значение удельной электропроводности (731,8 мкСм/см). Таким образом, данное исследование демонстрирует, что, несмотря на значительное воздействие промышленных предприятий, преимущественным источником засоления почв города является применение противогололедных реагентов в зоне движения автомобильного транспорта.

В связи с вышеизложенным, мониторинг засоленности почв урбанизированных территорий является актуальным. Также необходима разработка мер, направленных на снижение данного вида почвенного загрязнения и восстановления продукционной способности нарушенных территорий.

#### Библиографический список / References

Горяшкиева З.В., Щербакова Л.Ф., Цомбуева Б.В. Оценка загрязнения почвенного покрова г. Элиста // Успехи современного естествознания. 2017. № 3. С. 75–79. [Goryashkiewa Z.V., Scherbakova L.F., Tsombueva B.V. Assessment of pollution of soil in the city of Elista. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2017. No. 3. Pp. 75–79. (In Rus.)]

Закамская Е.С., Максимова У.Г. Хемометрическая оценка содержания хлоридов в урбаногемах города Йошкар-Олы // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2021. № 2 (42). С. 93–102. DOI: 10.15593/2409-5125/2021.02.0824 [Zakamskaya E.S., Maksimova U.G. Chemometric evaluation of chloride content in urban soils of the city of Yoshkar-Ola. *PNRPU Bulletin. Urban Development*. 2021. No. 2 (42). Pp. 93–102. DOI: 10.15593/2409-5125/2021.02.0824 (In Rus.)]

Иванов В.С., Черкасова О.А. Загрязнение почв г. Витебска сульфатами, нитратами и нефтепродуктами // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2011. Т. 10. № 4. С. 111–119. [Ivanov V.S., Cherkasova O.A. Soil contamination of Vitebsk with sulfates, nitrates and petroleum products. *Vitebsk Medical Journal*. 2011. Vol. 10. No. 4. Pp. 111–119. (In Rus.)]

Манжина С.А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 3. С. 163–181. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181 [Manzhina S.A. On the issue of chemical mechanism and soil salinity degree determination: Russian

and foreign practices. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2021. Vol. 11. No. 3. Pp. 163–181. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181 (In Rus.)]

Наместникова О.В., Бузаева М.В. Мониторинг засоления почв в системе обеспечения экологической безопасности крупного города // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 1 (30). С. 44–52. [Namestnikova O.V., Buzayeva M.V. Monitoring of soil salinity in the system of ecological safety of a large city. *The Journal Modern Problems of Civil Protection*. 2019. No. 1 (30). Pp. 44–52. (In Rus.)]

Осина К.В., Арляпов В.А., Горелова С.В. Анионно-катионный состав почв урбанизированных экосистем Тульской области // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 1. С. 24–37. DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-27-37 [Osina K.V., Arlyapov V.A., Gorelova S.V. Anionic-cationic composition of soil in urbanized ecosystems of the Tula region. *Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth*. 2023. No. 1. Pp. 24–37. DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-27-37 (In Rus.)]

Пименова Е.В., Лихачев С.В. Экологическая оценка почв в зоне влияния автодороги // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. № 4. С. 63–67. DOI: 10.26178/AE.2020.79.98.010 [Pimenova E.V., Lihachev S.V. Ecological assessment of soils in the road impact zone. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2020. No. 4. Pp. 63–67. DOI: 10.26178/AE.2020.79.98.010 (In Rus.)]

Распределение минеральных водорастворимых веществ в почвах функциональных зон городов с различной техногенной нагрузкой / Рыжиков В.А., Романкевич Ю.А., Городецкий Д.Ю., Бокая Г.М. // Природопользование. 2011. № 20. С. 68–75. [Ryzhikov V.A., Romankevich Yu. A., Gorodetskiy D.Yu., Bokaya G.M. Distribution of mineral water soluble matters in cities functional zones soils of various technogenic loads. *Nature Management*. 2011. No. 20. Pp. 68–75. (In Rus.)]

Смирнов И.П. Средние города Центральной России. Тверь, 2019. [Smirnov I.P. *Srednie goroda Tsentralnoy Rossii* [Middle cities of Central Russia]. Tver, 2019.]

Содержание тяжелых металлов в пахотном горизонте почв сельскохозяйственного назначения Владимирской области / Комаров В.И., Селиванов О.Г., Марцев А.А. и др. // Агрохимия. 2019. № 12. С. 75–82. DOI: 10.1134/S0002188119100089 [Komarov V.I., Selivanov O.G., Martsev A.A. et al. Heavy metals contamination in arable horizon of soils of agricultural appointment of the Vladimir region. *Agrochemistry*. 2019. No. 12. Pp. 75–82. DOI: 10.1134/S0002188119100089 (In Rus.)]

Трифонов Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г. Газовоздушные выбросы стеклоарного производства как фактор риска здоровью населения // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 155–161. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-155-161 [Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G. Gas-air emissions from glass container production as a risk factor for public health. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 4. Pp. 155–161. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-155-161 (In Rus.)]

Шакиров А.А., Тлехусеж М.А. Химические процессы при изготовлении стекла // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 4-4. С. 93–96.

[Shakirov A.A., Tlekhusezh M.A. Chemical processes in the manufacture of glass. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki*. 2019. No. 4-4. Pp. 93–96. (In Rus.)]

Эколого-гигиеническая оценка почв промышленного города со стекольным производством по содержанию тяжелых металлов и мышьяка / Трифонова Т.А., Марцев А.А., Селиванов О.Г., Курбатов Ю.Н. // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 6. С. 549–555. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-6-549-555 [Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G., Kurbatov Yu.N. Ecological and hygienic assessment of soils on the content of heavy metals and arsenic in an industrial city with glass production. *Hygiene and Sanitation*. 2023. Vol. 102. No. 6. Pp. 549–555. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-6-549-555 (In Rus.)]

Al-Mamoori S.K., Al-Maliki L.A.J., El-Tawel K. et al. Chloride, calcium carbonate, and total soluble salts contents distribution for An-Najaf and Al-Kufa cities' soil by using GIS. *Geotech. Geol. Eng.* 2019. Vol. 37. Pp. 2207–2225. DOI: 10.1007/s10706-018-0754-x

Weil R.R., Brady N.C. Soil Phosphorus and Potassium. *The Nature and Properties of Soils*. Chapter 14. Pearson, USA, 2017. Pp. 643–695.

Статья поступила в редакцию 16.09.2023, принята к публикации 04.11.2023

The article was received on 16.09.2023, accepted for publication 04.11.2023

#### Сведения об авторах / About the authors

**Трифонова Татьяна Анатольевна** – доктор биологических наук; заведующая кафедрой биологии и экологии, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; профессор; профессор кафедры географии почв факультета почвоведения, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

**Tatiana A. Trifonova** – Dr. Biol. Hab.; Head of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University; Professor at the Department of Soil Geography of the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

E-mail: [tatrifon@mail.ru](mailto:tatrifon@mail.ru)

**Космачева Анастасия Геворговна** – кандидат биологических наук; старший преподаватель кафедры биологии и экологии, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

**Anastasia G. Kosmacheva** – PhD in Biology; Senior Lecturer at the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1988-8615>

E-mail: [hijadelaluna@mail.ru](mailto:hijadelaluna@mail.ru)

**Марцев Антон Андреевич** – кандидат биологических наук; доцент; доцент кафедры биологии и экологии, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

**Anton A. Martsev** – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3572-9163>

E-mail: [martsevaa@yandex.ru](mailto:martsevaa@yandex.ru)

**Селиванов Олег Григорьевич** – заведующий лабораториями кафедры биологии и экологии, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

**Oleg G. Selivanov** – Head at the Laboratories of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3674-0660>

E-mail: [selivanov6003@mail.ru](mailto:selivanov6003@mail.ru)

**Курочкин Иван Николаевич** – аспирант кафедры биологии и экологии, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; ассистент кафедры биологии и экологии, Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

**Ivan N. Kurochkin** – Postgraduate at the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University; assistant at the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-2225>

E-mail: [ivan33vl@yandex.ru](mailto:ivan33vl@yandex.ru)

Заявленный вклад авторов

**Трифонова Т.А.** – концепция исследования

**Космачева А.Г.** – интерпретация данных, подготовка текста статьи

**Марцев А.А.** – отбор образцов

**Селиванов О.Г.** – отбор образцов

**Курочкин И.Н.** – проведение лабораторных исследований

Contribution of the authors

**T.A. Trifonova** – research concept

**A.G. Kosmacheva** – interpreting data, writing the text of the article

**A.A. Martsev** – soil sampling

**O.G. Selivanov** – soil sampling

**I.N. Kurochkin** – laboratory research

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

УДК 159.91

**Н.В. Лигун**

Институт высшей нервной деятельности  
и нейрофизиологии Российской академии наук,  
117485 г. Москва, Российская Федерация

## Влияние слабого сверхнизкочастотного электромагнитного поля 2 и 8 Гц на консолидированность дневного сна

Представлено исследование влияния экспозиции слабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты (0,5–26 Гц) от внешнего источника полей 2 и 8 Гц на структуру дневного сна. У 14 здоровых добровольцев (8 мужчин, 6 женщин, средний возраст  $19,43 \pm 1,22$  года) сравнивали по контр-балансирующей схеме показатели непрерывности (консолидированности) дневного сна при 50-минутной экспозиции электромагнитного поля (2 и 8 Гц / 0,004 мкТл) и без воздействия (контроль). Для оценки непрерывности сна использовалась нелинейная регрессионная модель, позволяющая оценить непрерывность дневного сна. Показано, что экспозиция слабого электромагнитного поля сверхнизкой частоты достоверно улучшала качество сна, оцениваемое по показателю непрерывности сна, а именно: наблюдалось меньше переходов от второй и более глубоких стадий сна к первой стадии и к состоянию бодрствования. Показано, что оценка показателей непрерывности сна хорошо коррелирует с показателями качества и освежающим эффектом сна. Результаты могут быть использованы для разработки нефармакологических методов коррекции сна, а также для

© Лигун Н.В., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License  
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

повышения качества кратковременного сна и его положительного эффекта на самочувствие, когнитивные функции и работоспособность.

**Ключевые слова:** качество дневного сна, слабые электромагнитные поля сверхнизкой частоты, непрерывность сна, нелинейная регрессионная модель сна

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2021–2023 гг.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лигун Н.В. Влияние слабого сверхнизкочастотного электромагнитного поля 2 и 8 Гц на консолидированность дневного сна // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 4. С. 399–412. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

**N.V. Ligon**

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology,  
Russian Academy of Science,  
Moscow, 117485, Russian Federation

## The influence of a weak ultra-low frequency electromagnetic field 2 and 8 Hz on the consolidation of daytime sleep

The article present the hypothesis that weak electromagnetic fields of ultra-low frequencies (0.5–26 Hz) could affect daytime sleep features and structure. Parameters of daytime sleep continuity were compared in the study with counterbalanced control/exposition (50 min exposure to electromagnetic field at 2 and 8 Hz / 0.004  $\mu\text{T}$ ) scheme in 14 healthy volunteers (8 men, 6 women, mean age  $19.43 \pm 1.22$  y.o.). Nonlinear regression model was used to assess daytime sleep continuity. Exposure to a weak electromagnetic field of ultra-low frequency significantly improved the quality of sleep, assessed by the indicator of sleep continuity, namely, there were fewer transitions from the second and deeper stages of sleep to the first stage and to the state

of wakefulness. The results can be used to develop non-pharmacological methods of sleep correction, as well as to improve the quality of short-term sleep and its positive effect on wellbeing, cognitive function and working capacity.

**Key words:** quality of daytime sleep, weak electromagnetic fields of ultra-low frequency, sleep continuity, nonlinear regression sleep model

**Acknowledgements.** The study was carried out as part of the state-commissioned assignment of Ministry of Education and Science of the Russian Federation for 2021–2023.

FOR CITATION: Ligun N.V. The influence of a weak ultra-low frequency electromagnetic field 2 and 8 Hz on the consolidation of daytime sleep. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 399–412. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-399-412

## Введение

Возникновение и эволюция живых систем происходила в условиях действия слабых ионизирующих и неионизирующих природных излучений. Ранее было показано, что природный радиоактивный фон является важным фактором жизнедеятельности [Кузин, 1970; Тимофеев-Ресовский, Савич, Шальнов, 1981]. Большой интерес исследователей привлекает изучение воздействия на жизнедеятельность организмов неионизирующих излучений – электромагнитных и магнитных полей низкой (нетепловой) интенсивности [Патогенные воздействия..., 2007; Carubba, Marino, 2008; Кудряшов, Рубин, 2014]. В исследованиях отечественных ученых было дано теоретическое обоснование родственности таких полей живым системам [Вернадский, 1965; Чижевский, 1976; Владимирский, Темурьянц, 2000].

Источниками сверхслабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты являются активность Солнца и поля Земли. Рядом авторов высказывается гипотеза, что ритмические процессы в живых организмах с момента зарождения жизни на Земле также зависят от основного суточного ритма, который определяется, наряду с освещенностью, и электромагнитной составляющей гелио-геофизических факторов [Бреус, Бинги, Петрукович, 2016]. Суточная вариабельность в диапазоне геомагнитных возмущений наряду с суточными изменениями освещенности могут определять циркадианную ритмику, т.к. они оба связаны с наличием солнца днем и отсутствием его ночью. Воздейст-

вия на организм искусственных электромагнитных полей сверхнизкой частоты в диапазоне частот альфвеновского (0,001–4 Гц) и шумановского (8, 14, 20, и 26 Гц) резонанса могут оказывать нормализующие влияния на циркадианные механизмы регуляции цикла сон–бодрствование и, таким образом, служить терапевтическим агентом для коррекции циркадианных нарушений этого цикла.

Человеческий мозг, по-видимому, способен обнаруживать, поглощать и реагировать на электромагнитные поля сверхнизкой частоты, сравнимые по параметрам с вариациями геомагнитного поля Земли (0,5–20 Гц) [4]. Многими исследователями показана возможность воздействия электромагнитных полей сверхнизкой частоты на живые системы [Холодов, 1982; Zhadin, 2001; Кудряшов, Рубин, 2014; Зенченко, 2016]. Однако надо сказать, что в постиндустриальных обществах сила полей всех техногенных источников может на несколько порядков превышать силу полей природных источников. Было показано, что длительное воздействие электромагнитного поля может достигать нескольких десятых микротесл [Ilonen et al., 2008]. Исследования влияния электромагнитного поля на сон дали результаты, которые зачастую неубедительны или противоречивы, т.к. полученные эффекты могут быть опосредованы либо электромагнитным излучением определенной частоты, либо широкополосным излучением, аналогичным белому шуму [Ohayon et al., 2019].

На сегодняшний день проведено мало исследований сна при действии электромагнитного поля узкого частотного диапазона. Часть таких работ касалась изучения электромагнитного поля частотой 50 или 60 Гц, генерируемых электрической сетью и электрическими устройствами соответственно в Европе и Северной Америке. Так, отмечалось нарушение ночного сна у 18 здоровых испытуемых при воздействии электромагнитного поля частотой 50 Гц (1 мкТл), при этом, однако, изменения характеристик сна находились в пределах нормы [Åkerstedt et al., 1999]. Влияние прерывистого электромагнитного поля (воздействия в течение часа регулярно чередуются с часовыми перерывами) частотой 60 Гц (28,3 мкТл) у здоровых мужчин приводило к изменению архитектуры сна [Graham, Cook, 1999].

Большая часть людей, работающих в дневное время суток, может извлечь пользу из дневного сна, который считается мощной поведенческой стратегией, минимизирующей сонливость, усталость, нарушения когнитивной деятельности и физической работоспособности [Takahashi et al., 2004; Caldwell et al., 2009; Milner, Cote, 2009]. По современным



представлениям, наиболее эффективным способом восстановить работоспособность, является кратковременный дневной сон длительностью 20–30 минут. Эффективность такого сна определяется наличием 2-й стадии сна, 5–10-минутной длительности которой достаточно для достижения положительного эффекта на самочувствие и работоспособность в течение 1–3 часов [Maas et al., 1998]. В связи с этим считаем, что теоретическое и практическое значение имеет определение того, может ли качество дневного сна быть повышено воздействием слабых электромагнитных полей той же частоты, которая преобладает в спектральном составе электрической активности мозга человека, регистрируемой методом электроэнцефалографии (ЭЭГ) во время самой глубокой стадии сна (1–4 Гц). Также неизвестно, может ли слабое электромагнитное поле частотой ниже 50–60 Гц (например, 1–16 Гц) влиять на характеристики сна человека.

Поскольку частоты 1–16 Гц характерны для природных электромагнитных полей, они представляют особый интерес для экспериментальной работы. Напомним, что эти же частоты соответствуют частотному диапазону ЭЭГ человека во время сна. Специфические частотные паттерны ЭЭГ в диапазоне 1–16 Гц используются для разделения континуума состояния бодрствование–сон на стадии [Iber et al., 2007]. Преобладание низкочастотной активности (менее 10 Гц), К-комплексы и сонные веретёна (частота 12–15 Гц) являются не только показателями медленного сна, но также служат маркерами лежащих в основе регуляции сна и бодрствования процессов [Vorbély, 1982]. В частности, самая глубокая, 3-я стадия сна характеризуется волнами в диапазоне частот 1–4 Гц, а их амплитуда пропорциональна накопленному сонному долгу за предшествующее бодрствование [Там же].

Ранее было показано, что воздействие слабого (0,004 мкТл) электромагнитного поля частотой 1 Гц приводило к значительному увеличению длительности сна за счет увеличения суммарной продолжительности 2-й стадии сна [Dorokhov et al., 2019].

В данном исследовании мы сравнили эффекты воздействия электромагнитного поля частотой 2 и 8 Гц, чтобы проверить, может ли такое воздействие изменить спектральную плотность мощности ЭЭГ в дельта- и тета-диапазонах частот во время 2-й и 3-й стадий сна. Мы предположили, что частоты используемого нами электромагнитного поля совпадают с частотным диапазоном ЭЭГ во время медленного сна и могут способствовать возникновению 2-й и 3-й стадий сна в 50-минутном дневном сне.

## Материалы и методы

В исследовании участвовало 14 здоровых студентов университета (8 мужчин, 6 женщин), средний возраст  $19,43 \pm 1,22$  года.

В качестве критериев исключения рассматривали невозможность заснуть во второй половине дня менее чем за 10 минут, беременность, грудное вскармливание, простудные заболевания, плохое самочувствие, участие в сменной или ночной работе, пересечение нескольких меридианов в течение предыдущего месяца, нерегулярный график сна и бодрствования (более чем 1-часовая разница во времени сна за предшествующие 10 дней), частое недосыпание (по крайней мере, два случая в неделю в предыдущие две недели).

С каждым участником было проведено 3 эксперимента в дневное время (13–15 часов), интервалы между которыми варьировались от 3 дней до одного месяца. Каждый эксперимент длился менее 2 часов. Испытуемые не были информированы о порядке и времени воздействия электромагнитного поля. Порядок экспериментов с воздействием электромагнитного поля частотой 2 Гц или 8 Гц, а также контроль был случайным для каждого испытуемого.

Полисомнограмма осуществлялась с помощью беспроводной 16-канальной системы «Нейрополиграф 24» («Нейротех», Таганрог, Россия). Монтаж электродов был стандартным: 13 каналов ЭЭГ, размещенных по международной системе 10–20%, два канала электроокулограммы, один канал электромиограммы мышц подбородочной области. Определяли фильтры высоких и низких частот соответственно 0,5 и 35 Гц, а также режекторный фильтр 50 Гц. Частота дискретизации составляла 500 Гц.

Во время установки электродов испытуемый лежал в постели в лаборатории в звуко- и светоизолируемой камере при тусклом освещении (10 лк). После выключения света с помощью пульта дистанционного управления по инструкции испытуемому необходимо было попытаться уснуть и спать в течение 50 минут. Первые 5 минут регистрировали фоновую запись, а в течение следующих 45 минут исследователь включал генератор электромагнитного поля (прибор EcoSleep CUBE, ООО «ЦНСиб», Сколково), в контрольном эксперименте экспозиция электромагнитного поля не осуществлялась. Генератор электромагнитного поля располагался на расстоянии 700 мм от головы участника эксперимента, не был замечен, а сами испытуемые не знали, когда он будет включаться. Переменное магнитное поле создавалось бифилярными плоскими спиральными катушками (диаметр 50 мм, индуктивность 0,5 мкГн,

сопротивление 15 Ом). Максимально возможное напряжение индуктора поля составляло примерно 3 В, ток имел форму прямоугольных импульсов частотой 2 или 8 Гц с коэффициентом заполнения, равным 0,5. Индукцию электромагнитного поля в центре генератора (она составила 22 мкТл) измеряли с помощью прибора «Бе-МЕТП-АТ-002» (ООО «НТМ-защита», Россия). Индукцию  $B$  на расстоянии 700 мм рассчитывали по формуле:  $B = B_0(R_0/R)^2$ .

В нашем случае  $B_0 = 22$  мкТл,  $R_0 = 10$  мм,  $R = 700$  мм. Результаты расчетов показали, что на расстоянии 700 мм индукция электромагнитного поля достигала 0,004 мкТл (4 нТл), что значительно ниже гигиенической нормы в 100 мкТл.

После эксперимента двумя независимыми экспертами проводилось визуальное экспертное стадирование 30-секундных эпох всей 50-минутной записи, согласно стандартным критериям Американской академии медицины сна [Iber et al., 2007]. Эпохи подразделялись на следующие стадии:  $W$  – бодрствование,  $N_1$ – $N_3$  – соответствующие стадии медленно-волнового сна. В статье было проанализировано количество стадий сна на 5–10-минутных интервалах каждой 50-минутной записи и определены достоверности отличий по  $t$ -критерию Стьюдента.

Для статической оценки консолидированности сна применяли нелинейную регрессионную модель, описанную ранее [24] и определяемую уравнением Ферхюльста:

$$P(t) = \frac{A}{1 + e^{(B-Ct)}}. \quad (1)$$

В популяционной биологии данное уравнение описывает сценарий роста численности популяции  $P$  во времени  $t$ ; где  $A$  – предельно возможная численность популяции;  $C$  – скорость роста популяции; коэффициент  $B$  связан с отношением начальной и конечной численностей популяции. Аналогично росту численности особей в популяции, описываемому формулой (1), происходит погружение в сон и выход из него группы людей, поэтому в нашем случае логично соотнести  $P$  – с количеством заснувших испытуемых (находящихся на 2-й и 3-й стадиях сна) к моменту времени  $t$ ;  $A$  – с максимально возможным количеством заснувших испытуемых в данных условиях опыта;  $C$  – со скоростью засыпания;  $B$  – с уровнем сонливости испытуемых в начале опыта. По нашему мнению, параметр  $A$  описывает степень консолидированности сна в зависимости от условий опыта, в данном исследовании – в зависимости от вида электромагнитного стимула.

Для нашего случая коэффициенты нелинейной регрессии  $A$ ,  $B$  и  $C$  оценивали по методу наименьших квадратов Левенберга–Марквардта и вычисляли достоверность различий в контроле и при электромагнитном воздействии. Для статистической обработки данных использован пакет Statsoft Statistica 6.0.

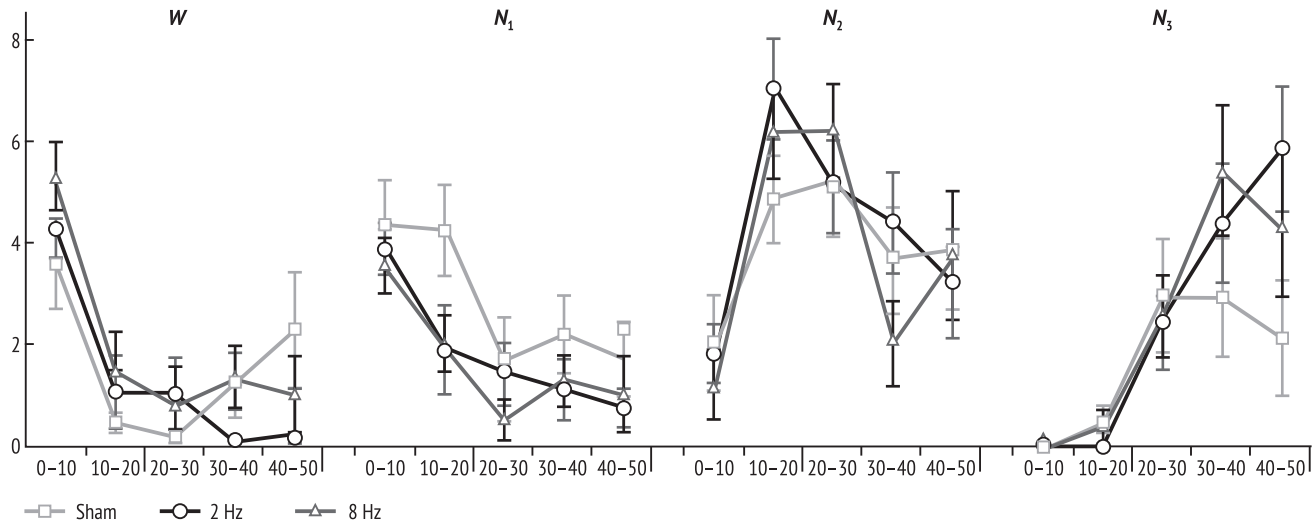
## Результаты и обсуждение

Анализ среднего времени бодрствования ( $W$ ) и различных стадий сна ( $N_1$ – $N_3$ ) по группе испытуемых за каждые 10 минут эксперимента показал, что в течение эксперимента как при стимуляции электромагнитным полем частотой 2 Гц, так и при стимуляции электромагнитным полем частотой 8 Гц отмечалось достоверное увеличение случаев с  $N_2$  стадией в первые 20 минут эксперимента и случаев с  $N_3$  стадией во второй половине эксперимента (рис. 1).

Уменьшение случаев бодрствования и нарастание глубины сна с течением времени в ходе экспериментов – закономерный результат у людей, находящихся в спокойном состоянии в положении лежа. Однако видно, что стимуляция электромагнитным полем частотой как 2, так и 8 Гц приводит к повышению среднего времени стадий  $N_2$  и  $N_3$  по группе.

В соответствии с моделью оценки консолидированности сна, описанной выше, в каждой 30-секундной эпохе стадирования в интервале с 1-й по 45-ю минуту подсчитывали долю испытуемых  $P$ , находившихся на  $N_2$  и  $N_3$  стадиях сна. Результаты оценки приведены в табл. 1. Полученные при данном анализе соответствующие регрессионные кривые (рис. 2) выявили большую долю испытуемых, находившихся на стадиях сна  $N_2$  и  $N_3$  при стимуляции электромагнитным полем 2 Гц и 8 Гц по сравнению с контролем (sham).

Ранее мы указывали, что для описания кривых на рис. 2 использовалось уравнение (1), где  $A$  – показатель консолидированности сна, соответствует высоте «плато» каждой кривой;  $B$  – показатель усредненного по группе начального уровня сонливости испытуемых;  $C$  – крутизна выхода кривой на плато, соответствует скорости засыпания. Из табл. 1 и рис. 2 видно, что при стимуляции электромагнитным полем консолидированность сна ( $A$ ) повышалась на 22% ( $p = 2,15 \cdot 10^{-7}$ ) и 14% ( $p = 0,00016$ ) соответственно при частоте стимуляции 2 и 8 Гц. Так, средняя доля испытуемых, находившихся на стадиях сна  $N_2$  и  $N_3$ , во второй половине эксперимента составила 87% при стимуляции с частотой 2 Гц и 81% при стимуляции с частотой 8 Гц по сравнению с 71% без



**Рис. 1.** Средняя представленность состояния сна на различных последовательных стадиях сна без стимуляции (Sham) и при стимуляции электромагнитным полем 2 и 8 Гц в разное время эксперимента

По оси абсцисс – 10-минутные отрезки эксперимента для последовательных стадий сна ( $W$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ), по оси ординат – среднее время каждого состояния по группе (мин). Отмечена стандартная ошибка среднего значения

**Fig. 1.** Average representation of the sleep state at various successive stages of sleep without stimulation (Sham) and with stimulation by an electromagnetic field of 2 and 8 Hz at different times of the experiment

The x-axis shows 10-minute segments of the experiment for successive stages of sleep ( $W$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ), and the y-axis is the average time of each state for the group. Standard error of the mean is noted

Таблица 1

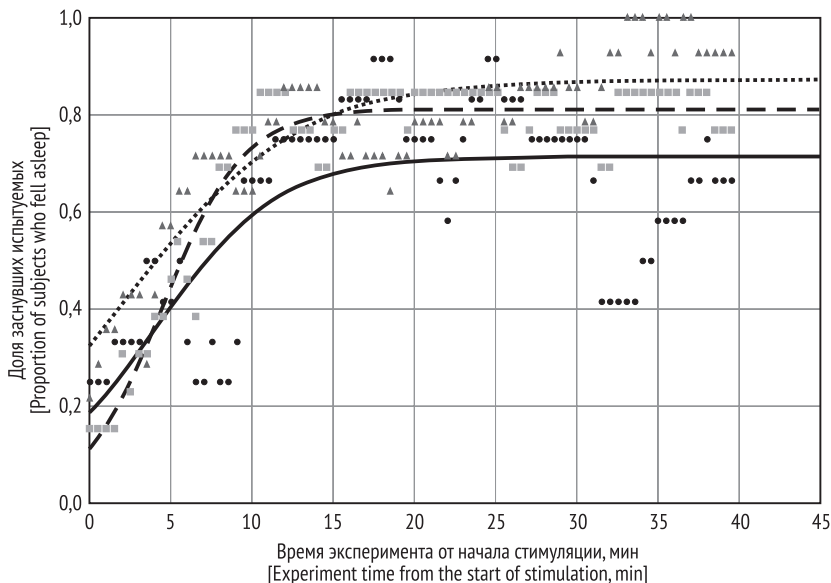
**Результаты статистического сравнения коэффициентов регрессионного уравнения Ферхюльста  
в опытах со стимуляцией 2 и 8 Гц и в контроле**  
**[Results of a statistical comparison of the coefficients of the Verhulst regression equation  
in experiments with stimulation of 2 and 8 Hz and in control]**

Параметр [Parameter]	Контроль [Control]		Стимуляция [Stimulation]					
			2 Гц [2 Hz]			8 Гц [8 Hz]		
	Оценка [Grade]	Стандартная ошибка [Standard error]	Оценка [Grade]	Стандартная ошибка [Standard error]	<i>p</i>	Оценка [Grade]	Стандартная ошибка [Standard error]	<i>p</i>
Максимально возможное количество заснувших испытуемых в данных условиях опыта [The maximum possible number of subjects who fell asleep under these experimental conditions]	0,715	0,023	0,873	0,015	<b>2,15*10<sup>-7</sup></b>	0,814	0,008	<b>0,00016</b>
Скорость засыпания [Speed of falling asleep]	0,264	0,065	0,195	0,026	0,54	0,402	0,033	0,12

Примечание. Уровень достоверности различий каждого из двух видов стимула с контролем приведен с учетом поправки Бонферрони на множественность сравнений. Достоверные различия ( $p \leq 0,05$ ) выделены жирным шрифтом.

[Note. The level of significance of differences between each of the two types of stimulus with control is given taking into account the Bonferroni correction for multiple comparisons. Significant differences ( $p \leq 0.05$ ) are highlighted in bold.]

стимуляции в контрольных экспериментах. Наибольшая консолидированность, наблюдавшаяся при стимуляции электромагнитным полем частотой 2 Гц, может быть связана с резонансным воздействием данной частоты электромагнитного стимула на дельта-активность в ЭЭГ, свойственную глубокому сну.



**Рис. 2.** Сравнение доли испытуемых, находившихся на стадиях сна  $N_2$  и  $N_3$  в контрольных опытах и в опытах со стимуляцией электромагнитным полем 2 и 8 Гц

Контроль: сплошная линия, разброс данных отмечен кружками; стимуляция электромагнитным полем 2 Гц: точечная линия, разброс данных показан треугольниками; 8 Гц: пунктирная линия, разброс данных – квадратами

**Fig. 2.** Comparison of the proportion of subjects who were in stages of sleep  $N_2$  and  $N_3$  in control experiments and in experiments with stimulation by electromagnetic fields of 2 and 8 Hz

Control: solid line, data spread is marked with circles signs; stimulation with an electromagnetic field of 2 Hz: dotted line, data scatter – triangles signs; 8 Hz: dotted line, data spread – squares signs

Кроме того, скорость засыпания ( $C$ ) при стимуляции электромагнитным полем частотой 2 Гц незначительно снижалась, а при 8 Гц – повышалась, хотя и не достоверно.

## Заключение

В исследовании было показано статистически значимое увеличение частоты второй и третьей стадий сна, а также улучшение консолидированности сна при воздействии электромагнитным полем с частотами 2 и 8 Гц; для оценки последнего использовалось нелинейное регрессионное моделирование [Norman et al., 2006; Влияние..., 2020]. Учитывая хорошую корреляцию между степенью консолидированности сна и его восстановительным эффектом [Libman et al., 2016; Conte et al., 2020], можно говорить об улучшении качества сна под воздействием электромагнитного поля. Ранее с использованием другого математического аппарата на тех же данных [Dorokhov et al., 2022] мы обнаружили статистически значимое увеличение частоты второй стадии сна; таким образом, мы видим подтверждение в пользу положительного эффекта электромагнитного поля с точки зрения разных аналитических подходов. Полученные результаты могут быть использованы для усиления восстановительного эффекта короткого дневного сна; тем не менее, требуется дальнейшая валидация полученного результата на большей выборке испытуемых.

## Библиографический список / References

Бреус Т.К., Бинги В.Н., Петрукович А.А. Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы // Успехи физических наук. 2016. Т. 186. № 5. С. 568–576. [Breus T.K., Bingi V.N., Petrukovich A.A. Magnetic factor of solar-terrestrial connections and its influence on humans: Physical problems and prospects. *Uspеhi fizicheskikh nauk*. 2016. Vol. 186. No. 5. Pp. 568–576. (In Rus.)]

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965. [Vernadskij V.I. Himicheskoe stroenie biosfery Zemli i ejo okruzheniya [Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment]. Moscow, 1965.]

Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу–ноосферу (Гелиобиология от А.Л. Чижевского до наших дней). М., 2000. [Vladimirskij B.M., Temurjanc N.A. Vliyanie solnechnoy aktivnosti na biosferu–noosferu (Geliobiologiya ot A.L. Chizhevskogo do nashikh dney) [The influence of solar activity on the biosphere–noosphere (Heliobiology from A.L. Chizhevsky to the present day)]. Moscow, 2000.]

Влияние музыки, содержащей бинауральные биения, на динамику дневного засыпания / Шумов Д.Е., Яковенко И.А., Алипов Н.Н. и др. // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020. Т. 120. № 2. С. 39–44. [Shumov D.E., Jakovenko I.A., Alipov N.N. et al. The influence of music containing binaural beats on the dynamics of daytime falling asleep. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im. S.S. Korsakova*. 2020. Vol. 120. No. 2. Pp. 39–44. (In Rus.)]



Зенченко Т.А. Влияние слабых экзогенных факторов на физиологические показатели человека на примере изучения реакции сердечно-сосудистой системы на действие вариаций атмосферных и геомагнитных факторов: Дис. ... д-ра биол. наук. Пуцзино, 2016. [Zenchenko T.A. Vlijanie slabyh jekzogennyh faktorov na fiziologicheskie pokazateli cheloveka na primere izuchenija reakcii serdecno-sosudistoj sistemy na dejstvie variacij atmosferynyh i geomagnitnyh faktorov [The influence of weak exogenous factors on human physiological indicators using the example of studying the response of the cardiovascular system to the effects of variations in atmospheric and geomagnetic factors]. Dr. Hab. dis. Pushhino, 2016.]

Кудряшов Ю.Б., Рубин А.Б. Радиационная биофизика: сверхнизкочастотные электромагнитные излучения. М., 2014. [Kudrjashov Yu.B., Rubin A.B. Radiacionnaja biofizika: sverhнизkочастотnye jelektromagnitnye izlucheniya [Radiation biophysics: Ultra-low frequency electromagnetic radiation]. Moscow, 2014.]

Кузин А.М. Проблемы радиобиологии. М., 1970. [Kuzin A.M. Problemy radiobiologii [Problems of radiobiology]. Moscow, 1970.]

Патогенные воздействия неионизирующих излучений на организм человека / Москвин С.В., Соколовская Л.В., Субботина Т.И. и др. М.; Тверь; Тула, 2007. [Moskvin S.V., Sokolovskaja L.V., Subbotina T.I. et al. Patogennye vozdejstvija neionizirujushhijh izluchenij na organizm cheloveka. Moscow; Tver; Tula, 2007.]

Тимофеев-Ресовский Н.В., Савич А.В., Шальнов М.И. Введение в молекулярную радиобиологию (физико-химические основы). М., 1981. [Timofeev-Resovskij N.V., Savich A.V., Shalnov M.I. Vvedenie v molekularnuju radiobiologiju (fiziko-himicheskie osnovy) [Introduction to molecular radiobiology (physicochemical fundamentals)]. Moscow, 1981.]

Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитных полях. М., 1982. [Holodov Yu.A. Mozg v jelektromagnitnyh poljah [Brain in electromagnetic fields]. Moscow, 1982.]

Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976. [Chizhevskij A.L. Zemnoe jeha solnechnyh bur [Earthly echo of solar storms]. Moscow, 1976.]

Åkerstedt T., Arnetz B., Ficca G. et al. A 50-Hz electromagnetic field impairs sleep. *J. Sleep Res.* 1999. Vol. 8. No. 1. Pp. 77–78.

Borbély A.A. A two process model of sleep regulation. *Hum. Neurobiol.* 1982. Vol. 1. Pp. 195–204.

Caldwell J.A., Mallis M.M., Caldwell J.L. et al. Fatigue countermeasures in aviation. *Aviat. Space Environ. Med.* 2009. Vol. 80. Pp. 29–59.

Carrubba S., Marino A.A. The effects of low-frequency environmental-strength electromagnetic fields on brain electrical activity: A critical review of the literature. *Electromagn. Biol. Med.* 2008. Vol. 27. No. 2. Pp. 83–101.

Conte F., Cerasuolo M., Fusco G. et al. Sleep continuity, stability and organization in good and bad sleepers. *J. Health Psychol.* 2020. Feb. 7. 1359105320903098.

Dorokhov V.B., Taranov A.I., Narbut A.M. et al. Effects of exposure to a weak extremely low frequency electromagnetic field on daytime sleep architecture and length. *Sleep Med. Res.* 2019. Vol. 10. No. 2. Pp. 97–102.

Dorokhov V.B., Taranov A.O., Sakharov D.S. et al. Effects of exposures to weak 2-Hz vs. 8-Hz electromagnetic fields on spectral characteristics of the electroencephalogram in afternoon nap. *Biological Rhythm Research*. 2022. Vol. 53. No. 7. Pp. 987–995.

Graham C., Cook M.R. Human sleep in 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1999. Vol. 20. No. 4. Pp. 277–283.

Iber C., Ancoli-Israel S., Chesson A., Quan S.F. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: Rules, terminology, and technical specification. Westchester, IL, 2007.

Ilonen K., Markkanen A., Mezei G., Juutilainen J. Indoor transformer stations as predictors of residential ELF magnetic field exposure. *Bioelectromagnetics*. 2008. Vol. 29. Pp. 213–218.

Libman E., Fichten C., Creti L. et al. Refreshing sleep and sleep continuity determine perceived sleep quality. *Sleep Disord*. 2016. 7170610.

Maas J.B., Wherry M.L., Axelrod D.J. et al. Power sleep: The revolutionary program that prepares your mind for peak performance. New York, 1998.

Milner C.E., Cote K.A. Benefits of napping in healthy adults: Impact of nap length, time of day, age, and experience with napping. *J. Sleep Res*. 2009. Vol. 18. Pp. 272–281.

Norman R.G., Scott M.A., Ayappa I. et al. Sleep continuity measured by survival curve analysis. *SLEEP*. 2006. Vol. 29. No. 12. Pp. 1625–1631.

Ohayon M.M., Stolc V., Freund F.T. et al. The potential for impact of man-made super low and extremely low frequency electromagnetic fields on sleep. *Sleep Med. Rev*. 2019. Vol. 47. Pp. 28–38.

Takahashi M., Nakata A., Haratani T. et al. Post-lunch nap as a worksite intervention to promote alertness on the job. *Ergonomics*. 2004. Vol. 47. Pp. 1003–1013.

Zhadin M.N. Review of Russian literature on biological action of DC and low-frequency AC magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2001. Vol. 22. No. 1. Pp. 27–45.

Статья поступила в редакцию 05.07.2023, принята к публикации 03.09.2023  
The article was received on 05.07.2023, accepted for publication 03.09.2023

#### Сведения об авторе / About the author

**Лигун Наталья Владимировна** – старший лаборант лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Natalia V. Ligon** – senior laboratory assistant at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7358-0243>

E-mail: [dona77@yandex.ru](mailto:dona77@yandex.ru)

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-413-431

УДК 591.5:57.045

**М.А. Ключникова, П.В. Стручков, И.Г. Кваша**

Институт проблем экологии и эволюции  
имени А.Н. Северцова Российской академии наук,  
119071 г. Москва, Российская Федерация

## Влияние запаха эфирных масел на поведение лабораторных мышей и крыс: краткий систематический обзор

В последние годы, в том числе в связи с пандемией COVID-19, интерес в научной среде к практикам ароматерапии существенно возрос. Однако многие предполагаемые эффекты и механизмы действия эфирных масел нуждаются в проверке научными методами. Также немалую важность представляет поиск новых биологически активных соединений растительного происхождения. В связи с этим, мы обратились к исследованиям *in vivo* на модельных организмах. В данной работе нами был выполнен первичный систематический анализ литературных источников базы данных PubMed, в которых изучались эффекты запахов эфирных масел на поведенческие ответы лабораторных крыс и мышей. Нами была описана выборка из 77 статей по таким параметрам, как вид растительного источника, наличие данных о химическом составе эфирного масла, вид, пол и возраст экспериментального животного, параметры предъявления запахов, использованные модели нарушений и поведенческие тесты. Среди основных пробелов в научном охвате проблемы мы выделили дисбаланс в половозрастном составе экспериментальных животных, где был отмечен перевес



© Ключникова М.А., Стручков П.В., Кваша И.Г., 2023

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License  
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

в сторону самцов молодого возраста. Наиболее полно в нашей выборке статей были представлены эффекты запахов масел на показатели депрессивно-подобного, тревожного и исследовательского поведения, обучения и памяти. При этом авторы источников очень редко обращались к исследованию воздействий на социальное поведение животных, что мы также считаем важной задачей для будущих исследований.

**Ключевые слова:** запаховая стимуляция, эфирные масла, поведение животных, домовая мышь, серая крыса

**Благодарности.** Авторы выражают признательность кандидату биологических наук В.В. Вознесенской за ценные советы и замечания при подготовке данной статьи.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ключникова М.А., Стручков П.В., Кваша И.Г. Влияние запаха эфирных масел на поведение лабораторных мышей и крыс: краткий систематический обзор // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 4. С. 413–431. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-413-431

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-413-431

**M.A. Klyuchnikova, P.V. Struchkov, I.G. Kvasha**

Severtsov Institute of Ecology and Evolution,  
Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 119071, Russian Federation

## The effects of essential oil scents on the behavior of laboratory mice and rats: A brief systematic review

In recent years, partially due to the COVID-19 pandemic, scientific interest in aromatherapy has increased significantly. However, many alleged effects and mechanisms of action of essential oils need to be verified by scientific methods. The search for new bioactive compounds of plant origin is also of great importance. In this regard, we turned to *in vivo* studies on model organisms. We performed an initial systematic literature review of the PubMed articles on the effects of essential oil odors on behavioral responses in laboratory rats and mice. We annotated the retrieved list of 77 articles considering the type of plant source, availability of data on the chemical

composition of the essential oil, species/sex/age of the experimental animal, parameters of odor exposure, model of human disorders used, and types of behavioral tests. Among the main gaps in the scientific coverage, we highlighted the imbalance in the sex and age of the laboratory animals, such as the prevalence of young males. In the referenced studies, the effects of essential oil odors on depression-like, anxiety and exploratory behavior, as well as on learning and memory were presented most fully. But the effects on social behavior of animals were rarely addressed, which we also consider a gap to be filled with future studies.

**Key words:** odor stimulation, essential oils, animal behavior, house mouse, brown rat

**Acknowledgments.** The authors express their gratitude to V.V. Voznesenskaya (PhD in Biology) for valuable advice and comments during the work on the article.

FOR CITATION: Klyuchnikova M.A., Struchkov P.V., Kvasha I.G. The effects of essential oil scents on the behavior of laboratory mice and rats: A brief systematic review. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 413–431. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-4-413-431

## Введение

За последние десятилетия значительно усилился интерес приверженцев научно-обоснованной «западной» медицины к такой альтернативной практике, как ароматерапия. Под ароматерапией обыкновенно понимают контролируемое использование эфирных масел генеративных и вегетативных органов растений (ингаляционное, пероральное, трансдермальное) с целью профилактики и терапии заболеваний человека, применяемое как отдельно, так и в дополнение к общепринятым медицинским протоколам лечения [Farrar, Farrar, 2020]. Эфирные масла растительного происхождения характеризуются высокой летучестью и выраженным запахом. Их традиционно используют для снятия усталости, облегчения симптомов депрессии и тревожности, улучшения сна. Также известны их противовоспалительные, антимикробные и обезболивающие свойства.

Далеко не все сообщения о влиянии эфирных масел растений на человека являются научно-обоснованными. Однако существует ряд исследований, соответствующих строгим критериям научности и при этом подтверждающих эффекты воздействия запахов масел даже в таких сложных для экспериментального изучения сферах, как настроение, психическое состояние и поведение людей [Herz, 2009; Cui, Li, Wei

et al., 2022]. Вдыхание эфирных масел, при условии использования качественной продукции и отсутствии индивидуальных побочных реакций, считается достаточно безвредным. Так, например, в России ароматизация помещений эфирными маслами растительного происхождения даже была рекомендована Минздравом РФ для использования в деятельности образовательных учреждений (утв. приказом № 139 от 4 апреля 2003 г.).

В последние годы в связи с пандемией COVID-19 интерес к ароматерапии существенно возрос. Ранние штаммы этого вируса вызывали острое снижение обоняния и вкуса [Parma, Ohla, Veldhuizen et al., 2020; Gerkin, Ohla, Veldhuizen et al., 2021; Nguyen, Albayay, Höchenberger et al., 2023], а также приводили к долговременным качественным нарушениям восприятия запахов у переболевших, таким как паросмия (искаженное восприятие ароматов) и фантосмия (стойкое ощущение отсутствующего запаха) [Kopishinskaia, Lapshova, Sherman et al., 2021; Ohla, Veldhuizen, Green et al., 2022]. При этом практикующие врачи и исследователи достаточно обоснованно рекомендовали пациентам использовать для восстановления утраченных хемосенсорных способностей обонятельные тренировки, в том числе с наборами ароматических масел [Altundag, Cayonu, Kayabasoglu et al., 2015; Koyama, Kondo, Ueha et al., 2021; Hwang, Kim, Basurrah et al., 2023]. Появлялись сообщения о благоприятном воздействии эфирных масел на предотвращение заражения вирусом COVID-19, а также на ускорение процесса выздоровления [Elsebai, Albalwai, 2022]. В качестве примера можно привести недавнее контролируемое клиническое исследование, в котором вдыхание смеси эфирных масел тимьяна (*Thymus vulgaris* L.), апельсина (*Citrus sinensis* (L.) Pers.), гвоздики (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry) и ладана (*Boswellia sacra* Flueck.) значимо облегчало частый симптом состояния пост-ковидной усталости [Hawkins et al., 2022].

Многие эффекты эфирных масел всё еще остаются научно необоснованными. Малоизвестны физиологические и молекулярные механизмы их действия. Также несомненный интерес представляют поиск и выделение новых биологически активных соединений из эфирных масел. В связи с этим мы обратились к исследованиям *in vivo* на модельных организмах.

Целью данной работы была первичная систематическая аннотация оригинальных статей из базы данных PubMed, посвященных влиянию вдыхания эфирных масел растений на поведенческие ответы лабораторных мышей (*Mus musculus* L.) и крыс (*Rattus norvegicus* L.).

Выбор электронного поискового ресурса был обусловлен его репутацией и общедоступностью. К достоинствам систематического подхода

при работе с литературными источниками можно отнести снижение степени предвзятости при выборе статей. Главным образом, в этой работе мы планировали выявить пробелы в охвате научными исследованиями интересующей области.

## Методы

При выполнении исследования мы руководствовались широко известными принципами PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis, <http://www.prisma-statement.org/>) [Pati, Lorusso, 2018]. В октябре 2023 г. нами был выполнен поиск в общедоступной базе данных PubMed (адрес в сети интернет <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) по комбинации ключевых слов с использованием логических операторов: «эфирное масло» И «поведение» И («крыса» ИЛИ «мышь») И («вдыхание» ИЛИ «обонятельный»). В оригинале – [All Fields]: (essential oil) AND (behavior) AND (mouse OR rat) AND (inhale OR olfactory). Следует заметить, что при этом в поисковый запрос автоматически включаются англоязычные синонимы и формы ключевых слов, например, помимо *essential* было добавлено *volatile*, помимо *mouse* – *mice* и др.

В результате нами были извлечены метаданные для 113 статей. После предварительного ознакомления с содержанием источников (скрининга) из списка были исключены 36 статей. Из них две представляли собой обзоры, не содержащие оригинальных данных, а для четырех не удалось однозначно интерпретировать доступное краткое содержание при отсутствии доступа к полному тексту источника. В остальных тридцати отброшенных статьях было выявлено несоответствие содержания предмету данного обзора (например, исследование было выполнено на человеке, или использовались только отдельные химические вещества, или масла вводили животным внутривенно и пр.).

Для аннотации оставшегося списка из 77 статей были поставлены следующие вопросы. К какому биологическому виду принадлежало растение – источник эфирного масла? Представлены ли в статье данные о химическом составе масла? Исследовали ли эффекты отдельных фракций или компонентов? Каков был вид, пол и возраст экспериментальных животных? Обращались ли исследователи к экспериментальным моделям патологии человека? Было ли воздействие маслами однократным или курсовым, и какова была его длительность? Исследовали ли зависимость эффекта от ингаляционной дозы? Какие поведенческие тесты проводили?

## Результаты и обсуждение

Список аннотированных статей, отобранных нами из базы данных PubMed, представлен на общедоступной странице (<https://data.mendeley.com/datasets/sy3xxmzjwx/1>; DOI: 10.17632/sy3xxmzjwx.1). Статьи имели даты публикации с 1987 по 2024 гг. Однако основная часть работ (95%,  $n = 73$ ) вышла в свет после 2000 г., что вполне согласуется как с усилением интереса научного сообщества к практикам ароматерапии в целом, так и с ростом научно-технического потенциала стран, в которых система здравоохранения неразрывно связана с традиционной восточной медициной (Китай, Индии и др.).

Чтобы проанализировать использование источников растительно-го сырья, нами было отобрано 70 статей (№ 1–70 в аннотированном списке).

За рамки этого анализа мы вынесли 5 статей (№ 71–75 в списке), в которых их авторы изучали исключительно эффекты смесей различных масел, а также два значимых сравнительных исследования, где были приведены только бытовые названия растений (№ 76–77).

Нами было установлено, что в имеющейся выборке статей были исследованы эффекты масел примерно 50 видов растений, принадлежащих 23 семействам (табл. 1). Чаще всего использовали масла растений рода Лаванда (*Lavandula*, Lamiaceae) – 17 статей, и рода Цитрус (*Citrus*, Rutaceae) – 13 статей. Наиболее «охваченным» оказалось семейство Lamiaceae, где насчитывалось 13 растений из 8 родов по статьям нашей подборки. Удивительно, что несмотря на такой внушительный перечень, среди видов растений не оказалось таких популярных источников ароматов, как, например, мята перечная (*Mentha piperita* L.), или роза (*Rosa damascena* Mill.), или эвкалипт (род *Eucaliptus*).

Таблица 1

### Виды растений – источников эфирных масел (по статьям нашей выборки)

[Plant species – sources of essential oils  
(according to articles in our sample)]

Семейство [Family]	Количество исследований [Number of studies]	Вид (латинское название) [Species (in Latin)]	Вид (русское название) [Species (in Russian)]
Altingiaceae	1	<i>Liquidambar orientalis</i> Mill.	Ликвадамбр азиатский



Продолжение табл. 1

Семейство [Family]	Количество исследований [Number of studies]	Вид (латинское название) [Species (in Latin)]	Вид (русское название) [Species (in Russian)]
Annonaceae	2	<i>Cananga odorata</i> (Lam.) Hook. f. & Thomson	Кананга душистая (трив. иланг-иланг)
Apiaceae	1	<i>Pimpinella</i> <i>peregrina</i> L.	Бедренец чужеземный
Apiaceae	1	<i>Angelica gigas</i> Nakai	Дудник гигантский
Apiaceae	2	<i>Coriandrum</i> <i>sativum</i> L.	Кориандр посевной
Apiaceae	1	<i>Anthriscus nemorosa</i> Baker & S. Moore	Купырь лесной
Apiaceae	1	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Фенхель обыкновенный
Aristolochiaceae	1	<i>Asarum</i> <i>heterotropoides</i> F. Schmidt	Копытень гетеротроповидный
Asteraceae	1	<i>Artemisia argyi</i> H. Lév. & Vaniot	Полынь Аржи
Asteraceae	2	<i>Chamaemelum</i> <i>nobile</i> (L.) All.	Пупавник благо- родный (трив. римская ромашка)
Asteraceae	1	<i>Saussurea costus</i> (Falc.) Lipsch.	Соссюрея костус
Asteraceae	1	<i>Chromolaena</i> <i>odorata</i> (L.) R.M.King & H.Rob.	Хромолена душистая
Caprifoliaceae	1	<i>Nardostachys</i> <i>jatamansi</i> (D. Don) DC	Нард индийский
Cupressaceae	3	<i>Chamaecyparis</i> <i>obtuse</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	Кипарисовик туполистный
Cupressaceae	1	<i>Thujaopsis dolabrata</i> (Thunb. ex L. f.) Siebold & Zucc.	Туевик долотовидный

Продолжение табл. 1

Семейство [Family]	Количество исследований [Number of studies]	Вид (латинское название) [Species (in Latin)]	Вид (русское название) [Species (in Russian)]
Dipterocarpaceae	1	<i>Dryobalanops aromatica</i> Gaertn.fil.	Дриобаланопс ароматный
Iridaceae	1	<i>Crocus sativus</i> L.	Шафран посевной
Lamiaceae	1	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Базилик обыкновенный
Lamiaceae	17	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	Лаванда узколистная
Lamiaceae	3	<i>L. hybrida</i> Rev.	Лавандин
Lamiaceae	1	<i>L. latifolia</i> Medik.	Лаванда широколистная
Lamiaceae	1	<i>L. stoechas</i> L.	Лаванда стэхадская
Lamiaceae	1	<i>Majorana hortensis</i> Moench	Майоран садовый
Lamiaceae	1	<i>Microtoena patchoulii</i> (C.B. Clarke ex Hook. fil.) C.Y. Wu & S.J. Hsuan	Микротёна патчولي
Lamiaceae	3	<i>Pogostemon cablin</i> (Blanco) Benth.	Пачули
Lamiaceae	1	<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton	Перилла кустарниковидная
Lamiaceae	1	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Розмарин лекарственный
Lamiaceae	1	<i>Salvia multicaulis</i> Vahl	Шалфей многостебельчатый
Lamiaceae	1	<i>S. officinalis</i> L.	Шалфей лекарственный
Lamiaceae	1	<i>S. sclarea</i> L.	Шалфей мускатный
Lauraceae	2	<i>Cinnamomum cassia</i> (L.) J.Presl	Коричник китайский
Myrtaceae	1	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & Perry	Сизигиум ароматный

Окнчание табл. 1

Семейство [Family]	Количество исследований [Number of studies]	Вид (латинское название) [Species (in Latin)]	Вид (русское название) [Species (in Russian)]
Passifloraceae	1	<i>Passiflora incarnata</i> L.	Страстоцвет мясо-красный
Pinaceae	1	<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G. Manetti ex Carrière	Кедр атласский
Pinaceae	1	<i>Pinus halepensis</i> Mill.	Сосна алеппская
Piperaceae	1	<i>Piper guineense</i> Schumach. & Thonn.	Перец гвинейский
Poaceae	2	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty	Ветиверия цицаниевидная
Rutaceae	5	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Pers.	Апельсин
Rutaceae	5	<i>C. bergamia</i> Risso & Poit	Бергамот
Rutaceae	3	<i>C. limon</i> (L.) Burm. f.	Лимон
Rutaceae	1	<i>C. reticulata</i> Blanco	Цитрус сетчатый (трив. мандарин)
Rutaceae	1	<i>C. aurantium</i> L.	Померанец
Santalaceae	2	<i>Santalum album</i> L.	Сантал белый
Schisandraceae	1	<i>Illicium verum</i> Hook.f.	Бадьян настоящий
Solanaceae	1	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Табак обыкновен- ный (трив. табак курительный)
Thymelaeaceae	3	<i>Aquilaria sinensis</i> (Lour.) Gilg, gen A.	Аквилярия китайская, род
Tiliaceae	1	<i>Tilia cordata</i> Mill.	Липа сердцевидная
Zingiberaceae	2	<i>Alpinia zerumbet</i> (Pers.) B.L. Burtt & R.M. Sm.	Альпиния церумбет
Zingiberaceae	1	<i>Kaempferia galanga</i> L.	Кемпферия галанга

Примечание. Русскоязычные названия видов приведены согласно сведениям сайтов <https://plant.depo.msu.ru/>, <https://www.plantarium.ru/> (октябрь 2023 г.).

В 62 статьях (81%) были обнаружены подробные данные о химических составах исследуемых масел, как правило, определенных современным методом газожидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрической детекцией.

Обыкновенно эфирные масла состоят из десятков отдельных химических веществ в различных концентрациях, но один или несколько компонентов явно преобладают. Ароматические растения в силу межвидовых различий в метаболических путях способны синтезировать уникальные наборы летучих соединений [Pichersky, Noel, Dudareva, 2006]. При этом процентное содержание эфирных масел у одного вида растений может меняться в зависимости от места произрастания, времени года, условий выделения и пр. (например, [Demasi, Caser, Lonati et al., 2018]). Таким образом, наличие данных о химическом составе масла в литературном источнике является неотъемлемым показателем качества исследования, предоставляющим возможность проводить сравнение работ разных научных групп. Также в 17 работах (23%) помимо самого эфирного масла были экспериментально изучены эффекты его фракции или химических компонентов. Такие исследования позволяют сделать еще один шаг в сторону выделения новых веществ, обладающих специфической биологической активностью.

Лабораторные животные разделились по видам практически равномерно: в 48% источников использовали крыс (*Rattus norvegicus* L.), а в 52% – мышей (*Mus musculus* L.). Общей мировой тенденцией в последние десятилетия является преобладание исследований, выполненных на мышах в связи с лучшим набором генетических инструментов, меньших затрат на содержание [Ellenbroek, Youn, 2016]. Однако в ключе оценки поведенческих реакций большое количество работ, выполненных на крысах, нам представляется позитивным, поскольку исторически основной набор поведенческих тестов был разработан именно для крыс.

За редким исключением, в нашей подборке статей легко удалось обнаружить указание на пол животных. Однако на самках эффекты масел оказались мало исследованы, поскольку в 85% статей изучали исключительно ответные реакции самцов. Такое соотношение полов весьма характерно для исследований в области нейронаук [Beery, Zucker, 2011], что отчасти обусловлено известными сведениями об изменении общей двигательной активности самок в зависимости от фазы эстрального цикла. Мы полагаем, что малое количество работ с использованием самок является значимым пробелом в интересующей нас области, поскольку половые различия в восприятии ряда запаховых веществ

были отмечены как у людей [Larsson, Lövdén, Nilsson, 2003; Doty, Cameron, 2009], так и у модельных животных [Kass, Czarnecki, Moberly et al., 2017; Francesconi, Macaroy, Sawant et al., 2020]. При этом в исследованиях на человеке часто именно женщины были более чувствительны к запахам [Voznessenskaya, Klyuchnikova, 2017] и более эмоционально реагировали на них по сравнению с мужчинами [Chen, Dalton, 2005].

Изучив данные о возрастном составе крыс и мышей, в том числе о весовых характеристиках (если возраст не был указан), мы пришли к выводу, что всех животных можно было отнести к возрасту от четырех недель и старше (отмечено минимум 27 дней, максимум 6 месяцев). Лишь в одном исследовании из нашей выборки нами были обнаружены сравнительные данные о реакции на масла для разных возрастных групп [Buchbauer, Jirovetz, Jäger, 1991]. В целом, старшие возрастные группы явно были представлены недостаточно. Для мышей линии C57BL/6J, например, «средним» возрастом принято считать 10–14 месяцев, а «пожилым» – 18–24 месяца [Flurkey, Curren, Harrison, 2007]. Таким образом, представленная выборка позволяет экстраполировать данные полученные на модельных животных, только на узкую возрастную категорию «молодых взрослых». Здесь следует заметить, что эфирные масла на практике часто применяют в домах престарелых, хосписах [Farrar, Farrar, 2020], поэтому исследования на моделях «пожилых» животных представляют несомненный интерес. Не менее интересны были бы и лабораторные исследования на неполовозрелых особях, поскольку, например, известно, что в человеческой популяции дети, вероятно, даже более выразительно реагируют на запахи эфирных масел, чем взрослые [Rodionova, Minor, 2017; Voznessenskaya, Laktionova, Klyuchnikova et al., 2018; Voznessenskaya, Laktionova, Rodionova et al., 2018].

Частота предъявления обонятельных стимулов в эксперименте варьировала от 1 до 84 дней. В 57% работ исследовали эффект однократного предъявления, а в 40% длительность экспозиции составила семь и более дней. В данном случае оба типа применения представляют несомненный интерес, поскольку моделируют как острое воздействие, так и курсовое.

Только в 21 из 77 источников (27%) животные на начало предъявления эфирных масел были исключительно интактными, т.е. без предварительного оказания на них различного рода воздействий (см. аннотированный список). В остальных доступных источниках имело место какое-то предварительное воздействие (например, обучение, имплантация электродов) или была использована модель определенно-го патологического состояния. Наиболее часто (в 12 статьях) животных

подвергали хроническому стрессу, в 11 статьях моделировали когнитивные расстройства или оценивали функции памяти, в 9 статьях моделировали повышенную тревожность или состояние ажитации, в 8 статьях использовали модели боли и воспаления. Несколько реже моделировали нарушения обоняния (4 источника), нарушения сна (2 источника), развитие ожирения (2 источника). В целом, эти модели соответствуют основным состояниям, при которых в медицинской практике назначают ароматерапию. Что касается нарушений обоняния, здесь надо отметить, что эти исследования были направлены скорее на изучение механизмов воздействия эфирных масел, в частности был поставлен вопрос о роли звена ольфакторной рецепции. Например, в исследовании [Chioca, Antunes, Ferro et al., 2013] экспериментальная anosmia не препятствовала развитию анксиолитического (противотревожного) эффекта у мышей после ингаляции масла лаванды, т.е. эффект развивался скорее за счет диффузии активных веществ через кровь и в ЦНС, чем путем стимуляции обонятельных рецепторов.

Исследование описанных выше моделей проводили с помощью стандартных тестов, которые позволяют выявить соответствующие отклонения в поведении (табл. 2). Наиболее часто проводили оценку тревожного, локомоторного и ориентировочно-исследовательского поведения в различных камерах (в 14 статьях), приподнятом крестообразном лабиринте (в 26 статьях), открытом поле (в 22 статьях), светло-темной камере (в 8 статьях) и пр., что в общей сложности составляет 46% от всех описанных в публикациях методик. Также во многих статьях прибегали к оценке депрессивно-подобного поведения (суммарно в 22% случаев), главным образом, при помощи теста неизбежного плавания (Порсольта) (в 26 статьях). Методики по изучению процессов обучения и памяти у животных в сумме составили около 13%, чаще всего тестирование проводили в Y-лабиринте (9 статей). Тесты по исследованию болевой чувствительности и оценке режима сна/бодрствования также находятся в соответствии с распространенными способами применения эфирных масел среди людей – в качестве болеутоляющего, противовоспалительного, а также для седации или, наоборот, стимуляции процессов ЦНС.

В то же время обращает на себя внимание редкая встречаемость тестов на социальное поведение, при этом эфирные масла широко используют в местах большого скопления людей. Интересные данные были получены в недавнем исследовании, касающиеся такой разновидности социального поведения, как агрессивное. В частности, в эксперименте было продемонстрировано значимое снижение проявлений агрессивного вождения автомобиля в присутствии запаха перечной мяты [Moss, Ho, Swinburne et al., 2023].

**Частота использования различных поведенческих тестов  
(по статьям нашей выборки)  
[Frequency of use of various behavioral tests  
(according to articles in our sample)]**

<b>Количество исследований [Number of studies]</b>	<b>Название теста [Test name]</b>	<b>Оцениваемое поведение [Assessed behavior]</b>
2	Поведенческие наблюдения [Behavioral observations]	Нетипичное (без использования тестов) [Atypical (without using tests)]
4	Потребление пищи [Food intake]	Пищевое [Feeding]
1	Сила захвата [Grip strength]	Мышечная сила [Muscle strength]
3	Ротород [Rotorod]	Моторная координация [Motor coordination]
1	Беговое колесо [Running wheel]	Физическая сила и выносливость [Physical strength and endurance]
14	Различные камеры для исследования локомоции [Various chambers for studying locomotion]	Локомоторная и ориентиро- вочно-исследовательская активность [Locomotor and orientation- exploratory activity]
26	Поднятый крестообразный лабиринт [Elevated plus maze]	Тревожность [Anxiety]
20	Открытое поле [Open field]	Тревожность, локомоторная и ориентировочно-иссле- довательская активность [Anxiety, locomotor and orientation-exploratory activity]
8	Светло-темная камера [Light-dark box]	Тревожность [Anxiety]
3	Тест зарывания стеклянных шариков [Marble-burying test]	Тревожность [Anxiety]

Продолжение табл. 2

<b>Количество исследований</b> [Number of studies]	<b>Название теста</b> [Test name]	<b>Оцениваемое поведение</b> [Assessed behavior]
2	Гипофагия, вызванная новизной [Novelty-induced hypophagia]	Тревожность [Anxiety]
2	Открытое поле в модификации «норковая камера» [Open field in the “hole board” modification]	Тревожность, локомоторная и ориентировочно-исследовательская активность [Anxiety, locomotor and orientation-exploratory activity]
24	Принудительное плавание [Forced swimming]	Депрессивно-подобное [Depressive-like]
6	Предпочтение сахарозы [Preference for sucrose]	Депрессивно-подобное [Depressive-like]
6	Подвешивание за хвост [Tail suspension]	Депрессивно-подобное [Depressive-like]
9	У-лабиринт [Y-maze]	Обучение/память [Learning/memory]
7	Радиальные лабиринты [Radial arm mazes]	Обучение/память [Learning/memory]
2	Водный лабиринт Морриса [Morris water maze]	Обучение/память [Learning/memory]
2	Замирание, вызванное контекстом [Context-induced freezing]	Обучение/память [Learning/memory]
1	Узнавание новых объектов [Recognition of new objects]	Обучение/память [Learning/memory]
1	Пассивное избегание [Passive avoidance]	Обучение/память [Learning/memory]
3	Формалиновый тест [Formaldehyde test]	Болевая чувствительность [Pain sensitivity]
2	Вызванные корчи [Induced writhing]	Болевая чувствительность [Pain sensitivity]
1	Механическая гиперчувствительность [Mechanical hypersensitivity]	Болевая чувствительность [Pain sensitivity]



Количество исследований [Number of studies]	Название теста [Test name]	Оцениваемое поведение [Assessed behavior]
1	Горячая пластина [Hot plate]	Болевая чувствительность [Pain sensitivity]
6	Пентобарбиталовый сон [Pentobarbital sleep]	Сон/бодрствование [Sleep/wake]
3	Цикл сон/бодрствование [Sleep/wake cycle]	Сон/бодрствование [Sleep/wake]
2	Социальный контакт [Social contact]	Социальные взаимодействия [Social interactions]
1	3-камерный тест на социальность [3-chamber sociality test]	Социальные взаимодействия [Social interactions]

### Заключение и выводы

В настоящем исследовании нами был выполнен первичный систематический анализ литературных источников базы данных PubMed, в которых изучались эффекты эфирных масел на поведенческие ответы лабораторных грызунов.

Основные выводы таковы:

1) количество индексированных публикаций по тематике неуклонно растет на протяжении последних десятилетий, что отражает интерес научного сообщества;

2) большинство работ отвечает таким первичным критериям качества, как упоминание биологического вида растения-источника, описание химического состава эфирного масла, применение стандартных поведенческих тестов;

3) нами был выявлен явный, хотя и ожидаемый, дисбаланс в половозрастном составе экспериментальных животных с перевесом в сторону самцов молодого возраста;

4) учитывая многие данные о зависимости восприятия запахов от пола и возраста, особенно важно в будущем протестировать эффекты на самках, а также выполнить сравнительные исследования для разных возрастных категорий;

5) наиболее полно представлены эффекты масел на показатели депрессивно-подобного, тревожного и исследовательского поведения,

обучения и памяти, но при этом исследователи очень редко обращались к социальному поведению животных, что мы также считаем пробелом.

Согласно нашему плану, мы выполняли обзор только тех источников, которые были найдены в базе при конкретных заданных параметрах поиска. С одной стороны, это обстоятельство, как мы надеемся, позволило нам беспристрастно подойти к описанию литературного массива. С другой стороны, не обращаясь к пристатейным спискам литературы, другим базам публикаций, монографиям, мы могли упустить ряд значимых источников. Могли быть упущены и некоторые публикации, проиндексированные в самой базе PubMed, например, из-за несовершенства системы автоматического поиска. Также, задавшись целью увидеть самую общую картину по проблеме, мы не отсеивали работы по строгим критериям научного качества, не анализировали подробно методические недочеты. Таким образом, выводы нашей работы применимы, главным образом, к имеющейся выборке статей со всеми ее достоинствами и недостатками.

## Библиографический список / References

Altice F.L., Springer S., Buitrago M. et al. Pilot study to enhance HIV care using needle exchange-based health services for out-of-treatment injecting drug users. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*. 2003. Vol. 80 (3). Pp. 416–427.

Altundag A., Cayonu M., Kayabasoglu G. et al. Modified olfactory training in patients with postinfectious olfactory loss. *The Laryngoscope*. 2015. Vol. 125 (8). Pp. 1763–1766.

Beery A.K., Zucker I. Sex Bias in Neuroscience and Biomedical Research. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2011. Vol. 35 (3). Pp. 565–572.

Buchbauer G., Jirovetz L., Jäger W. Aromatherapy: Evidence for sedative effects of the essential oil of lavender after inhalation. *Zeitschrift für Naturforschung C*. 1991. Vol. 46 (11–12). Pp. 1067–1072.

Buchbauer G., Jirovetz L., Jäger W. et al. Fragrance compounds and essential oils with sedative effects upon inhalation. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 1993. Vol. 82 (6). Pp. 660–664.

Chen B., Li J., Xie Y. et al. Cang-ai volatile oil improves depressive-like behaviors and regulates DA and 5-HT metabolism in the brains of CUMS-induced rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 2019. Vol. 244. P. 112088.

Chen D., Dalton P. The effect of emotion and personality on olfactory perception. *Chemical Senses*. 2005. Vol. 30 (4). Pp. 345–351.

Chioca L.R., Antunes V.D.C., Ferro M.M. et al. Anosmia does not impair the anxiolytic-like effect of lavender essential oil inhalation in mice. *Life Sciences*. Vol. 2013. No. 92 (20–21). Pp. 971–975.

Cui J., Li M., Wei Y. et al. Inhalation aromatherapy via brain-targeted nasal delivery: Natural volatiles or essential oils on mood disorders. *Frontiers in Pharmacology*. 2022. Vol. 13. 860043.

Demasi S., Caser M., Lonati M. et al. Latitude and altitude influence secondary metabolite production in Peripheral Alpine populations of the Mediterranean species *Lavandula Angustifolia* Mill. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 983.

Doty R.L., Cameron E.L. Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception. *Physiology & Behavior*. 2009. Vol. 97 (2). Pp. 213–228.

Ellenbroek B., Youn J. Rodent models in neuroscience research: Is it a rat race? *Disease Models & Mechanisms*. 2016. Vol. 9 (10). Pp. 1079–1087.

Elsebai M.F., Albalawi M.A. Essential oils and COVID-19. *Molecules*. 2022. Vol. 27 (22). P. 7893.

Farrar A.J., Farrar F.C. Clinical aromatherapy. *The Nursing Clinics of North America*. 2020. Vol. 55 (4). Pp. 489–504.

Flurkey K., Currer J., Harrison D. The Mouse in aging research. *The Mouse in Biomedical Research*. 2007. Vol. 3. Pp. 637–672.

Francesconi J.A., Macaroy C., Sawant S. et al. Sexually dimorphic behavioral and neural responses to a predator scent. *Behavioural Brain Research*. 2020. Vol. 382. P. 112467.

Gerkin R.C., Ohla K., Veldhuizen M.G. et al. Recent smell loss is the best predictor of COVID-19 among individuals with recent respiratory symptoms. *Chemical Senses*. 2021. Vol. 46. bjaa081.

Hawkins J., Hires C., Keenan L., Dunne E. Aromatherapy blend of thyme, orange, clove bud, and frankincense boosts energy levels in post-COVID-19 female patients: A randomized, double-blinded, placebo controlled clinical trial. *Complementary Therapies in Medicine*. 2022. Vol. 67. 102823.

Herz R.S. Aromatherapy facts and fictions: A scientific analysis of olfactory effects on mood, physiology and behavior. *The International journal of neuroscience*. 2009. Vol. 119 (2). Pp. 263–290.

Hwang S.H., Kim S.W., Basurrah M.A., Kim D.H. The efficacy of olfactory training as a treatment for olfactory disorders caused by Coronavirus Disease-2019: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Rhinology & Allergy*. 2023. Vol. 37 (4). Pp. 495–501.

Jeon S., Hur J., Jeong H.J. et al. Wan essential oil alleviates amyloid beta induced memory impairment through inhibition of tau protein phosphorylation in mice. *The American Journal of Chinese Medicine*. 2011. Vol. 39 (5). Pp. 917–932.

Kass M.D., Czarnecki L.A., Moberly A.H., McGann J.P. Differences in peripheral sensory input to the olfactory bulb between male and female mice. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. P. 45851.

Konrath E.L., Arbo M.D., Arbo B.D. et al. Plants with anti-addictive potential. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2021. Vol. 1308. Pp. 185–215.

Kopishinskaia S., Lapshova D., Sherman M. et al. Clinical features in Russian patients with COVID-associated parosmia/phantosmia. *Psychiatria Danubina*. 2021. Vol. 33. Pp. 130–136.

Koyama S., Kondo K., Ueha R. et al. Possible use of phytochemicals for recovery from COVID-19-induced anosmia and ageusia. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22 (16). P. 8912.

Larsson M., Lövdén M., Nilsson L.-G. Sex differences in recollective experience for olfactory and verbal information. *Acta Psychologica*. 2003. Vol. 112 (1). Pp. 89–103.

Lim W.C., Seo J.M., Lee C.I. et al. Stimulative and sedative effects of essential oils upon inhalation in mice. *Archives of Pharmacol Research*. 2005. Vol. 28 (7). Pp. 770–774.

Moss M., Ho J., Swinburne S., Turner A. Aroma of the essential oil of peppermint reduces aggressive driving behaviour in healthy adults. *Human Psychopharmacology*. 2023. No. 38 (2). e2865. DOI: 10.1002/hup.2865

Nguyen H., Albayay J., Höchenberger R. et al. Covid-19 affects taste independent of taste-smell confusions: Results from a combined chemosensory home test and online survey from a large global cohort. *Chemical Senses*. 2023. Vol. 48. bjad020

Ohla K., Veldhuizen M.G., Green T. et al. A follow-up on quantitative and qualitative olfactory dysfunction and other symptoms in patients recovering from COVID-19 smell loss. *Rhinology*. 2022. Vol. 60 (3). Pp. 207–217.

Parma V., Ohla K., Veldhuizen M.G. et al. More than smell-COVID-19 is associated with severe impairment of smell, taste, and chemesthesis. *Chemical Senses*. 2020. Vol. 45 (7). Pp. 609–622.

Pati D., Lorusso L.N. How to write a systematic review of the literature. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*. 2018. Vol. 11 (1). Pp. 15–30.

Pichersky E., Noel J.P., Dudareva N. Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science*. 2006. Vol. 311 (5762). Pp. 808–811.

Rodionova E., Minor A. Effect of ambient odor on cognitive functions in children. *Biology Bulletin*. 2017. Vol. 44. Pp. 425–429.

Voznessenskaya V., Laktionova T., Klyuchnikova M. et al. Peppermint ambient odor affects cortisol secretion and task performance in selected tests in school children. *FASEB Journal*. 2018. Vol. 32 (1S). lb453

Voznessenskaya V., Laktionova T., Rodionova E. et al. Effect of lavender and peppermint essential oil odors on salivary cortisol in schoolchildren and college students. *Chemical Senses*. 2018. Vol. 43 (7). E235-236

Voznessenskaya V.V., Klyuchnikova M.A. Individual variability of human olfactory sensitivity to volatile steroids: Environmental and genetic factors. *Dokl. Biol. Sci*. 2017. Vol. 473 (1). Pp. 77–79. DOI: 10.1134/S0012496617020144

Статья поступила в редакцию 01.11.2023, принята к публикации 29.11.2023

The article was received on 01.11.2023, accepted for publication 29.11.2023

#### Сведения об авторах / About the authors

**Ключникова Мария Александровна** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва

**Maria A. Klyuchnikova** – PhD in Biology; senior researcher at the Laboratory of Innovative Technologies, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9254-8927>

E-mail: [klyuchnikova@gmail.com](mailto:klyuchnikova@gmail.com)

**Стручков Пётр Владимирович** – аспирант лаборатории инновационных технологий, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук; младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва

**Petr V. Struchkov** – postgraduate student at the Laboratory of Innovative Technologies, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences; junior researcher at the Laboratory of Innovative Technologies, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

E-mail: [petro.struchkov@list.ru](mailto:petro.struchkov@list.ru)

**Илья Григорьевич Кваша** – младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий, Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва, Россия

**Ilya G. Kvasha** – junior researcher at the Laboratory of Innovative Technologies, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6596-0668>

E-mail: [konungthorn@gmail.com](mailto:konungthorn@gmail.com)

#### Заявленный вклад авторов

**Ключникова М.А.** – общая концепция и методология; сбор и анализ данных; написание текста рукописи

**Стручков П.В.** – участие в организации данных; критическое обсуждение и правка текста рукописи

**Кваша И.Г.** – участие в организации, валидации и интерпретации данных; критическое обсуждение и правка текста рукописи

#### Contribution of the authors

**M.A. Klyuchnikova** – conception and methodology; data acquisition and analysis; writing the original manuscript draft

**P.V. Struchkov** – data curation; reviewing and editing the manuscript critically

**I.G. Kvasha** – data curation, validation and interpretation; reviewing and editing the manuscript critically

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи  
All authors have read and approved the final manuscript

Издание  
подготовили  
к печати:  
редактор  
*А. А. Козаренко*,  
корректор  
*А. А. Алексеева*,  
обложка, макет,  
компьютерная  
верстка  
*Н. А. Попова*

# СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

2023. Т. 13. № 4

---

Сайт журнала: [soc-ecol.ru](http://soc-ecol.ru)  
E-mail: [izdat\\_mgopu@mail.ru](mailto:izdat_mgopu@mail.ru)

Авторы статей несут полную ответственность за точность приводимой информации, цитат, ссылок и списка литературы.

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, невозможна без письменного разрешения редакции.

Подписано в печать 29.12.2023.  
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Liberation Serif».  
Объем 5,88 п. л. Тираж 1000 экз.