

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

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
**ТЕХНОЛОГИИ**

2023. Т. 13. № 3

**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. 3

## 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 Лягузова** – 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

*В.С. Шевцова, А.Я. Куликова,  
Л.В. Гетманцева, А.В. Усатов*

Новые гены-кандидаты живой массы, выявленные у овец южной мясной породы на основе полногеномного генотипирования . . . . . 251

### ИССЛЕДОВАНИЕ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И УРБЭКОЛОГИЯ

*А.А. Васильев, А.Н. Чащин*

Технология интернет-картографирования эколого-магнитного состояния почв урбанизированной территории . . . . . 263

*Н.Е. Гурьев, В.В. Клименко*

Комплексное радиационно-экологическое исследование города Тюмени. . . . . 278

### АНТРОПОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*И.М. Колесник, Е.А. Белова, Г.Г. Юхневич*

Дисперсный состав взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны предприятий . . . . . 292

*О.Н. Ткаченко, В.Б. Дорохов, В.В. Дементенко,  
Е.О. Гандина, Г.Н. Арсеньев, А.О. Таранов,  
А.Н. Пучкова, Д.Р. Бакирова, Д.С. Свешников*

Несоответствие субъективных и объективных показателей самочувствия при выполнении монотонной операторской деятельности на фоне хронической депривации сна . . . . . 313

# Contents

## STUDY AND CONSERVATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY

*V.S. Shevtsova, A.Ya. Kulikova,  
L.V. Getmantseva, A.V. Usatov*

The novel candidate genes related  
to live weight trait in southern meat sheep breed revealed  
by genome-wide genotyping . . . . . 253

## ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS AND URBAN ECOLOGY

*A.A. Vasiliev, A.N. Chashchin*

Technology for Internet mapping  
of the ecological and magnetic state of soils in urban areas . . . . . 264

*N.E. Guryev, V.V. Klimenko*

Comprehensive radiation and ecological study  
of the city of Tyumen . . . . . 279

## ANTHROPOECOLOGICAL RESEARCH

*I.M. Kalesnik, E.A. Byalova, H.G. Yukhnevich*

Dispersed composition of particulate matter  
in the air of enterprises workplaces. . . . . 293

*O.N. Tkachenko, V.B. Dorokhov, V.V. Dementienko,  
E.O. Gandina, G.N. Arsenyev, A.O. Taranov,  
A.N. Puchkova, D.R. Bakirova, D.S. Sveshnikov*

Discrepancy between subjective and objective health indicators  
when performing monotonous operator activities against  
the background of chronic sleep deprivation . . . . . 315



Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-251-262

УДК 575.162

**В.С. Шевцова<sup>1, 2</sup>, А.Я. Куликова<sup>3</sup>,  
Л.В. Гетманцева<sup>4</sup>, А.В. Усатов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Южный федеральный университет,  
344006 г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>2</sup> Южный научный центр Российской академии наук,  
344006 г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>3</sup> Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии,  
350055 г. Краснодар, Российская Федерация

<sup>4</sup> Донской государственный аграрный университет,  
346493 Ростовская область, пос. Персиановский,  
Российская Федерация

## Новые гены-кандидаты живой массы, выявленные у овец южной мясной породы на основе полногеномного генотипирования

Изучение генетической архитектуры овец отечественных пород – важный шаг на пути сохранения их генофонда. Целью работы было выявление генов-кандидатов, связанных с показателем живой массы у взрослых овец южной мясной породы, имеющей высокие показатели продуктивности, но из-за малой численности находящейся под угрозой критического снижения генетического разнообразия. Живая масса сельскохозяйственных

© Шевцова В.С., Куликова А.Я., Гетманцева Л.В., Усатов А.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



животных является одним из ключевых селекционных показателей. Наряду с полигенностью этого количественного признака рядом авторов показана его породоспецифичность. Генотипирование проведено на чипах средней плотности Ovine SNP50 Genotyping Bead Chip. Обработка результатов генотипирования и фильтрация результатов проведены в программных пакетах Rstudio 2023.03.0 и plink1.9. По результатам взвешивания генотипированные животные были разделены на две группы по принципу case/control с различиями в живой массе между представителями групп 25–30 кг. Методом расчета индексов генетической дифференциации определены значимые ДНК-полиморфизмы. Дальнейший анализ полиморфизмов, выполненный в геномном браузере Ensembl, выявил гены-кандидаты, локализованные в хромосомах 5, 6, 12, 20, в интронах которых локализованы исследуемые полиморфизмы. Проведенный статистический анализ живой массы показал достоверные различия исследуемого показателя у овец разных генотипов по четырем генам. Выявленные в ходе исследования гены-кандидаты могут быть рекомендованы для использования в качестве маркеров, исследование которых позволит повысить показатели продуктивности овец южной мясной породы и поможет сохранить породу.

**Ключевые слова:** породы овец, южная мясная порода овец, живая масса у домашних животных, значимые полиморфизмы, генотип

**Благодарности.** Исследование выполнено в рамках работ по гранту Российского фонда фундаментальных исследований № 20-316-90048.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Новые гены-кандидаты живой массы, выявленные у овец южной мясной породы на основе полногеномного генотипирования / Шевцова В.С., Куликова А.Я., Гетманцева Л.В., Усатов А.В. // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 3. С. 251–262. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-251-262

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-251-262

**V.S. Shevtsova<sup>1, 2</sup>, A.Ya. Kulikova<sup>3</sup>,  
L.V. Getmantseva<sup>4</sup>, A.V. Usatov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

<sup>2</sup> The Southern Scientific Centre  
of the Russian Academy of Sciences,  
Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

<sup>3</sup> Krasnodar Research Centre  
for Animal Husbandry and Veterinary Medicine,  
Krasnodar, 350055, Russian Federation

<sup>4</sup> Don State Agrarian University,  
Persianovski, Rostov region, 346493, Russian Federation

## The novel candidate genes related to live weight trait in southern meat sheep breed revealed by genome-wide genotyping

The study of the local sheep breeds' genetic architecture is an important step on the way to preserve their gene pool. The aim of our work was to identify candidate genes associated with the live weight trait in adult southern meat breed sheep. This breed has high productivity, but is under threat of a critical decrease in genetic diversity due to a small number. The live weight of farm animals is one of the key breeding indicators. This quantitative trait is polygenic and breed specific as it has been shown by a number of authors. Animals were genotyped on the Illumina Ovine SNP50 Genotyping Bead Chip assay using standard procedures. Results in quality control, statistics and visualization were carried out in Rstudio 2023.03.0 and plink1.9. Genotyped animals were divided into two groups according to the case/control principle with differences in live weight between representatives of groups of 25–30 kg. Significant genetic variants were determined by the fixation indices method. Further analysis of significant variants (in intron positions)

was performed in Ensembl genomic browser and revealed candidate genes localized in chromosomes 5, 6, 12, 20. The statistical analysis of live mass showed significant differences of the studied trait in different genotypes on four genes. The candidate genes identified can be recommended for using as genetic markers, their study could improve the productivity of southern meat sheep breed and help to preserve its gene pool.

**Key words:** sheep breeds, southern meat, live weight, fixation indices, significant polymorphisms, genotype

**Acknowledgements.** This study was supported by the Russian Foundation of Basic Research, project No. 20-316-90048.

FOR CITATION: Shevtsova V.S., Kulikova A.Ya., Getmantseva L.V., Usatov A.V. The novel candidate genes related to live weight trait in southern meat sheep breed revealed by genome-wide genotyping. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 3. Pp. 251–262. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-251-262

## Введение

Сохранение локальных пород на сегодняшний день является одной из ключевых задач специалистов в области исследования генетики животных. Ценность районированных пород обусловлена высокой степенью их адаптации к местным условиям, что позволяет животным в полной мере продемонстрировать свои продуктивные качества без значительного ущерба для окружающей среды. Широко распространенная в последние годы практика повышения рентабельности животноводческой отрасли за счет прилития кровей высокопродуктивных пород влечет за собой ряд негативных последствий. С одной стороны, интродуцированные животные требуют повышенного внимания (необходимость подогрева помещений, дополнительные ветеринарные услуги, особые рационы питания). Интенсификация животноводства неизбежно повышает давление фермерского хозяйства на окружающую среду. С другой, критически снижается генетическое разнообразие сельскохозяйственных животных. Конвенция по биологическому разнообразию 2022 года рассматривает генетические ресурсы домашних животных и культурных растений как один из видов природных ресурсов [Мамонтова, 2021].

Одной из хорошо зарекомендовавших себя высокими продуктивными показателями и адаптивностью является полутонкорунная южная

мясная порода овец, созданная на территории Краснодарского края [Ульянов, Куликова, 2019]. Признаки роста животных и живая масса, в частности, являются ключевыми в экономике мясошерстного овцеводства. Живая масса взрослого животного – наиболее показательная и, в то же время, легко регистрируемая величина, имеющая также самый высокий коэффициент наследуемости (0,30–0,41) [ICAR..., 2021].

Будучи количественным признаком, живая масса обусловлена комплексом генетических и средовых факторов. Наряду с вошедшими в обиход исследованиями ДНК-маркеров таких генов, как миостатин, гормон роста, кальпаин и др., идет поиск ранее неизвестных участков генома, ассоциированных с этим показателем [Генетические маркеры..., 2016, 2018]. Так, в работе, посвященной исследованию популяции мериносовые овцы × авасси были выявлены локусы количественных признаков (QTL), связанные с живой массой, в хромосомах OAR1, 3, 6, 11, 21, 23, 24 и 26 [Raadsma et al., 2009]. В работе по полногеномному поиску ассоциаций с ростовыми показателями у австралийских мериносов выявлен регион на OAR6 [Al-Mamun, 2015]. Крупномасштабный проект по изучению показателей живой массы при рождении, при отъеме и в возрасте 12 месяцев у овец породы балучи (Иран) позволил установить значимые полиморфизмы на OAR 8, 13, 25 и 7 [Gholizadeh, Rahimi-Mianji, Nejati-Javaremi, 2015]. Четыре новых гена-кандидата живой массы (*C1H1orf94*, *KCNA4*, *S100-A7* и *ZNF706*), локализованные в хромосомах OAR1, 5, 9 и 15, были выявлены с помощью генотипирования на чипах высокой плотности у овец северокавказской мясо-шерстной породы [Поиск генов-кандидатов..., 2023]. Ранее этот показатель был исследован у овец породы джалгинский меринос, в результате было выявлено 13 уникальных для породы генов-кандидатов [Krivoruchko et al., 2021].

Важно отметить породоспецифичность локусов количественных признаков, связанных с формированием показателя живой массы. Это говорит о необходимости изучения факторов, лежащих в ее основе у представителей наиболее перспективных отечественных пород, в частности, южной мясной.

### Цель и задачи исследования

Целью работы является поиск значимых SNPs, связанных с признаком живой массы у овец породы южная мясная. В рамках поставленной цели решаются следующие задачи: генотипирование животных, обработка и фильтрация результатов генотипирования, поиск значимых генетических вариантов и их аннотирование, статистические расчеты и сравнение фенотипических показателей животных различных генотипов.

## Материалы и методы

Данные по живой массе овцематок южной мясной породы старше 24 месяцев и биологические образцы (ушные выщипы) были любезно предоставлены хозяйством ФГУП «Рассвет – Кубань», расположенном в пос. Знаменский Краснодарского края.

Для генотипирования на чипах средней плотности Ovine SNP50 Genotyping Bead Chip были отобраны 48 образцов.

Обработка результатов генотипирования, их фильтрация, расчеты и визуализация проводились по стандартной методике в программных пакетах RStudio 2023.03.0 и plink1.9.

## Результаты исследований и их обсуждение

После фильтрации результатов генотипирования (частота минорных аллелей <5%, генотипированные аллели с частотами <10%, генотипированные образцы с частотами <10%, равновесие Харди–Вайнберга 0,001 и оценки неравновесия по сцеплению) были отобраны для исследования 46 447 полиморфизмов. Овцематки были ранжированы по признаку живой массы и отобраны крайние варианты (максимальные и минимальные) для расчета индексов генетической дифференциации: контрольная группа включала животных с живой массой 55–59 кг, опытная группа была представлена овцематками с живой массой, превышающей 80 кг.

Методом расчета индексов генетической дифференциации ( $F_{ST}$ ) сравнили генетические варианты овец из двух групп. Значимыми полиморфизмами считали те, у которых значения  $F_{ST}$  превысили уровень квантиля 0,999 (0,1% выбросов). Результаты позволили выявить 55 полиморфизмов, связанных с показателем живой массы у овец южной мясной породы. Аннотирование значимых полиморфизмов, проведенное в геномном браузере Ensembl, показало, что значительная часть выявленных полиморфизмов локализована в межгенных участках. Поэтому для последующего анализа были отобраны 4 полиморфизма в интронах генов, имеющие максимальные значения индекса генетической дифференциации 0,52–0,58 (табл. 1).

Далее влияние генотипов каждого гена-кандидата на показатель живой массы было исследовано по всей выборке. Результаты статистической обработки результатов представлены на рис. 1. По трем генотипам каждого из четырех генов были рассчитаны средняя живая масса и стандартное отклонение, а также определены уровни значимости различий между средними ( $p$ ) путем попарного сравнения средних значений живой массы у разных генотипов.

Таблица 1

**Полиморфизмы, связанные с показателем живой массы**  
**[Polymorphisms associated with body weight]**

Полиморфизм [Polymorphism]	Хромосома [Chromosome]	Ген [Gene]	rs (бдSNP)	Индекс фиксации $F_{ST}$ [Fixation index]
s27609.1	12	<i>LOC101104591</i>	rs427293175	0.580975
OAR5_54849290.1	5	<i>NDFIP1</i>	rs405818026	0.555556
OAR20_6896923.1	20	<i>LRR1</i>	rs422829400	0.555556
OAR6_64284257.1	6	<i>WDR19</i>	rs419744348	0.522895

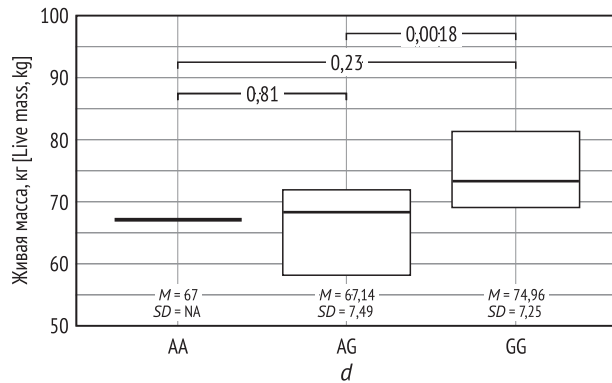
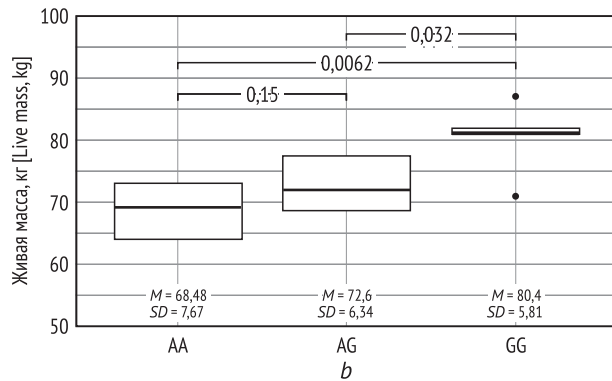
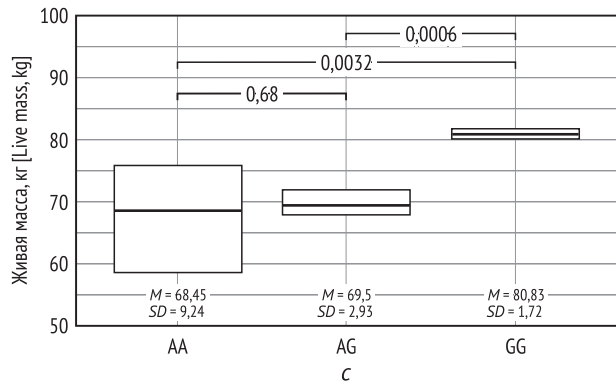
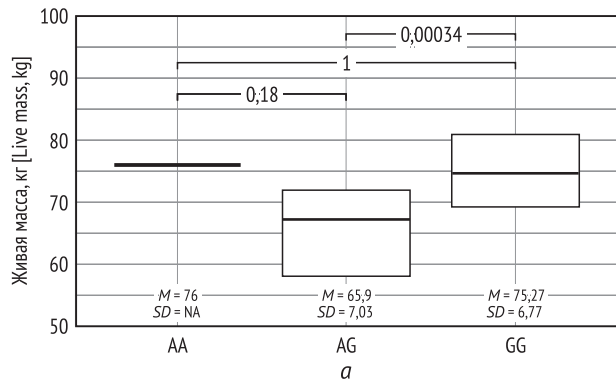
Овцематки с генотипами GG по генам *LOC101104591* и *LRR1* в сравнении с гетерозиготами демонстрируют более высокие показатели живой массы – 9,35 кг и 11,33 кг соответственно, при уровне статистической значимости  $p < 0,001$ . Различия в живой массе овцематок с генотипами GG по сравнению с AG по гену *WDR19* не столь велики, но достоверны (7,82 кг,  $p < 0,005$ ). Овцы с желательным генотипом GG по гену *NDFIP1* демонстрируют превышение средней живой массы на 11,92 кг ( $p = 0,0062$ ). Важно отметить, что по генам *LOC101104591* и *WDR19* обнаружено всего по одной гомозиготе AA. В результате чего рассчитать среднюю живую массу для этих генотипов не представилось возможным, однако разница в средних ее значениях между гомозиготами GG и гетерозиготами достаточно велика для формирования обоснованных выводов о желательности гомозиготного генотипа.

### Заключение

Проведенные исследования позволили выявить специфичные для овец южной мясной породы ДНК-полиморфизмы, локализованные в интронах генов *LOC101104591*, *NDFIP1*, *LRR1*, *WDR19*, локализованных в хромосомах OAR12, 5, 20 и 6 соответственно. Установлено, что желательным генотипом по генам *LOC101104591*, *NDFIP1*, *LRR1*, *WDR19* является (GG), связанный с повышенным показателем живой массы.

### Выводы

Результаты полногеномного генотипирования с последующим применением метода расчета индекса генетической дифференциации позволили выявить в геноме овцематок южной мясной породы регионы, связанные с формированием полигенного признака живой массы. Наибольшее





**Рис. 1.** Живая масса овцематок южной мясной породы различных генотипов по генам *LOC101104591* (a), *NDFIP1* (b), *LRRC1* (c), *WDR19* (d):

*M* – среднее значение живой массы; *SD* – стандартное отклонение; уровни значимости различий средних (для каждой пары генотипов) показаны в верхней части графиков

**Fig. 1.** The live mass of south meat breed ewes of different genotypes on genes *LOC101104591* (a), *NDFIP1* (b), *LRRC1* (c), *WDR19* (d):

*M* – mean; *SD* – standard deviation; significance levels of mean differences (for each pair of genotypes) are shown at the top of the gra

количество ДНК-полиморфизмов, влияющих на исследуемый показатель, локализовано в хромосомах OAR5, 6, 9, 12, 20. Для количественной оценки влияния выявленных ДНК-полиморфизмов на величину показателя живой массы были выбраны полиморфизмы с наибольшими значениями  $F_{ST}$ , локализованные в генах *LOC101104591*, *NDFIP1*, *LRRC1*, *WDR19*.

Проведенные статистические расчеты позволили установить, что желательным генотипом по всем четырем генам является GG. При этом средняя живая масса овцематок с желательным генотипом по гену *LOC101104591* на 9,35 кг превышает этот показатель у гетерозигот; по гену *NDFIP1* – на 11,92 кг выше; по гену *LRRC1* – на 11,33 кг; по гену *WDR19* – на 7,82 кг. Наиболее достоверные различия исследуемого показателя при статистическом уровне значимости  $p = 0,00034$  установлены для ДНК-полиморфизма в гене *LOC101104591*.

Выявленные в ходе исследования гены-кандидаты могут быть использованы в качестве генетических маркеров для улучшения селекционной работы с южной мясной породой и повышения рентабельности отрасли мясного овцеводства. Дальнейшие исследования генетической архитектуры южной мясной породы позволят сохранить ее уникальный генофонд.

## Библиографический список / References

Генетические маркеры в мясном овцеводстве / Дейкин А.В., Селионова М.И., Криворучко А.Ю. и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 5. С. 576–583. DOI: 10.18699/VJ16.139 [Deykin A.V., Selionova M.I., Krivoruchko A.Yu. et al. Genetic markers in sheep meat breeding. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. No. 20 (5). Pp. 576–583. DOI: 10.18699/VJ16.139 (In Rus.)]

Генетические маркеры мясной продуктивности овец (*Ovis Aries* L.). Сообщение I. Миостатин, кальпаин, кальпаастатин / Трухачев В.И., Селионова М.И.,

Криворучко А.Ю., Айбазов А.-М.М. // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 6. С. 1107–1119. [Trukhachev V.I., Selionova M.I., Krivoruchko A.Yu., Aybazon A.-M.M. Genetic markers of sheep meat productivity (*Ovis Aries* L.). Message I. Myostatin, calpain, calpastatin. *Agricultural Biology*. 2018. Vol. 53. No. 6. Pp. 1107–1119. (In Rus.)]

Куликова А.Я. Скороспелость и мясная продуктивность овец районированных полутонкорунных пород // Сборник научных трудов КНЦЗВ. 2020. Т. 9. № 2. С. 89–93. [Kulikova A.Ya. Precocity and meat productivity of sheep of zoned semi-fine wool breeds. *Sbornik nauchnykh trudov KNTsZV*. 2020. Vol. 9. No. 2. Pp. 89–93. (In Rus.)]

Поиск генов-кандидатов, ассоциированных с живой массой у овец северокавказской мясо-шерстной породы / Зуев Р.В., Криворучко А.Ю., Кухарук М.Ю., Никитина А.В. // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023. № 1. С. 123–129. [Zuev R.V., Krivoruchko A.Yu., Kukharuk M.Yu., Nikitina A.V. Search for candidate genes associated with live weight in sheep of the North Caucasian meat and wool breed. *Bulletin of the NGAU*. 2023. No. 1. Pp. 123–129. (In Rus.)]

Система сохранения и рационального использования генетических ресурсов высокоценных генотипов сельскохозяйственных животных / Мамонтова Т.В., Коваленко Д.В., Губаханов М.А., Айбазов А.-М.М. Ставрополь, 2021. [Mamontova T.V., Kovalenko D.V., Gubakhanov M.A., Aybazon A.-M.M. Sistema sokhraneniya i ratsionalnogo ispolzovaniya geneticheskikh resursov vysokotsennykh genotipov selskokhozyaystvennykh zhivotnykh [System of preservation and rational using of agricultural animals genetic resources]. Stavropol, 2021.]

Ульянов А.Н., Куликова А.Я. Селекционно-генетические аспекты повышения продуктивности овец южной мясной породы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. № 3. С. 15–17. [Ulyanov A.N., Kulikova A.Ya. Breeding and genetic aspects of increasing the productivity of southern meat breed sheep. *Sheep, Goats, Wool Business*. 2019. No. 3. Pp. 15–17. (In Rus.)]

Al-Mamun H.A., Kwan P., Clark S.A. et al. Genome-wide association study of body weight in Australian Merino sheep reveals an orthologous region on OAR6 to human and bovine genomic regions affecting height and weight. *Genetics Selection Evolution*. 2015. Vol. 47. No. 1. Pp. 1–11. DOI: 10.1186/s12711-015-0142-4

Gholizadeh M., Rahimi-Mianji G., Nejati-Javaremi A. Genomewide association study of body weight traits in Baluchi sheep. *Journal of Genetics*. 2015. Vol. 94. Pp. 143–146.

ICAR Guidelines Section 21 Meat, reproduction and maternal trait recording in sheep and goats. The global standard for livestock data. 2021. URL: <https://www.icar.org/Guidelines/21-Meat-reproduction-and-maternal-traits-in-sheep-and-goats.pdf> (date of access: 18.01.2023).

Krivoruchko A., Semyagin A.A., Golovanova N., Saprykina T. Genome wide associations study of single nucleotide polymorphisms with productivity parameters in Jalgin merino for identification of new candidate genes. *Gene Reports*. 2021. Vol. 23. P. 101065.

Raadsma H.W. et al. Mapping quantitative trait loci (QTL) in sheep. I. A new male framework linkage map and QTL for growth rate and body weight. *Genetics Selection Evolution*. 2009. Vol. 41. Pp. 1–17. DOI: 10.1186/1297-9686-41-34

Статья поступила в редакцию 10.01.2023, принята к публикации 19.02.2023  
The article was received on 10.01.2023, accepted for publication 19.02.2023

### Сведения об авторах / About the authors

**Шевцова Варвара Сергеевна** – ассистент кафедры генетики Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет; младший научный сотрудник отдела ихтиологии, Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону

**Varvara S. Shevtsova** – assistant at the Department of Genetics of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University; Junior Researcher at the Department of Ichthyology, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8046-0223>

E-mail: [barbaragen4@mail.ru](mailto:barbaragen4@mail.ru)

**Куликова Анна Яковлевна** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; главный научный сотрудник отдела разведения и генетики сельскохозяйственных животных, Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, г. Краснодар

**Anna Ya. Kulikova** – Dr. Hab. (Agricultural Sciences); Chief Researcher at the Department of Breeding and Genetics of Farm Animals, Krasnodar Research Centre for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0544-4914>

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

**Гетманцева Любовь Владимировна** – доктор биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетической экспертизы, Донской государственной аграрный университет, Ростовская область, пос. Персиановский

**Lyubov V. Getmantseva** – Dr. Biol. Hab.; leading researcher at the laboratory Molecular Genetic Testing Laboratory, Don State Agrarian University, Persianovski, Rostov region

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1868-3148>

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

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

**Alexander V. Usatov** – Dr. Biol. Hab.; Professor at the Department of Genetics of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don

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

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

## Заявленный вклад авторов

**В.С. Шевцова** – сбор фенотипических данных, анализ и интерпретация результатов обработки данных, подготовка текста статьи

**А.Я. Куликова** – сбор фенотипических данных, участие в подготовке текста статьи

**Л.В. Гетманцева** – анализ и интерпретация результатов обработки данных, участие в подготовке текста статьи

**А.В. Усатов** – общее руководство направлением исследования, участие в подготовке текста статьи

## Contribution of the authors

**V.S. Shevtsova** – collection of the phenotypes' data, analysis and interpretation of the results of data processing, preparation of the article's text

**A.Ya. Kulikova** – collection of the phenotypes' data, participation in the preparation of the article's text

**L.V. Getmantseva** – analysis and interpretation of the results of data processing, participation in the preparation of the article's text

**A.V. Usatov** – general management of the research direction, participation in the preparation of the article's text

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

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-263-277

УДК 550.8.053+502.65

**А.А. Васильев, А.Н. Чашин**

Пермский государственный аграрно-технологический университет  
имени академика Д.Н. Прянишникова,  
614990 г. Пермь, Российская Федерация

## Технология интернет-картографирования эколого-магнитного состояния почв урбанизированной территории

В работе описана технология интернет-картографирования эколого-магнитного состояния почв на примере почвенного покрова города Чусового Пермского края. Эколого-магнитное состояние почв отражает результаты длительного воздействия промышленности и транспорта на городскую экосистему, а представление таких данных в виде карт является общепринятым в экологическом почвоведении. Однако существует проблема доступности пространственных данных, характеризующих загрязнение почвенного покрова, вызванная, с одной стороны, размещением материалов в специализированной литературе и отчетах, а с другой – цифровым неравенством, обусловленным специфичностью профессиональных геоинформационных систем (ГИС), требующих множества компетенций. В связи с этим, на сегодняшний день активно происходит процесс интеграции геоинформационных технологий и технологий web-проектирования. Цель исследований – разработка технологии создания типовой веб-карты эколого-магнитного состояния почв урбанизированной территории. Создание

© Васильев А.А., Чашин А.Н., 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

веб-карты эколого-магнитного состояния почв выполнялось по стандартным этапам почвенного картографирования: подготовительный, полевой, завершающий камеральный. Карты магнитной восприимчивости и содержания тяжелых металлов в почвах выполнялись геостатистическим методом ordinary kriging. Разработка веб-приложения реализована при помощи модуля qgis2web и редактора кода Brackets. Размещение веб-приложения выполнено на платформе GitHub Pages. Результаты работы представляют сочетание методов геостатистики и визуализации на основе технологий интернет-картографирования, что позволяет представить целый набор геоэкологических карт, посвященных эколого-магнитному состоянию почв в виде сайта. Представленная геотехнология существенно упрощает разработку почвенно-экологического веб-ГИС приложения: работа в основном осуществляется в среде ГИС и поэтому не требует расширенных компетенций почвовед-картографа в веб-программировании.

**Ключевые слова:** магнитная восприимчивость почв, геоинформационные системы, qgis2web

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Васильев А.А, Чашин А.Н. Технология интернет-картографирования эколого-магнитного состояния почв урбанизированной территории // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 3. С. 263–277. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-263-277

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-263-277

**A.A. Vasiliev, A.N. Chashchin**

Perm State Agro-Technological University,  
Perm, 614990, Russian Federation

## Technology for Internet mapping of the ecological and magnetic state of soils in urban areas

The paper describes the technology of Internet mapping of the ecological and magnetic state of soils on the example of the soil cover of the town

of Chusovoi in Perm Region. The ecological and magnetic state of soils reflects the results of the long-term impact of industry and transport on the urban ecosystem, and the presentation of such data in the form of maps is generally accepted in ecological soil science. However, there is a problem of availability of spatial data characterizing soil pollution, caused, on the one hand, by the placement of materials in specialized literature and reports, and, on the other hand, by digital inequality due to the specificity of geographic information. In this regard, today the process of integration of geoinformation technologies and web technologies is actively taking place. The purpose of the research is to develop the technology for creating a typical web map of the ecological and magnetic state of soils in an urbanized area. The creation of a web map of the ecological and magnetic state of soils was carried out according to the standard stages of soil mapping: preparatory, field, and final cameral. Maps of magnetic susceptibility and content of heavy metals in soils were made using the ordinary kriging. Web application development is implemented using the qgis2web module and the Brackets code editor. The web application is hosted on the GitHub Pages platform. The results of the work represent a combination of geostatistics and visualization methods based on Internet mapping technologies, which makes it possible to present a whole set of geoeological maps dedicated to the ecological and magnetic state of soils in the form of a website. The presented geotechnology greatly simplifies the development of a soil-ecological web GIS application – the work is mainly carried out in a GIS environment and therefore does not require advanced competencies of a soil-cartographer in web programming.

**Key words:** magnetic susceptibility of soils, geoinformation systems, qgis2web

FOR CITATION: Vasiliev A.A., Chashchin A.N., Lobanova E.S. Technology for Internet mapping of the ecological and magnetic state of soils in urban areas. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 3. Pp. 263–277. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-263-277

## Введение

Эколого-магнитное состояние почв отражает результаты длительного воздействия промышленности и транспорта на городскую экосистему [Гладышева, 2007], а представление таких данных в виде карт является общепринятым в экологическом почвоведении. Картографические материалы используются при разработке стратегии экологической безопасности территории и оценке медико-экологических факторов нарушения здоровья человека. Однако существует проблема доступности

пространственных данных, характеризующих загрязнение почвенного покрова, вызванная, с одной стороны размещением материалов в специализированной литературе и отчетах, а с другой – цифровым неравенством, обусловленным специфичностью профессиональных геоинформационных систем (ГИС), требующих множества компетенций. В связи с этим сейчас активно происходит процесс интеграции геоинформационных технологий и web-проектирования. В результате появляются многообразные веб-картографические платформы различной тематики, в том числе региональных экологических проблем [Максимович, 2018]. Основным преимуществом веб-карты по сравнению с бумажными и опубликованными в различных изданиях является интерактивность, открытость, наличие вспомогательных геоинформационных слоев. Это дает возможность выполнить простейшие операции пространственного анализа без специальных знаний и навыков в области ГИС.

Для создания веб-ГИС активно используются открытые геотехнологии, включающие разработку клиентской части на основе ГИС-проекта [Абдулин, 2020]. Геотехнологии веб-картографирования применялись, например, при создании карты загрязнения фосфатами и нитратами почв поселения, расположенного в Восточной Венгрии [Balla, 2020]. При этом веб-карты, содержащие геоинформационные слои по магнитной восприимчивости и уровню загрязнения тяжелыми металлами для российских городов, в открытом доступе не представлены в информационном пространстве, что определяет новизну выполненной работы.

*Цель исследований* – разработка технологии создания типовой веб-карты эколого-магнитного состояния почв урбанизированной территории.

## Материалы и методы

Для разработки типовой веб-ГИС эколого-магнитного состояния почв была выбрана территория г. Чусового Пермского края. Это обусловлено тем, что в течение длительного времени происходило загрязнение почвенного покрова города высокомагнитными соединениями железа, содержащими в своем составе тяжелые металлы. Результаты оценки эколого-магнитного состояния почв данной территории ранее были опубликованы авторами [Чашин, 2010; Васильев, 2011].

Создание веб-карты эколого-магнитного состояния почв г. Чусового выполнялось по стандартным этапам почвенного картографирования: подготовительный, полевой, завершающий камеральный. В подготовительный период была создана картографическая основа для измерения магнитной восприимчивости почв в виде регулярной сети точек с шагом



200 м на основе выбранного масштаба съемки – 1 : 25000 [Почвенное картирование, 2012]. Во время полевого этапа проводились измерения объемной магнитной восприимчивости (ОМВ) прибором «Каппаметр КТ-6» и отбор проб для определения концентрации тяжелых металлов в почвах с разной магнитной восприимчивостью. Камеральный завершающий этап включал лабораторные исследования элементного химического состава почв и составительские работы – карты магнитной восприимчивости и содержания тяжелых металлов в почвах, которые выполнялись геостатистическим методом ordinary kriging (обычный кригинг).

В работе использовалась геоинформационная система с открытым кодом QGIS. Разработка клиентского веб-приложения с использованием интерфейсов Leaflet [Абдуллин, 2020] реализована при помощи модуля qgis2web и редактора кода Brackets. Размещение веб-приложения выполнено на платформе GitHub.

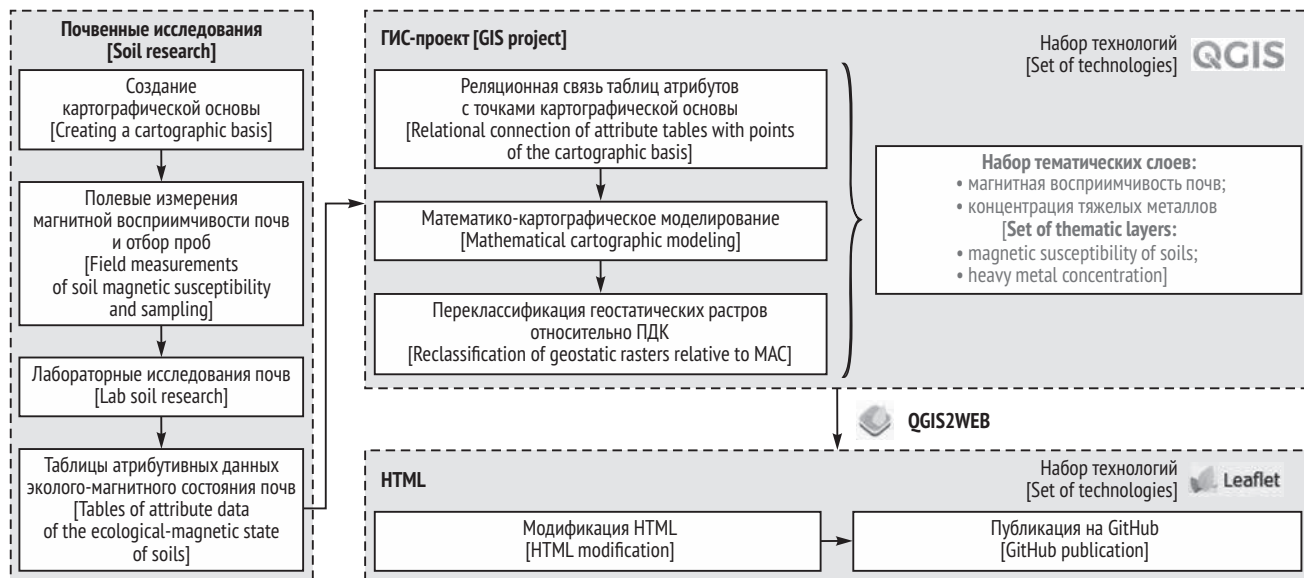
## Результаты и их обсуждение

В результате анализа имеющегося набора данных и оценки функциональных возможностей геотехнологий интернет-картографирования была составлена технологическая схема разработки типового веб-картографического приложения эколого-магнитного состояния почв (рис. 1).

Для создания веб-карты выполнена картографическая интерпретация двух параметров эколого-магнитного состояния почв – значения объемной магнитной восприимчивости и концентрация химических элементов-загрязнителей. Показатели вариационной статистики исходных данных приведены в табл. 1.

Было установлено, что средние и медианные значения валового содержания Zn, Pb, As, Cr и Mn в почвах города превышают ПДК (табл. 1). Результаты математико-картографического моделирования значений магнитной восприимчивости и содержания тяжелых металлов представлены на рис. 2.

Карты показывают, что максимальная концентрация Zn, Cr, Mn и Pb характерна для почв северной части города, что четко соотносится с розой ветров и свидетельствует о преимущественно аэральном пути загрязнения тяжелыми металлами почв на данной территории (рис. 2). Вместе с тем, ареалы техногенно-загрязненных почв сформировались и в других частях города. Применение геовизуализации [Молокина, Колесников, 2021] позволит провести дополнительные исследования пространственных и многомерных данных об элементном химическом составе и магнитных свойствах почв города. Для создания веб-карты



**Рис. 1.** Технологическая схема интернет-картографирования эколого-магнитного состояния почв

**Fig. 1.** Technological scheme of Internet mapping of the ecological and magnetic state of soils

Таблица 1

**Показатели вариационной статистики исходных данных**  
**[Indicators of variational statistics of initial data]**

Объемная магнитная восприимчивость, $\alpha \times 10^{-3}$ СИ / элемент, мг/кг [Volume magnetic susceptibility, $\alpha \times 10^{-3}$ SI / element, mg/kg]	ПДК [MAC]	<i>n</i>	Среднее [Average]	Медиана [Median]	Минимум [Min]	Максимум [Max]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
Ni	85	52	68	59	25	241	39,4
Cu	55	52	61	43	20	209	42,7
Zn	100	52	217	166	62	654	137,6
As	2	52	8	7	0	40	6,3
Pb	30	52	41	27	0	300	44,5
Cr	100*	52	1816	222	68	51 232	7073,6
Mn	1500	52	2744	1488	387	32 384	4523,1
Объемная магнитная восприимчивость [Volume magnetic susceptibility]	–	424	3,1	1,5	0,1	33,1	4,2

\* – по [Bowen, 1966]. [\* – from [Bowen, 1966].]

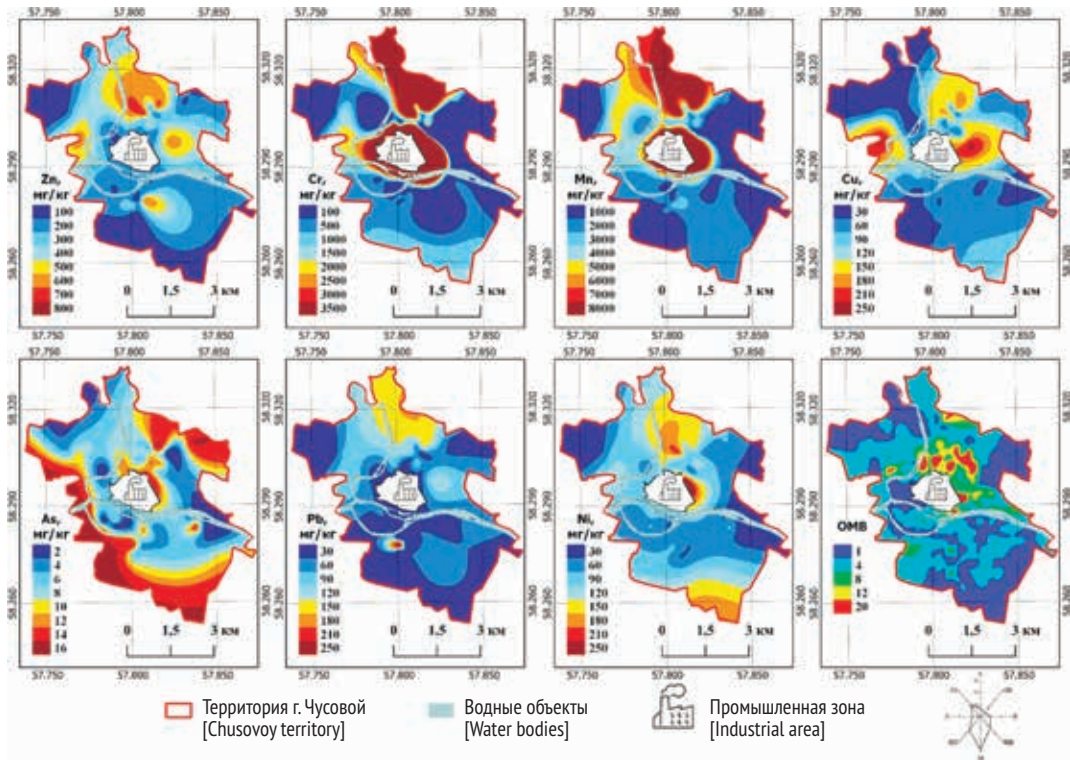
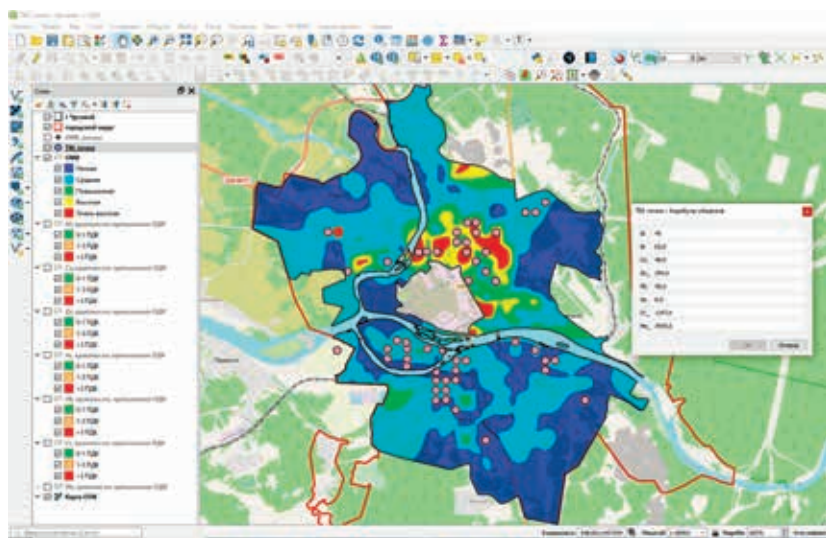


Рис. 2. Карты эколого-магнитного состояния почв г. Чусовой  
 Fig. 2. Maps of the ecological and magnetic state of soils in Chusovoy

необходимо было осуществить несколько дополнительных операций, которые позволяют расширить возможности практического использования карт. На созданных картах (см. рис. 2) значения эколого-магнитных показателей состояния почвенного покрова сгруппированы по методу равно интервальной классификации, что не в полной мере отражает степень загрязнения почв относительно ПДК. В связи с этим, в процессе создания веб-карты непрерывные растры абсолютных значений тяжелых металлов были преобразованы в дискретные растры классов относительно ПДК: до 1 ПДК; 1–3 ПДК; более 3 ПДК. Для отображения магнитной восприимчивости почв использована ранее опубликованная градация [Чащин, 2010].

После выполненных преобразований был создан ГИС-проект в среде QGIS, который включает 5 групп слоев (табл. 2, рис. 3).



**Рис. 3.** Окно ГИС проекта эколого-магнитного состояния почв в QGIS

**Fig. 3.** GIS window of the ecological and magnetic state of soils project in QGIS

Создание основы клиентской части веб-карты эколого-магнитного состояния почв представляет автоматизированный процесс, который основан на работе модуля qgis2web. Данная программа встраивается QGIS и генерирует веб-приложения из ГИС проекта. При создании был указан набор интерфейсов Leaflet. Библиотека Leaflet наиболее часто используется для отображения на сайтах карт, созданных в ГИС [Ramdani, 2021].

Таблица 2

## Структура геоинформационной системы [Structure of geoinformation system]

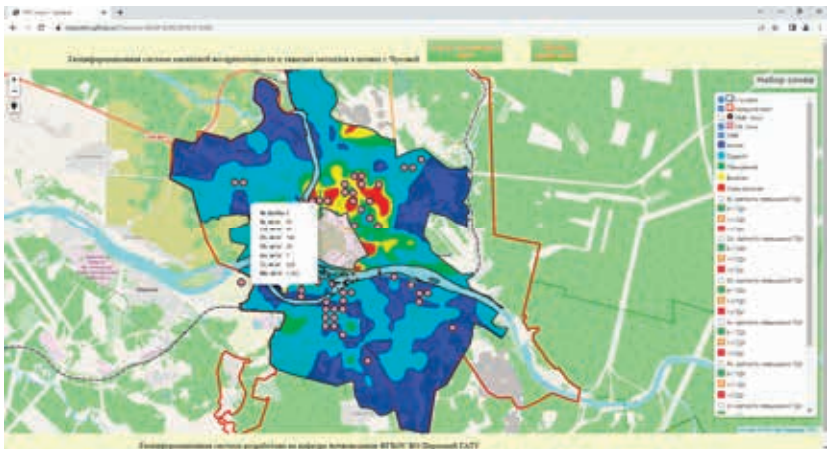
Группа слоев [Layer group]	Имя слоя [Layer name]	Модель данных слоя [Layer data model]	Описание [Description]
Общие данные [General data]	Границы г. Чусового [Chusovoy borders]	Векторный (полигоны) [Vector (polygons)]	Границы по данным OSM ( <a href="http://spatialdb.net">http://spatialdb.net</a> ) [Boundaries according to OSM ( <a href="http://spatialdb.net">http://spatialdb.net</a> )]
	Граница Чусовского округа [Chusovoy district borders]	Векторный (полигоны) [Vector (polygons)]	
Результаты полевых и лабораторных измерений [Results of field and laboratory measurements]	Объемная магнитная восприимчивость, точки [Volume magnetic susceptibility, points]	Векторный (точки) [Vector (points)]	Точки измерения объемной магнитной восприимчивости почв (полевые данные) [Measurement points for volumetric magnetic susceptibility of soils (field data)]
	Тяжелые металлы, точки [Heavy metals, points]	Векторный (точки) [Vector (points)]	Точки отбора индивидуальных почвенных проб с результатами определения тяжелых металлов (лабораторные данные) [Points of collection of individual soil samples with the results of determination of heavy metals (lab data)]
Тематические карты [Thematic maps]	Объемная магнитная восприимчивость [Volume magnetic susceptibility]	Растровый [Raster]	Дискретный растр пространственного распределения магнитной восприимчивости почв по пяти классам: низкая; средняя; повышенная; высокая; очень высокая [Discrete raster of the spatial distribution of soil magnetic susceptibility into five classes: low; average; increased; high; very high]
	Ni	Растровый [Raster]	Дискретный растр кратности превышения ПДК по Ni с выделением трех классов: < 1 ПДК; 1–3 ПДК; > 3 ПДК [Discrete raster of the multiplicity of exceeding the MAC for Ni, distinguishing three classes: < 1 MAC; 1–3 MAC; > 3 MAC]

	Cu	Растровый [Raster]	Дискретный растр кратности превышения ПДК по Cu с выделением трех классов: < 1 ПДК; 1–3 ПДК; > 3 ПДК [Discrete raster of the multiplicity of exceeding the MAC for Cu, distinguishing three classes: < 1 MAC; 1–3 MAC; > 3 MAC]
	Zn	Растровый [Raster]	Дискретный растр кратности превышения ПДК по Zn с выделением трех классов: < 1 ПДК; 1–3 ПДК; > 3 ПДК [Discrete raster of the multiplicity of exceeding the MAC for Zn, distinguishing three classes: < 1 MAC; 1–3 MAC; > 3 MAC]
	As	Растровый [Raster]	Дискретный растр кратности превышения ПДК по As с выделением трех классов: < 1 ПДК; 1-3 ПДК; > 3 ПДК [Discrete raster of the multiplicity of exceeding the MAC for As, distinguishing three classes: < 1 MAC; 1–3 MAC; > 3 MAC]
	Pb	Растровый [Raster]	Дискретный растр кратности превышения ПДК по Pb с выделением трех классов: < 1 ПДК; 1–3 ПДК; > 3 ПДК [Discrete raster of the multiplicity of exceeding the MAC for Pb, distinguishing three classes: < 1 MAC; 1–3 MAC; > 3 MAC]
	Cr	Растровый [Raster]	Дискретный растр кратности превышения ПДК по Cr с выделением трех классов: < 1 ПДК; 1–3 ПДК; > 3 ПДК [Discrete raster of the multiplicity of exceeding the MAC for Cr, distinguishing three classes: < 1 MAC; 1–3 MAC; > 3 MAC]
	Mn	Растровый [Raster]	Дискретный растр кратности превышения ПДК по Mn с выделением трех классов: < 1 ПДК; 1–3 ПДК; > 3 ПДК [Discrete raster of the multiplicity of exceeding the MAC for Mn, distinguishing three classes: < 1 MAC; 1–3 MAC; > 3 MAC]
Базовые карты [Base maps]	Карта OSM [OSM map]	Растровый [Raster]	WMS-слой [WMS layer]

Полученный результат – это веб-сайт, который при первом рассмотрении требует устранения ряда недостатков: отсутствие заголовка сайта и информации о разработчиках (в «подвале сайта»), низкая информативность всплывающего окна атрибутов при наведении на точку отбора проб или измерения магнитной восприимчивости почв.

В целях совершенствования веб-приложения была осуществлена модификация html-кода в среде редактора Brackets. Для организации поиска сайта в поисковом окне браузера был добавлен элемент meta (<meta name = «keywords» content = «магнитная восприимчивость почв»>) с ключевым словом «магнитная восприимчивость почв». Кроме этого, веб-приложение было дополнено электронной таблицей и исходным ГИС-проектом, которые можно скачать нажатием на соответствующие кнопки.

Размещение готового веб-приложения в сети Интернет называется «хостинг». Услуги хостинга предлагают различные серверы. Среди них создан сегмент бесплатных (открытых) платформ, к которым относится GitHub. Клиентская часть картографирования по технологии qgis2web часто реализуется в сети интернет на GitHub Pages [Iwasaki, 2022]. Для публикации веб-карты эколого-магнитного состояния почв г. Чусового также была использована платформа GitHub Pages. Открытый доступ к данным созданной веб-карты на мобильном устройстве или компьютере организован по адресу <https://chascshin.github.io/Chusovoi-GIS> (рис. 4).



**Рис. 4.** Внешний вид веб-приложения после редактирования HTML-кода (размещено на GitHub)

**Fig. 4.** The appearance of the web application after editing the HTML code (hosted on GitHub)



Веб-ГИС содержит слои пространственного распределения магнитной восприимчивости почв и концентрации тяжелых металлов относительно ПДК, что характеризует проведенное экологическое веб-картографирование как компактную геовизуализацию многочисленного набора пространственных данных.

## Заключение

Сочетание методов геостатистики и визуализации на основе технологий интернет-картографирования позволяет представить целый набор геоэкологических карт, отражающих эколого-магнитное состояние почв в виде одного сайта. Назначение сайта – обеспечить открытый доступ населения и организаций к пространственным данным, характеризующим степень техногенного загрязнения почвенного покрова. Все заинтересованные лица, даже не обладающие специальными познаниями, могут оценить актуальное состояние окружающей среды в различных частях города. Представленная геотехнология существенно упрощает разработку почвенно-экологического веб-ГИС приложения: работа в основном осуществляется в среде ГИС и поэтому не требует расширенных компетенций почвовед-картографа в веб-программировании. Для формирования окончательного варианта веб-карты из веб-приложения, созданного по технологии qgis2web, требуется редактирование ряда параметров HTML-кода. Открытая платформа GitHub позволяет бесплатно разместить веб-приложение в сети интернет.

## Библиографический список / References

Абдуллин Р.К., Пономарчук А.И. Технологии интернет-картографирования: Учебное пособие. Пермь, 2020. [Abdullin R.K., Ponomarchuk A.I. Tekhnologii internet-kartografirovaniya [Internet mapping technologies]. Perm, 2020.]

Васильев А.А., Чащин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения: Монография. Пермь, 2011. [Vasiliev A.A., Chashchhin A.N. Tyazhelye metally v pochvakh goroda Chusovogo: otsenka i diagnostika zagryazneniya [Heavy metals in the soils of the city of Chusovoy: Assessment and diagnostics of pollution]. Perm, 2011.]

Васильев А.А., Чащин А.Н. Особенности пространственной неоднородности в картографии загрязнения почв тяжелыми металлами // Природообустройство. 2014. № 2. С. 25–29. [Vasiliev A.A., Chashchhin A.N. Features of spatial heterogeneity in the cartography of soil pollution with heavy metals. *Prirodoobustroystvo*. 2014. No. 2. Pp. 25–29. (In Rus.)]

Гладышева М.Н., Иванов А.В., Строганова М.Н. Выявление ареалов техногенно-загрязненных почв Москвы по их магнитной восприимчивости // Почвоведение. 2007. № 2. С. 235–242. [Gladysheva M.N., Ivanov A.V., Stroganova M.N. Identification of areas of technogenically contaminated soils in Moscow by their magnetic susceptibility. *Pochvovedenie*. 2007. No. 2. Pp. 235–242. (In Rus.)]

Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь, 2018. [Maksimovich N.G., Pyankov S.V. Kizelovskiy ugolnyy basseyn: ekologicheskie problemy i puti resheniya [Kizelovsky coal basin: Environmental problems and solutions]. Perm, 2018.]

Молокина Т.С., Колесников А.А. Анализ состояния и перспективы развития визуализации пространственных данных // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2021. Т. 26. № 4. С. 73–82. [Molokina T.S., Kolesnikov A.A. Analysis of the state and prospects for the development of visualization of spatial data. *Vestnik of SSUGT*. 2021. Vol. 26. No. 4. Pp. 73–82. (In Rus.)]

Почвенное картирование: Учебно-методическое пособие / Под ред. Б.Ф. Апарина, Г.А. Касаткиной. СПб., 2012. [Pochvennoe kartirovanie [Soil mapping]. B.F. Aparin, G.A. Kasatkina (eds.). St. Petersburg, 2012.]

Чашчин А.Н. Оксиды железа и тяжелые металлы в загрязненных металлургическим производством почвах г. Чусовой (Среднее Предуралье): Дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2010. [Chashchin A.N. Oksidy zheleza i tyazhelye metally v zagryaznennykh metallurgicheskim proizvodstvom pochvakh g. Chusovoy (Srednee Predurale) [Iron oxides and heavy metals in the soils of Chusovoy (Middle Cis-Urals) polluted by metallurgical production]. PhD dis. Ufa, 2010.]

Balla D. et al. Geovisualization techniques of spatial environmental data using different visualization tools. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10 (19). DOI: 10.3390/app10196701

Bowen H.J.M. Trance elements in biochemistry. London – NY., 1966.

Iwasaki N. et al. Client-side web mapping system for vineyard suitability assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2022. Vol. XLVIII. Pp. 223–228. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-223-2022

Ramdani F., Chairunnisa V. Combination of geostatistical and geovisualisation techniques for analysing 120 year earthquake events in Indonesia using open-source software. *Preprints* 2021, 2021030407. DOI: 10.20944/preprints202103.0407.v1

Статья поступила в редакцию 10.01.2023, принята к публикации 19.03.2023

The article was received on 10.01.2023, accepted for publication 19.03.2023

### Сведения об авторах / About the authors

**Васильев Андрей Алексеевич** – кандидат сельскохозяйственных наук; заведующий кафедрой агрохимии и почвоведения Института фундаментальных и прикладных агроэкобиотехнологий и лесного хозяйства, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь

**Andrey A. Vasiliev** – PhD in Agriculture; Head at the Department of Agrochemistry and Soil Science of the Institute of Fundamental and Applied Agroecobiotechnologies and Forestry, Perm State Agro-Technological University, Perm

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6755-0328>

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

**Чащин Алексей Николаевич** – кандидат биологических наук; доцент кафедры агрохимии и почвоведения Института фундаментальных и прикладных агроэкобиотехнологий и лесного хозяйства, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь

**Aleksey N. Chashchin** – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Agrochemistry and Soil Science of the Institute of Fundamental and Applied Agroecobiotechnologies and Forestry, Perm State Agro-Technological University, Perm

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6349-3055>

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

#### Заявленный вклад авторов

**А.А. Васильев** – общее руководство направлением исследования, планирование исследования, разработка картографической основы почв, подготовка текста статьи

**А.Н. Чащин** – проведение полевых работ, подготовка проб для лабораторного анализа, разработка и реализация технологической схемы интернет-картографирования

#### Contribution of the authors

**A.A. Vasiliev** – general management of the direction of research, research planning, development development of a cartographic basis, preparation of the text of the article

**A.N. Chashchin** – field works, preparing samples for laboratory analysis, developing and applied a technological scheme for web-mapping

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

УДК 631.438.2

**Н.Е. Гурьев, В.В. Клименко**Тюменский государственный университет,  
625003 г. Тюмень, Российская Федерация

## Комплексное радиационно-экологическое исследование города Тюмени

В статье приведены результаты комплексных радиационно-экологических исследований территории г. Тюмени, которые заключались в изучении содержания естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) радионуклидов в поверхностном слое почвогрунтов, а также измерениях плотности потока радона с поверхности грунта и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Содержание естественных и техногенных радионуклидов, плотности потока радона с поверхности грунта, мощности эквивалентной дозы гамма-излучения не превышают действующие нормы радиационной безопасности. Полученные данные могут быть использованы в научных и производственных целях в сфере радиационно-экологического мониторинга урбанизированных территорий.

**Ключевые слова:** мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, плотность потока радона, естественные радионуклиды, техногенные радионуклиды, г. Тюмень

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гурьев Н.Е., Клименко В.В. Комплексное радиационно-экологическое исследование города Тюмени // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 3. С. 278–291. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

**N.E. Guryev, V.V. Klimenko**Tyumen State University,  
Tyumen, 625003, Russian Federation

## Comprehensive radiation and ecological study of the city of Tyumen

The article presents the results of comprehensive radiation ecological studies of the territory of Tyumen which consisted of the study of the content of natural ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) and man-made ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) radionuclides in the surface layer of soils, the measurement of radon flux density from the ground and the equivalent dose rate of gamma radiation. The content of natural and man-made radionuclides, radon flux density from the soil surface, equivalent dose rate of gamma-radiation do not exceed the current standards of radiation safety. The data obtained can be used for scientific as well as production purposes in the field of radiation and environmental monitoring of urbanized areas.

**Key words:** equivalent dose rate of gamma radiation, radon flux density, natural radionuclides, man-made radionuclides, Tyumen

FOR CITATION: Guryev N.E., Klimenko V.V. Comprehensive radiation and ecological study of the city of Tyumen. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 3. Pp. 278–291. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

### Введение

Комплексные исследования состояния компонентов окружающей среды, включающие изучение атмосферного воздуха, геолого-геоморфологических, гидрогеологических условий, описания почв, биологического разнообразия, экологического состояния в условиях городской среды имеет важное научное и производственное значение. Особый

интерес представляют исследования радиационно-экологического плана в условиях урбанизированных территорий. В настоящее время для территории города Тюмени и его окрестностей, предназначенных под строительство (жилых домов, общественных и промышленных зданий, сооружений и т.д.), в открытом доступе отсутствует информация о комплексных радиационно-экологических исследованиях, которые имеют не только производственный характер, но и научный не только на общегородском уровне, но и локальном (точечном).

За последние пять лет на территории г. Тюмени уже были прецеденты, когда вопрос радиационной безопасности на локальном уровне активно освещался средствами массовой информации. В период с 2018 по 2020 г. в средствах массовой информации города выпускались материалы, касающиеся повышенных уровней радиационного фона локального характера. Они были обнаружены на набережной правого берега р. Тура в 2018 г. (источником повышенного фона являлись установленные гранитные плиты), частном секторе (источником повышенного фона являлся свинцовый контейнер, предназначенный для хранения радиоактивных отходов), на мусоросортировочном заводе в 2020 г. (неустановленный источник повышенного радиационного фона)<sup>1</sup>.

Региональные исследования радиационно-экологического плана, связанные с изучением содержания естественных и техногенных радионуклидов на территории Тюменской области, конечно, проводились [Захарова, 2006; Гаева и др., 2014; Бурлаенко, 2018 и др.]. Однако данные работы не носят комплексный формат исследования и не затрагивают территорию г. Тюмени.

Таким образом, комплексные радиационно-экологические исследования в условиях городской среды являются важным и актуальным направлением. Настоящая статья является основой для будущих исследований и требует дальнейшей детализации данной проблемы.

Цель исследования заключается в комплексном радиационном исследовании территории административных округов г. Тюмени.

В задачи исследования входило:

- изучение информации о текущей радиационной обстановке административных округов г. Тюмени по официально опубликованным данным государственных органов исполнительной власти и информации, размещенной в региональных СМИ;

<sup>1</sup> URA.RU. 2018. URL: [https://ura.news/news/1052357268utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D](https://ura.news/news/1052357268utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D) (дата обращения: 13.02.2023); 72.RU. 2019. URL: <https://72.ru/text/gorod/2019/10/15/66271423> (дата обращения: 13.02.2023); Вслух. Ру. 2020. URL: [https://vsluh.ru/novosti/obshchestvo/izvestny-itogi-zamerov-urovnya-radiatsii-na-tyumenskom-musorosortirovochnom-zavode\\_338106/](https://vsluh.ru/novosti/obshchestvo/izvestny-itogi-zamerov-urovnya-radiatsii-na-tyumenskom-musorosortirovochnom-zavode_338106/) (дата обращения: 13.02.2023).

- определение содержания естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) радионуклидов в поверхностном слое почвогрунтов;
- измерение плотности потока радона с поверхности грунта на территориях сельскохозяйственных полей, городских улиц, окрестностей промышленных зон, парков и скверов;
- измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения г. Тюмени.

## Материалы и методы исследования

В работе применены методы радиозокологических исследований, используемые для определения содержания  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в поверхностном слое почвогрунтов, измерения плотности потока радона с поверхности грунта и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения территории г. Тюмени.

Лабораторный анализ содержания естественных и техногенных радионуклидов в почвогрунтах выполнялся с помощью спектрометрического комплекса УСК «Гамма плюс». Пробы почвогрунтов отбирались с глубины 0–20 см, общей массой не менее 1 кг. Из отобранной пробы удалялись ветки, корни деревьев, строительный и бытовой мусор, а также каменный материал. Отобранная проба высушивалась в естественных условиях, в помещении при температуре воздуха порядка 20 °С. Просушенные пробы просеивались с помощью сита диаметром ячеек 0,5 мм. Всего было отобрано 200 проб почвогрунтов<sup>2</sup>.

Измерение плотности потока радона с поверхности грунта проводилось с помощью радиометра радона «РРА-01М-03» и вспомогательного пробоотборного устройства «ПОУ-04». Радиометр радона «РРА-01М-03» предназначен для измерения  $^{222}\text{Rn}$  в поверхностной и подземной воде, воздухе жилых, общественных и рабочих помещений, почвах и грунтах. Работа прибора основана на электростатическом осаждении дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора с помощью высокого положительного потенциала, поданного на электрод измерительной камеры. Активность  $^{222}\text{Rn}$  определяется альфа-спектрометрическим методом по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде  $^{218}\text{Po}$ <sup>3</sup>.

<sup>2</sup> ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб; ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор проб.

<sup>3</sup> Методические указания 2.6.1.2398–08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности»; Руководство по эксплуатации радиометра радона РРА-01М-03 МГФК 412124.003 РЭ.

Для выполнения измерений на заранее выбранном участке выкапывается углубление размером  $0,2 \times 0,2 \text{ м}^2$  и глубиной 3–5 см. Предварительно участок заранее очищается от мусора и растительности. Измерения выполняются через 20 минут после окончания полной подготовки участка. Всего было выполнено 179 измерений.

Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения проводилось с помощью многофункционального дозиметра ДКГ–01 «Сталкер», который обладает функцией закрепления полученных результатов в географическом пространстве. Всего выполнено 500 измерений в заранее выбранных контрольных точках. Измерения производились с 3-разовой повторяемостью для вычисления среднеарифметического значения на высоте 1 м от поверхности земли [Старков, Мигунов, 2010].

Результаты радиометрических исследований заносились в специальный полевой журнал, в котором указывалась дата, место, вид и результаты полученного измерения. Анализ содержания естественных и техногенных радионуклидов проводился в лаборатории радиационной экологии ИНЗЕМ Тюменского государственного университета. Статистическая обработка проводилась в программе Microsoft Excel.

## Результаты и их обсуждение

Основными источниками, в значительной степени оказывающими влияние на «общий» радиационный фон ландшафта, являются естественные и техногенные радионуклиды. В условиях городской среды радиационное воздействие оказывают природные радионуклиды, которые аккумулируются в почвогрунтах, а также содержатся в горных породах, которые используются в качестве декора, и техногенные, которые образуются в результате ядерных реакций в период работы и эксплуатации АЭС, промышленных и военных заводов и т.д. Для г. Тюмени, в условиях отсутствия техногенных источников радиационного загрязнения, изменения на локальном и общегородском уровне происходят за счет природных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ).

Оценка влияния естественных радионуклидов на общий радиационный фон территории г. Тюмени проводилась, исходя из расчета удельной эффективной активности естественных радионуклидов по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3A_{\text{Th}} + 0,09A_{\text{K}} \leq 370 \text{ Бк/кг}, \quad (1)$$

где  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{th}}$ ,  $A_{\text{K}}$  – содержание  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в исследуемых пробах.

Критерием для оценки содержания в отобранных образцах техногенных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) являлся официальный и действующий документ «Критерии оценки экологической обстановки территории для



выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, 1992 г.», в котором относительно удовлетворительной обстановкой считается содержание в пробах  $^{137}\text{Cs}$ , равное 185 Бк/кг, и  $^{90}\text{Sr}$ , равное 55,5 Бк/кг.

В качестве дополнительного источника сравнения полученных результатов лабораторных исследований отобранных проб почвогрунтов являлись «Доклад об экологической ситуации в Тюменской области, 2020 г.», где содержание  $^{137}\text{Cs}$  составляло 5,8 Бк/кг и  $^{90}\text{Sr}$  1,8 Бк/кг соответственно для территории Тюменского района, а также работа В.З. Бурлаенко, в которой отбор образцов почв проводился в эпицентре «мирного» ядерного взрыва «Тавда». Автором работы было определено содержание  $^{137}\text{Cs}$  в интервале 157–297 Бк/кг (восток 200, 300 м; север 300 м; юг 300, 400 м) и  $^{90}\text{Sr}$  127 Бк/кг (500 м от эпицентра ядерного взрыва «Тавда») [Бурлаенко, 2018]. В табл. 1 представлены усредненные результаты лабораторных исследований проб почвогрунтов, отобранных на территории административных округов г. Тюмени.

Таблица 1

**Средние результаты содержания естественных и техногенных радионуклидов в почвогрунтах административных округов г. Тюмени**  
**[Average results of the content of natural and man-made radionuclides in the soils and grounds of the administrative districts of Tyumen]**

Административный округ [Administrative district]	Среднее содержание естественных и техногенных радионуклидов, Бк/кг [Average content of natural and man-made radionuclides, Bq/kg]					
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$A_{\text{эфф}}^*$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Калининский [Kalininskiy]	12	16	309	60,61	2	1
Центральный [Tsentralnyy]	11	17	284	58,66	1	1
Ленинский [Leninskiy]	9	18	350	63,9	2	1
Восточный [Vostochnyy]	15	17	400	73,1	2	1

Примечание. \* – удельная эффективная активность естественных радионуклидов.

[Note. \* – specific effective activity of natural radionuclides.]

Анализируя полученные результаты лабораторных исследований проб почвогрунтов (см. табл. 1), можно сделать вывод о том, что превышений эффективной удельной активности природных радионуклидов не выявлено. Согласно ГОСТ 30108–94 (Приложение А, критерии для принятия решений об использовании строительных материалов согласно гигиеническим правилам) отобранные образцы относятся к «первому классу» и могут быть использованы во всех видах строительства без ограничения.

Полученные результаты исследования содержания техногенных радионуклидов в пробах почвогрунтов административных округов г. Тюмени на порядок ниже данных, представленных в докладе об экологической ситуации в Тюменской области (2021) и данных, полученных В.З. Бурлаенко на территории подземного ядерного взрыва «Тавда». Дополнительно в процессе исследования для сравнительного анализа полученных результатов проб, отобранных на территории г. Тюмени, был произведен отбор проб почвогрунтов в Гольшмановском, Сладковском, Тобольском муниципальных районах юга Тюменской области. Всего отобрано 9 проб. Результаты исследования содержания естественных и техногенных радионуклидов муниципальных районов юга Тюменской области представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Содержание естественных и техногенных радионуклидов  
в почвогрунтах муниципальных районов  
юга Тюменской области  
[Content of natural and man-made radionuclides  
in the soil of municipal districts of south Tyumen region]**

Муниципальный район [Municipal district]	Среднее содержание естественных и техногенных радионуклидов, Бк/кг [Average content of natural and man-made radionuclides, Bq/kg]				
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
Гольшмановский [Golyshmanovskiy]	10	24	400	<5	0,5
Сладковский [Sladkovskiy]	8,6	30	490	<2	1
Тобольский [Tobolskiy]	2	17	300	<2	0,5

Таким образом, полученные результаты содержания естественных и техногенных радионуклидов Гольшмановского, Сладковского и Тобольского муниципальных районов ниже или равны полученным лабораторным исследованиям проб почвогрунтов административных округов г. Тюмени. Стоит отметить, что согласно данным мониторинга (2000–2004 гг.) радиационной обстановки Тюменской области, наиболее высокие показатели содержания техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах области характерны для верхних слоев почв, а на глубине 20–40 см отмечается заметное снижение содержания [Захарова, 2006]. Как обоснование этому было выдвинуто предположение о низком содержании гумуса в нижних горизонтах почвенного профиля, что ухудшает структуру почвы, а также преобладание суглинистых отложений, которые поглощают и удерживают в своей структуре радионуклиды. Также, согласно данной работе, полученные значения не превышали норм содержания радионуклидов в почвах Тюменской области. Самые высокие показатели были зафиксированы в Нижнетавдинском районе по  $^{137}\text{Cs}$  (19,5 Бк/кг) в 2004 г. и  $^{90}\text{Sr}$  (4,4 Бк/кг) в 2000 г., самые низкие – в Юргинском районе по  $^{137}\text{Cs}$  (0,3 Бк/кг) в 2004 г. и Нижнетавдинском районе по  $^{90}\text{Sr}$  (0,7 Бк/кг) в 2004 г. [Захарова, 2006].

Одним из видов производственного контроля территории, предназначенной под строительство жилых, общественных и производственных зданий и сооружений на стадии строительства, является контроль плотности потока радона с поверхности грунта. В работе представлены результаты исследования плотности потока радона с поверхности грунта, измеренные на сельскохозяйственных полях, городских улицах, окрестностях промышленных зон, территорий парков, скверов административных округов г. Тюмени.

Радон – это опасный бесцветный инертный радиоактивный газ, являющийся альфа-излучателем, имеет 3 изотопа. Наиболее долгоживущий изотоп  $^{222}\text{Rn}$  с периодом полураспада 3,8 суток. Причиной повышенного содержания изотопов радона в почвах, подвалах, помещениях жилых, общественных, промышленных зданиях и сооружениях является высокое содержание  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  в породах окружающего ландшафта и используемых строительных материалах, которые в результате своего распада образуют  $^{222}\text{Rn}$  [Старков, Мигунов, 2010]. В табл. 3 представлены усредненные результаты полевых исследований плотности потока радона с поверхности грунта административных округов г. Тюмени.

**Результаты исследования плотности потока  $^{222}\text{Rn}$   
с поверхности грунта административных округов г. Тюмени**  
**[The results of the study of flux density  $^{222}\text{Rn}$   
from the surface of the ground of Tyumen]**

Административный округ [Administrative district]	Плотность потока $^{222}\text{Rn}$ с поверхности грунта, МБк/(м <sup>2</sup> с) [Flux density of $^{222}\text{Rn}$ from the ground surface, MBq/(m <sup>2</sup> s)]		
	Min	Max	Среднее [Average value]
Калининский [Kalininskiy]	25	38	33
Центральный [Tsentralnyy]	28	45	36
Ленинский [Leninskiy]	22	40	34
Восточный [Vostochnyy]	27	41	32

Согласно действующему нормативному документу МУ 2.6.1.2398–08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности», норма плотности потока  $^{222}\text{Rn}$  с поверхности грунта для жилых домов, общественных зданий и сооружений составляет 80 и 250 МБк/(м<sup>2</sup>с) для производственных.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что превышений действующих норм не выявлено, как для территорий, предназначенных под постройку жилых, общественных зданий и сооружений, так и для промышленных (см. табл. 3). Относительно низкая концентрация радона на участках исследования объясняется отсутствием большого количества  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  в почвообразующих породах и почвогрунтах территории г. Тюмени. Также показатели плотности потока радона обусловлены природными факторами, влияющими на их временные колебания. К основным таким факторам стоит относить колебания влажности почв и почвогрунтов, атмосферного давления, температуры грунта и атмосферного воздуха, промерзание грунтов в зимний период и уровень грунтовых вод [Влияние уровня грунтовых вод на перенос радона..., 2014]. В целом, для территории Тюменской области характерны невысокие показатели плотности потока радона с поверхности грунта, которые

не превышают 80 мБ/кг/(м<sup>2</sup>с). Однако отмечаются локальные участки, где показатели <sup>222</sup>Rn превышают установленную норму. Например, согласно исследованию, проведенному на территории Тобольского района Тюменской области, показатели плотности потока радона с глубиной почвенного профиля увеличиваются в несколько раз [Колобов, 2022]. Автор предположил, что это может быть связано с подземными водами и большой долей мелкодисперсной фракции в составе почв на глубине, что влияет на их проницаемость и затрудняет газообмен и эманацию радона.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения является одним из важнейших показателей, характеризующих общую радиационную обстановку изучаемой территории, т.к. при одной и той же поглощенной дозе последствия ионизирующего излучения на живой организм и на отдельный его орган могут быть разными, длительное воздействие гамма-излучения пагубно сказывается на организме. Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения является обязательной процедурой на территориях, предназначенных под строительство жилых, общественных и производственных зданий и сооружений. В таблице 4 представлены усредненные результаты мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территории административных округов г. Тюмени.

Таблица 4

**Результаты исследования мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Тюмени**  
**[Results of the equivalent dose rate of gamma-radiation of the administrative districts of Tyumen]**

Административный округ [Administrative district]	Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, мкЗв/ч [Gamma radiation equivalent dose rate, μSv/hour]		
	Min	Max	Среднее [Average value]
Калининский [Kalininskiy]	0,06	0,12	0,09
Центральный [Tsentralnyy]	0,09	0,15	0,11
Ленинский [Leninskiy]	0,07	0,11	0,08
Восточный [Vostochnyy]	0,08	0,10	0,09

Законами Российской Федерации в обязательном порядке согласно нормам радиационной безопасности (НРБ–99/2009, СП 2.6.1.2612–10), а также методическим указаниям (МУ 2.6.1.2398–08, МУ 2.6.1.2838–11) радиационный контроль проводится на земельных участках на стадии нового строительства, реконструкции и ремонта. Дополнительные работы ведутся государственными органами исполнительной власти в рамках государственного мониторинга окружающей среды. Выполняемые исследования носят общий городской уровень и не имеют точечных данных, в связи с чем информация о радиационной обстановке на локальном уровне остается неизвестной.

Результаты полевых исследований, представленные в табл. 4, позволяют сделать вывод о том, что территория административных округов г. Тюмени соответствует нормам радиационной безопасности, и полученные результаты не превышают действующих норм. Максимальные значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения обнаружены в Центральном административном округе (0,15 мкЗв/ч), наименьшие значения – в Калининском (0,06 мкЗв/ч). Также, согласно данным исследования, проведенного в 2013 г., мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в районах юга Тюменской области обусловлена естественным гамма-фоном местности и не превышает установленных контрольных уровней. Максимальные значения мощности эквивалентной дозы были отмечены в Вагайском (12,27 мкР/ч), Омутинском (10,82 мкР/ч) и Аромашевском (10,10 мкР/ч) районах, что позволяет выявить временную закономерность соответствия Тюменского района и г. Тюмени нормам радиационной безопасности по показателю мощности эквивалентной дозы [Захарова, Гаеваева, Бурлаенко, 2013].

Согласно докладу правительства Тюменской области «О состоянии окружающей среды Тюменской области, 2021 год» превышений установленных контрольных уровней радиационного фона не выявлено, а максимальное значение, зафиксированное на метеорологической станции Тюмень, не превышало значений в 0,17 мкЗв/ч.

Сопутствующим фактором, оказывающим воздействие на общий радиационный фон, являются выпавшие атмосферные осадки, в которых содержатся естественные и техногенные радионуклиды. Радиационный контроль и мониторинг выпавших атмосферных осадков является важной и неотъемлемой частью радиационной безопасности населения, т.к. в случае превышений установленных норм значительные площади территории будут загрязнены, а источник техногенного воздействия может находиться за несколько десятков или даже сотен

километров от места загрязнения. По результатам наблюдений метеорологической станции Тюмень, радиоактивное загрязнение атмосферных осадков составляет 1,1 Бк/м в сутки. За многолетний период наблюдается тенденция к их снижению. Среднемесячные значения изменяются в интервале от 0,85 до 1,37 Бк/м в сутки.

## Выводы

1. Содержания естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) радионуклидов в поверхностном слое почвогрунтов с учетом площади антропогенно-измененных ландшафтов г. Тюмени в отобранных образцах не превышают действующих норм радиационной безопасности и соответствуют общерегиональным значениям. Причиной низкого содержания естественных и техногенных радионуклидов является отсутствие природных и техногенных источников повышенного радиационного фона.

2. По результатам исследований плотности потока радона с поверхности грунта административных округов г. Тюмени превышений действующих норм в 80 мБк/(м<sup>2</sup>с) и 250 мБк/(м<sup>2</sup>с) для территорий, предназначенных под строительство общественных, деловых и промышленных зданий и сооружений, выявлено не было. Низкое содержание природных радионуклидов в почвогрунтах является лимитирующим фактором относительно низких показателей плотности потока радона с поверхности грунта территории исследования.

3. По результатам измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения для территорий, предназначенных под строительство общественных, деловых и промышленных зданий и сооружений административных округов г. Тюмени, превышений действующих норм радиационной безопасности не выявлено.

## Библиографический список / References

Бурлаенко В.З. Оценка радиационного состояния компонентов природной среды юга Тюменской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2018. [Burlaenko V.Z. Otsenka radiatsionnogo sostoyaniya komponentov prirodnoi sredy yuga Tyumenskoi oblasti [Assessment of radiation state of natural environment components in the South of Tyumen region]. PhD theses. Tyumen, 2018.]

Влияние уровня грунтовых вод на перенос радона в почвенном воздухе на полигоне в Екатеринбурге / Климшин А.В., Антипин А.Н., Микляев П.С. и др. // АНРИ. 2014. № 2. С. 45–52. [Klimshin A.V., Antipin A.N., Miklyayev P.S. et al., Impact of the groundwater level n transfer of radon in the soil air at the landfill in Yekaterinburg. ANRI. 2014. No. 2. Pp. 45–52. (In Rus.)]

Захарова Е.В. Эколого-радиационное состояние природной среды Тюменской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2006. [Zakharova E.V. Ekologo-radiatsionnoe sostoyanie prirodnoy sredy Tyumenskooy oblasti [Ecological and radiation state of the natural environment of Tyumen region]. PhD theses. Tyumen, 2006.]

Захарова Е.В., Гаева Е.В., Бурлаенко В.З. Воздействие техногенных радионуклидов на компоненты природной среды юга Тюменской области // Плодородие. 2014. № 6. С. 46–48. [Zakharova E.V., Gaeva E.V., Burlaenko V.Z. Impact of technogenic radionuclides on the components of the natural environment of the South of the Tyumen region. *Plodorodie*. 2014. No. 6. Pp. 46–48. (In Rus.)]

Колобов А.П. Плотность потока радона-222 в почвах Тобольского района Тюменской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 39. С. 56–68. [Kolobov A.P. Radon flux density-222 in soils of Tobolsk district of Tyumen region. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. 2022. Vol. 39. Pp. 56–68. (In Rus.)]

Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень, 2010. [Starkov V.D., Migunov V.I. Radiatsionnaya ekologiya [Radiation ecology]. Tyumen, 2010.]

Статья поступила в редакцию 15.03.2023, принята к публикации 26.05.2023  
The article was received on 15.03.2023, accepted for publication 26.05.2023

#### Сведения об авторах / About the authors

**Гурьев Никита Евгеньевич** – ассистент кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле, Тюменский государственный университет

**Nikita E. Guryev** – Assistant at the Department of Geocology and Environmental Management of the Institute of Earth Sciences, Tyumen State University, Tyumen

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0602-1969>

E-mail: [nikitka.gurev.1996@mail.ru](mailto:nikitka.gurev.1996@mail.ru)

**Клименко Валентина Вячеславовна** – магистрант кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле, Тюменский государственный университет

**Valentina V. Klimenko** – MA-student at the Department of Geocology and Environmental Management of the Institute of Earth Sciences, Tyumen State University

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8533-9809>

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



### Заявленный вклад авторов

**Гурьев Н.Е.** – руководство исследованием, сбор полевого материала, статистическая обработка данных, интерпретация результатов, подготовка текста статьи

**Клименко В.В.** – статистическая обработка данных, подготовка и написание литературного обзора, подготовка текста статьи

### Contribution of the authors

**N.E. Guryev** – research management, collection of field material, statistical processing of data, interpretation of results, preparation of the text of the article

**V.V. Klimenko** – statistical processing of data, preparation and writing of the literature review, preparation of the text of the article

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

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-292-312

УДК 504.3.054

**И.М. Колесник, Е.А. Белова, Г.Г. Юхневич**

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,  
230023 г. Гродно, Республика Беларусь

## Дисперсный состав взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны предприятий

Приведены результаты исследований воздуха рабочей зоны предприятий металлообрабатывающей, деревообрабатывающей и строительной промышленности на содержание твердых частиц гравиметрическим методом с последующей световой микроскопией осветленных фильтров. Установлено, что массовая концентрация и дисперсный состав пыли в воздухе рабочей зоны предприятий зависит от вида и технологического процесса выпускаемой продукции. Максимальная массовая концентрация взвешенных частиц выявлена в воздухе при фрезеровке древесноволокнистых плит средней плотности на предприятии по производству мебели, тогда как максимальное количество взвешенных частиц – при литье металлических изделий и прессовании изделий из древесноволокнистых плит. Наиболее распространенной фракцией в воздухе при производстве кирпичей и блоков, прессовании и фрезеровке изделий из древесноволокнистых плит, литье и обработке металлов являются частицы размерами 1–2,5 мкм. Отличия во фракционном составе взвешенных частиц в воздухе разных цехов обусловлены в основном количеством частиц с диаметром 0,5–1 мкм и 5–10 мкм. Приведенные исследования могут быть использованы для

разработки нормативов предельно допустимых концентраций мелкодисперсных фракций пылевых частиц в воздухе рабочей зоны предприятий, для оценки условий труда и профессионального риска при технологических процессах.

**Ключевые слова:** воздух рабочей зоны предприятий, количество взвешенных частиц, массовая концентрация взвешенных частиц, размер твердых частиц в воздухе

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках задания 2.01.14 Государственной программы научных исследований Республики Беларусь на 2021–2025 годы «Природные ресурсы и окружающая среда».

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Колесник И.М., Белова Е.А., Юхневич Г.Г. Дисперсный состав взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны предприятий // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 3. С. 292–312. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-292-312

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-292-312

**I.M. Kalesnik, E.A. Byalova, H.G. Yukhnevich**

Yanka Kupala State University of Grodno,  
Grodno, 230023, Belarus

## Dispersed composition of particulate matter in the air of enterprises workplaces

The research results of the air of the working area of the metalworking, woodworking and construction industry on the presence of solid particles with the usage of gravimetric method and the following optical light microscopy of clarified filters are presented. It has been established that the mass concentrations and the dispersed composition of particulate matter in the air of the industrial plants depend on the type and technological process of the manufactured goods. Maximum mass concentration of the particulate matter has been identified in the workplace air in medium density fiberboards (MDF) milling, while the maximum amount of the particles has been

discovered during the casting of metal products and the pressing of products from MDF. The most widespread fraction in the workplace air in bricks and blocks production, pressing and milling of MDF products, casting and metalworking are the particles 1–2.5  $\mu\text{m}$  in size. The difference in the fraction composition of the suspended particles in the different workshops is caused mainly by the quantity of particles with a diameter 0.5–1  $\mu\text{m}$  and 5–10  $\mu\text{m}$ . These studies can be used to develop standards for the maximum permissible concentrations of fine dispersed fractions of particulate matter in the workplace air of enterprises, and to assess working conditions and professional risk in manufacturing processes.

**Key words:** workplace air of plants, number and mass concentration of particulate matter, size of particles

**Acknowledgments.** The study was carried out within task 2.01.14 of the State Program of Scientific Research of the Republic of Belarus for 2021–2025 “Natural Resources and Environment”.

FOR CITATION: Kalesnik I.M., Byalova E.A., Yukhnevich H.G. Dispersed composition of particulate matter in the air of enterprises workplaces. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 3. Pp. 292–312. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-292-312

## Введение

В современных условиях показатели медико-демографических потерь населения во многих странах напрямую зависят от уровня загрязнения воздуха взвешенными частицами (*particulate matter*, *PM*) [Mangia et al., 2020]. Многочисленные технологические процессы и операции в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве сопровождаются образованием и выделением пыли, воздействию которой могут подвергаться большое количество работников этих сфер. В производственных условиях с образованием пыли чаще всего связаны процессы дробления, размола, просева, обточки, распиловки, пересыпки и других перемещений сыпучих материалов, сгорания, плавления и др. [Чомаева, 2015].

Химический состав пыли достаточно разнообразен, что в существенной мере обусловлено спецификой технологических процессов, производственных операций, составом используемых на предприятиях материалов и сырья. Обращает на себя внимание присутствие в составе промышленной пыли многих предприятий активных органических и минеральных сорбентов (сажа, пыль древесная, коксовая, крахмала, доломита, соды, извести, талька, цемента и др.) [Янин, 2004].

При регулировании качества воздуха в первую очередь определяют массовые концентрации пылевидных частиц. Однако имеются данные, что при определении последствий для здоровья человека числовые концентрации частиц имеют большее значение, чем массовые концентрации частиц, т.к. в массовых концентрациях пыли обычно преобладают частицы большего размера [Chen et al., 2017]. Эпидемиологические исследования показали, что основная часть неблагоприятных последствий для здоровья связана с частицами диаметром менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ), 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ) и 1 мкм ( $PM_1$ )<sup>1</sup>.

Переносимые по воздуху твердые частицы оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека, особенно на дыхательную и сердечно-сосудистую системы. Появляется все больше свидетельств того, что размер твердых частиц определяет специфику их взаимодействия с организмом человека при вдыхании. От размера частиц зависят места их отложения в легких. Частицы  $PM_{10}$  с большей вероятностью оседают на поверхности более крупных дыхательных путей в верхней части легкого, тогда как частицы  $PM_{2,5}$  и  $PM_1$  с большей вероятностью попадут в более глубокие отделы, вызывая повреждение тканей и воспаление легких. Частицы  $PM_{2,5}$  способны преодолевать аэрогеоматический барьер в легких и попадать в кровеносную систему, а ультрадисперсные частицы ( $PM_1$ ) способны проходить через клеточные мембраны, нарушать функционирование и энергетическое состояние клеток [Механизм патологического действия..., 2017]. Одним из основных механизмов токсического действия микроразмерных частиц является их способность индуцировать выработку активных форм кислорода и радикалов, нарушать клеточную антиоксидантную способность и приводить к развитию окислительного стресса, сопровождающегося повреждением ключевых клеточных компонентов, таких как липиды, белки и нуклеиновые кислоты [Vitkina et al., 2016; Ответная реакция..., 2016]. Как результат, микрочастицы обладают провоспалительным, канцерогенным, тератогенным, цитотоксическим, аллергопатическим действием.

В результате, даже относительно умеренные уровни воздействия мелкодисперсных фракций частиц могут влиять на производительность труда из-за изменений артериального давления; раздражения уха, носа, горла и легких; и умеренных головных болей [Уланова, Гилева, Волкова, 2015; Исследование наноразмерных частиц..., 2017]. Хроническое воздействие твердых частиц усугубляет риск развития сердечно-

<sup>1</sup> WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. World Health Organization: Geneva, Switzerland. 2021.

сосудистых и респираторных заболеваний, а также рака легких [Mate et al., 2010; Yorifuji, Kashima, Doi, 2016; Amoatey et al., 2020]. Невозможность их быстрого выведения из организма приводит к накоплению микрочастиц в органах и тканях, что в долгосрочной перспективе может сопровождаться госпитализацией и смертностью.

В связи с этим, для лучшего понимания условий труда и оценки профессионального риска при производственных процессах необходимо учитывать особенности размерности взвешенных частиц в выбросах различных источников на рабочем месте сотрудников.

*Цель работы* – исследование дисперсного состава взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны предприятий металлообрабатывающей, деревообрабатывающей и строительной промышленности при различных технологических процессах.

## Материалы и методы

Для анализа количества и структуры взвешенных частиц производился отбор проб воздуха рабочей зоны в цехах промышленных предприятий города Гродно, относящихся к металлообработке, деревообработке и производству строительных материалов. Отбор проб воздуха осуществляли аспиратором ПУ-3Э с фильтрами АФА-ВП-20. Воздухозаборное устройство устанавливали на расстоянии 1 м от работающего оборудования, на высоте 1,5 м от пола – в зоне дыхания работника. Продолжительность отбора одиночной пробы составляла 20 мин в режиме 75 дм<sup>3</sup>/мин. Общий объем одиночной пробы составлял 1,5 м<sup>3</sup>. При каждом технологическом процессе выполняли три пробоотбора через каждые два часа после начала рабочей смены в трехкратной повторности. Массовую концентрацию твердых частиц определяли гравиметрическим методом<sup>2</sup>.

В лаборатории фильтры с адсорбированными пылевидными частицами просветляли в парах ацетона и осуществляли микроскопическое изучение твердых частиц с помощью микроскопа «МИКМЕД-6» (объектив ×40, видеоокуляр «Tour Cam» 14.0 MP, адаптер TourTek FMA050). На каждом фильтре в 30 полях зрения подсчитывали количество частиц и измеряли их размеры [Световая микроскопия..., 2022].

Оценка диаметра частиц воздуха рабочей зоны предприятий позволила распределить твердые частицы в зависимости от гранулометрического состава на шесть фракций: >10 мкм; 5–10 мкм; 2,5–5 мкм; 1–2,5 мкм;

<sup>2</sup> МН 5093–2014. Методика выполнения измерений «Определение концентрации твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) в атмосферном воздухе. Гравиметрический метод». Мн., 2014.

0,5–1 мкм; 0,3–0,5 мкм. Получены шесть репрезентативных выборок объемом от 1585 (цех металлообработки) до 4384 вариантов (цех литья).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета STATISTICA 10 и стандартного приложения Microsoft Office Excel 2010. Качественные признаки описывали посредством выборочных долей. Кластерный анализ осуществляли по методу одиночной связи и методу *k*-средних. Количественные признаки характеризовали посредством общепринятых показателей описательной статистики с учетом типа распределения данных [Жукова, Минец, 2019]. При оценке характера распределения данных применяли коэффициент Стьюдента для асимметрии и эксцесса. Проверку гипотезы о наличии корреляций между признаками осуществляли посредством непараметрического критерия Спирмана, а сравнение медианных значений в выборках – на основе *Z*-критерия в тесте Манна–Уитни [Боровиков В.П., Боровиков И.П., 1998].

## Результаты и обсуждение

Массовая концентрация твердых частиц в воздухе рабочей зоны цехов предприятий металлообрабатывающей, деревообрабатывающей и строительной промышленности различалась более чем в 6 раз. Минимальные значения данного показателя были зафиксированы в цехе производства блоков ( $254,00 \pm 7,12$  мкг/м<sup>3</sup>), амаксимальные – в цехе фрезеровки древесноволокнистых плит МДФ (англ. *medium-density fibreboard*, MDF) ( $1631,00 \pm 61,73$  мкг/м<sup>3</sup>) (рис. 1).

Микроскопическое изучение адсорбированных на фильтрах твердых частиц показало, что значения численной концентрации частиц в воздухе рабочей зоны составили от  $(11,71 \pm 0,39) \times 10^6$  шт/м<sup>3</sup> в цехе металлообработки до  $(46,67 \pm 2,11) \times 10^6$  шт/м<sup>3</sup> в цехе литья (рис. 2).

Таким образом, проявилась некоторая специфика пылевого загрязнения в каждой из трех отраслей промышленности. Массовая концентрация пылевых частиц в двух цехах предприятия по деревообработке в сумме оказалась в 3,8 раза больше, чем в двух цехах предприятия по производству строительных материалов, промежуточное положение заняли цеха предприятия по металлообработке. Суммарное же количество частиц в воздухе двух цехов практически не зависело от принадлежности к отрасли промышленности при небольшом превышении для цехов предприятия по деревообработке.

Достоверная корреляционная зависимость между массовой и числовой концентрацией частиц в воздухе рабочей зоны при различных технологических процессах не обнаружена.

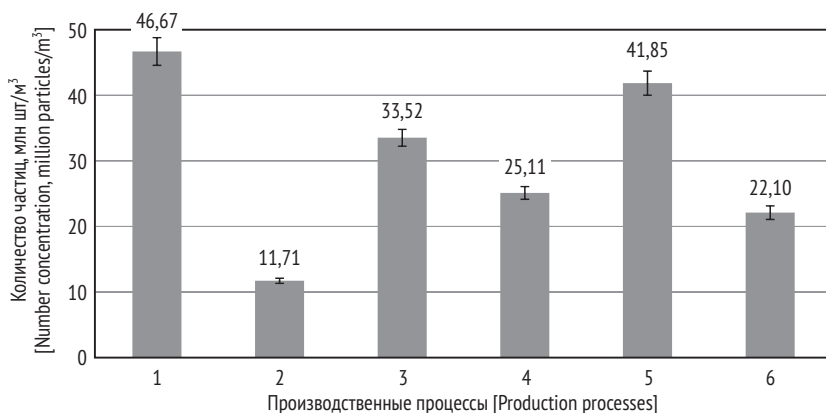


**Рис. 1.** Массовая концентрация пылевых частиц в воздухе рабочей зоны предприятий:

1 – литье металла; 2 – металлообработка; 3 – производство блоков;  
4 – производство кирпича; 5 – прессование МДФ; 6 – фрезеровка МДФ

**Fig. 1.** Mass concentration of particulate matter in the workplace air of plant:

1 – metal casting; 2 – metal processing; 3 – block production;  
4 – brick production; 5 – MDF pressing; 6 – MDF milling



**Рис. 2.** Количество частиц в воздухе рабочей зоны цехов предприятий:

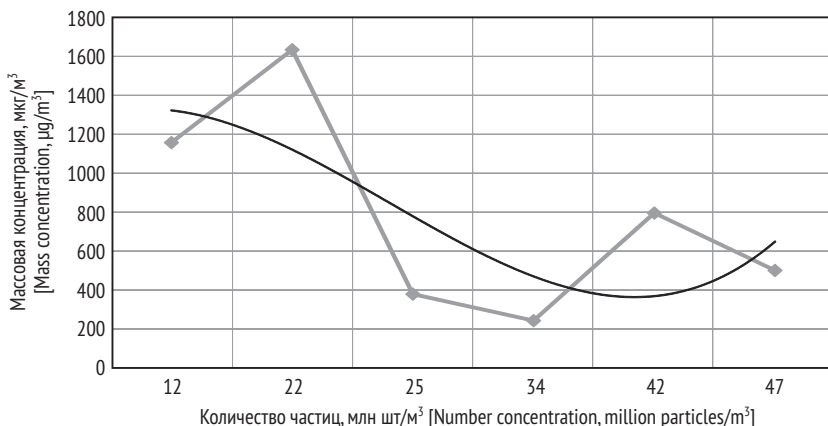
1 – литье металла; 2 – металлообработка; 3 – производство блоков;  
4 – производство кирпича; 5 – прессование МДФ; 6 – фрезеровка МДФ

**Fig. 2.** Number of particles in the workplace air of plants:

1 – metal casting; 2 – metal processing; 3 – block production;  
4 – brick production; 5 – MDF pressing; 6 – MDF milling



В пределах каждого из предприятий наблюдается тенденция к уменьшению массовой концентрации взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны цехов при увеличении количества частиц (рис. 3), что указывает на специфику пылевого загрязнения при каждом технологическом процессе.

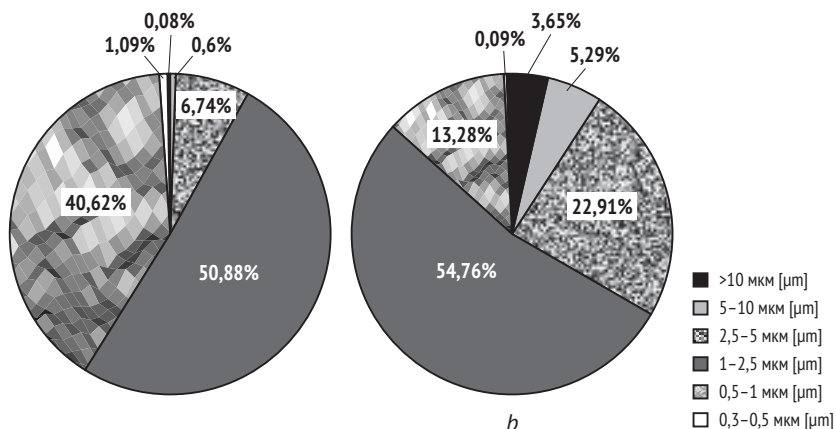


**Рис. 3.** Зависимость между массовой концентрацией и количеством частиц в воздухе рабочей зоны предприятий

**Fig. 3.** The dependence between the mass concentration and the number of particles in the workplaces air of plant

Анализ дисперсного состава частиц воздуха рабочей зоны в цехах предприятия по металлообработке показал, что наиболее распространенной фракцией являлись частицы с размером от 1 до 2,5 мкм, доля которых составила 50,88–54,76% (рис. 4). В наименьшем количестве в цехе литья были представлены крупные частицы диаметром более 10 мкм, а в цехе металлообработки – диаметром 0,3–0,5 мкм.

В воздухе рабочей зоны цехов предприятия по производству строительных материалов наибольшую долю также составили частицы размером 1–2,5 мкм, однако их доля была ниже в сравнении предприятием по металлообработке (рис. 5). Вторыми по вкладу на данном объекте являлись частицы диаметром от 0,5 до 1 мкм. Наименьшую долю в воздухе рабочей зоны цеха по производству блоков составили частицы диаметром более 10 мкм (0,39%), тогда как цеха по производству кирпича – диаметром 0,3–0,5 мкм (0,53%).

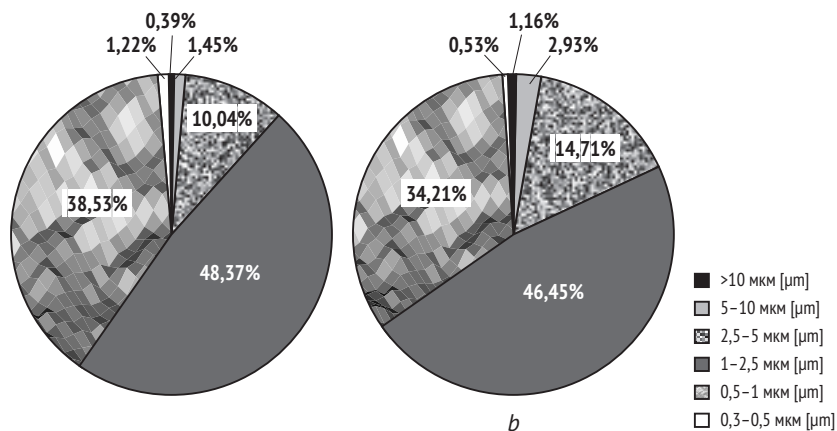


**Рис. 4.** Спектр размеров частиц в воздухе рабочей зоны предприятия по металлообработке:

*a* – цех производства блоков; *b* – цех производства кирпича

**Fig. 4.** Size spectra of particulate matter in the workplace air of metal working plant:

*a* – metal casting; *b* – metal processing



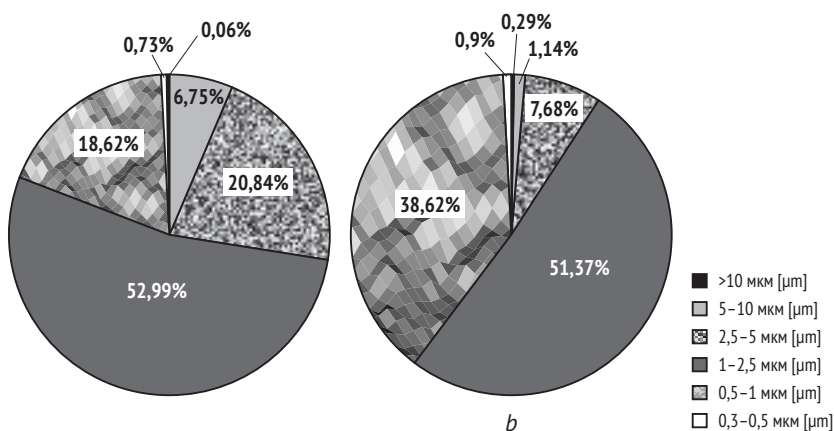
**Рис. 5.** Спектр размеров частиц в воздухе рабочей зоны предприятия по производству строительных материалов:

*a* – цех производства блоков; *b* – цех производства кирпича

**Fig. 5.** Size spectra of particulate matter in the workplace air of building materials plant:

*a* – metal casting; *b* – metal processing

На предприятии по обработке древесных материалов в воздухе рабочей зоны всех цехов наиболее многочисленными также были частицы с диаметром 1–2,5 мкм, доля которых составила около 52% (рис. 6). Встречаемость частиц с наименьшими размерами (0,3–0,5 мкм), которые наиболее сложно регистрировать при световой микроскопии препаратов, была минимальной в обоих цехах и составила 0,06–0,29%.



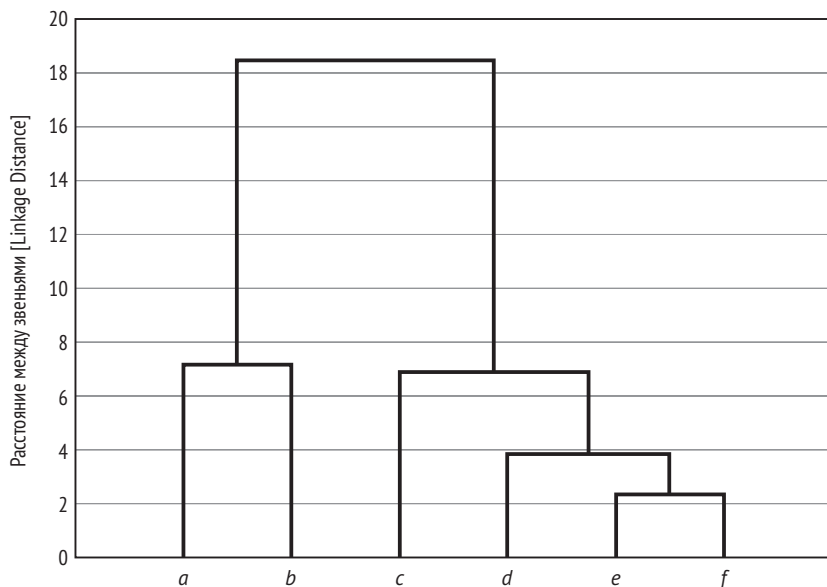
**Рис. 6.** Спектр размеров частиц в воздухе рабочей зоны предприятия по деревообработке:

*a* – цех прессования МДФ; *b* – цех фрезеровки МДФ

**Fig. 6.** Size spectra of particulate matter in the workplace air of woodworking plants:

*a* – MDF pressing; *b* – MDF milling

Кластеризация данных о фракционном составе взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны различных цехов производственных предприятий показала, что их можно объединить в две группы (рис. 7). На древовидной гистограмме, полученной методом одиночной связи, видно, что по соотношению частиц разного гранулометрического состава один кластер составляют цех прессования и цех металлообработки, а остальные исследуемые цеха группируются во второй кластер, где наиболее близки оказались цех фрезеровки и цех литья. Цех по производству кирпича находится на наибольшем отдалении во второй группе, а цех по производству блоков занимает промежуточное положение.



**Рис. 7.** Кластерная дендрограмма производственных процессов по размерным спектрам взвешенных частиц в воздухе рабочих мест:

*a* – прессование МДФ; *b* – металлообработка;  
*c* – производство кирпича; *d* – производство блоков;  
*e* – фрезеровка МДФ; *f* – литье металлов

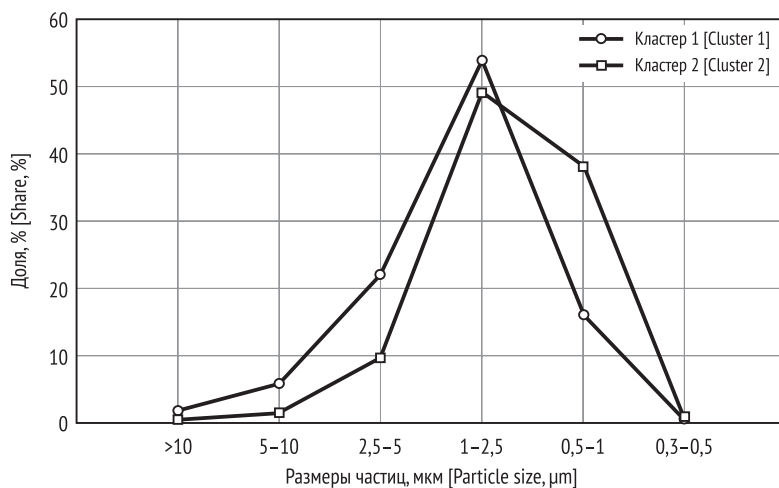
**Fig. 7.** Cluster dendrogram of production processes by size spectra of particulate matter in the of workplace air:

*a* – MDF pressing; *b* – metal processing;  
*c* – brick production; *d* – block production;  
*e* – MDF milling; *f* – metal casting

Объединение данных методом *k*-средних показывает, что в распределении цехов предприятий на кластеры статистически значимый вклад ( $p \leq 0,05$ ) внесли три фракции частиц (табл. 1). В первую очередь характер группировки цехов обусловлен количеством частиц диаметром 0,5–1 мкм, т.к. для них получено наибольшее достоверное значение *F*-критерия. Вторыми по значимости для кластеризации стали частицы размером от 5 до 10 мкм, третьими – пылевые частицы диаметром 2,5–5 мкм. По трем фракциям (более 10 мкм, 1–2,5 мкм, 0,3–0,5 мкм) доли частиц в рассматриваемых кластерах статистически не различаются,  $p > 0,05$  (табл. 1, рис. 8).

**Описание групп производственных процессов по спектру частиц с разным диаметром в воздухе рабочей зоны предприятий**  
**[Description of clusters of production processes by size spectra of particulate matter in the of workplace air]**

Размеры частиц, мкм [Particle size, $\mu\text{m}$ ]	Среднее значение в кластере, % [Cluster Means, %]		Коэффициент Фишера [Fisher coefficient]	Уровень значимости $p$ [Significance level $p$ ]
	Кластер 1 [Cluster 1]	Кластер 2 [Cluster 2]		
>10	1,855	0,480	1,418	0,299
5–10	6,020	1,530	26,554	0,007
2,5–5	21,875	9,793	19,385	0,012
1–2,5	53,875	49,265	6,533	0,063
0,5–1	15,950	37,995	71,696	0,001
0,3–0,5	0,410	0,935	3,093	0,153



**Рис. 8.** Моделирование распределения частиц по размерам в воздухе рабочей зоны при объединении производственных процессов в два кластера

**Fig. 8.** Modelling particle size distribution in workplace air when combining production processes into two clusters

Таблица 2

**Сводная статистика средних величин размеров частиц в воздухе рабочей зоны предприятий**  
**[Summary statistics of average particle size in the workplace air of plants]**

Статистические показатели [Statistic]	Производственные процессы [Production processes]					
	Литье металла [Metal casting]	Металлообработка [Metal processing]	Производство блоков [Block production]	Производство кирпича [Brick production]	Прессование МДФ [MDF pressing]	Фрезеровка МДФ [MDF milling]
Объем выборки, ед. [Valid, n]	4384	1585	1954	1796	1646	2162
Средняя арифметическая, мкм [Mean, $\mu\text{m}$ ]	1,55	5,32	2,32	3,26	2,17	1,90
Ошибка среднего значения, мкм [Std. error of mean, $\mu\text{m}$ ]	0,02	0,14	0,06	0,09	0,04	0,05
Точность определения средней арифметической, % [The accuracy of the arithmetic mean, %]	1,48	2,68	2,59	2,76	1,73	2,60
Доверительный (95%) интервал для генеральной средней, мкм [Confidence 95%, $\mu\text{m}$ ]	1,50–1,59	5,04–5,60	2,20–2,43	3,09–3,43	2,09–2,24	1,80–1,99
Медиана, мкм [Median, $\mu\text{m}$ ]	1,10	2,86	1,37	1,72	1,71	1,14
Мода, мкм [Mode, $\mu\text{m}$ ]	0,88	$\infty$	1,1	1,1	1,10	0,97
Частота встречаемости моды [Frequency of Mode]	159	24	66	44	35	87

Таким образом, наблюдается значительное отличие массовой и числовой концентрации пылевых частиц для двух цехов одного и того же предприятия, особенно для предприятий металлообрабатывающей и деревообрабатывающей промышленности (см. рис. 1, 2). И если доля наиболее объемной фракции взвешенных частиц (1,0–2,5 мкм) в цехах одного и того же предприятия практически одинакова, то доли остальных фракций при этом различаются, особенно заметно это для цехов предприятия по металлообработке и для цехов предприятия по деревообработке. Для предприятия по производству строительных материалов спектры размеров частиц для двух цехов наиболее близки.

Результаты описательной статистической обработки данных в наблюдаемых выборках показали, что средний диаметр взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны составил от 1,55 мкм в цехе литья до 5,32 мкм в цехе металлообработки (табл. 2). Во всех выборках, независимо от их объема, точность оценки средней составила менее 5%, что указывает на хороший уровень их репрезентативности при прогнозировании генеральных средних величин.

Для диаметра взвешенных частиц в пробах воздуха рабочей зоны цеха металлообработки были характерны значения размаха варьирования и дисперсии наибольшие, цеха фрезеровки – наименьшие (табл. 3). Оценка относительной изменчивости на основе коэффициента вариации показала, что размер частиц в воздухе рабочей зоны цехов литья и фрезеровки имеет очень высокую вариабельность по отношению к среднему значению, а остальных цехов – аномальную вариабельность. Все шесть рассматриваемых статистических совокупностей можно считать неоднородными.

Результаты численной оценки соответствия распределения наблюдаемых величин нормальному закону с помощью коэффициентов асимметрии и эксцесса представлены в табл. 4. Установлено, что во всех отобранных выборках коэффициенты Стьюдента значительно больше 3, следовательно, величины асимметрии и эксцесса статистически значимы, и при дальнейшем статистическом анализе данных предпочтительно применение непараметрических методов. Кривые распределения характеризуются правосторонней асимметрией и являются островершинными.

Попарное сравнение медианных значений в выборках с помощью теста Манна–Уитни показало, что самые существенные статистически значимые различия в размерах взвешенных частиц наблюдаются между цехами литья и металлообработки, наименее существенные – между цехами литья и производства блоков. В цехах производства кирпича и прессования изделий из МДФ, а также цехов производства блоков и фрезеровки диаметр частиц статистически не различается (табл. 5).

Таблица 3

**Сводная статистика вариации размера частиц в воздухе рабочей зоны предприятий**  
**[Summary statistics of particle size variation in the air of the working area of enterprises]**

Статистические показатели [Statistic]	Производственные процессы [Production processes]					
	Литье металла [Metal casting]	Металлообработка [Metal processing]	Производство блоков [Block production]	Производство кирпича [Brick production]	Прессование МДФ [MDF pressing]	Фрезеровка МДФ [MDF milling]
Минимум, мкм [Minimum, $\mu\text{m}$ ]	0,31	0,42	0,35	0,48	0,31	0,40
Максимум, мкм [Maximum, $\mu\text{m}$ ]	18,58	49,09	23,01	35,48	25,29	11,76
Размах варьирования, мкм [Range, $\mu\text{m}$ ]	18,27	48,67	22,66	35,00	24,98	11,36
Первый квартиль, мкм [Lower Quartile, $\mu\text{m}$ ]	0,84	1,41	1,01	1,10	0,88	1,10
Третий квартиль, мкм [Upper Quartile, $\mu\text{m}$ ]	1,54	7,29	2,27	3,76	1,72	2,69
Интерквартильный размах, мкм [Quartile Range, $\mu\text{m}$ ]	0,70	5,88	1,26	2,66	0,84	1,59
Стандартное отклонение, мкм [Standard deviation, $\mu\text{m}$ ]	1,52	5,68	2,59	3,73	2,29	1,52
Коэффициент вариации, % [Coefficient of variation, %]	98,02	106,87	111,85	114,38	120,91	70,29



**Статистический анализ формы вариационных рядов размеров частиц  
в воздухе рабочей зоны предприятий**  
[Statistical analysis of the shape of the variation series of particle sizes  
in the air of the working area of enterprises]

Статистические показатели [Statistic]	Производственные процессы [Production processes]					
	Литье металла [Metal casting]	Металлообработка [Metal processing]	Производство блоков [Block production]	Производство кирпича [Brick production]	Прессование МДФ [MDF pressing]	Фрезеровка МДФ [MDF milling]
Асимметрия [Skewness]	4,10	2,27	3,46	2,87	1,71	4,13
Ошибка асимметрии [Std. err. of skewness]	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05
Коэффициент Стьюдента [Student coefficient]	110,77	36,98	57,67	47,83	28,27	78,48
Эксцесс [Kurtosis]	21,71	7,37	15,64	11,50	3,22	23,27
Ошибка эксцесса [Std. err. of kurtosis]	0,07	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11
Коэффициент Стьюдента [Student coefficient]	293,65	59,97	142,18	95,83	26,75	221,10

Таблица 5

**Результаты теста Манна–Уитни при сравнении размера частиц  
в воздухе рабочей зоны цехов предприятий**  
[Result from Mann –Whitney test on comparing the particle size in the workplace air of plants]

Производственные процессы [Production processes]	Z-критерий [Z-score]					
	Литье металла [Metal casting]	Металлообработка [Metal processing]	Производство блоков [Block production]	Производство кирпича [Brick production]	Прессование МДФ [MDF pressing]	Фрезеровка МДФ [MDF milling]
Литье металла [Metal casting]		-36,27*	-8,12*	-20,73*	-21,63*	-9,18*
Металлообработка [Metal processing]	36,27*		28,76*	17,23*	17,87*	26,67*
Производство блоков [Block production]	8,12*	-28,76*		-12,57*	-12,84*	-1,76
Производство кирпича [Brick production]	20,73*	-17,23*	12,57*		0,22	10,00*
Прессование МДФ [MDF pressing]	21,63*	-17,87*	12,84*	-0,22		12,04*
Фрезеровка МДФ [MDF milling]	9,18*	-26,67*	-1,76	-10,00*	-12,04*	

Примечание: \*  $p < 0,05$ .

[Note: \*  $p < 0,05$ .]

## Заключение

Таким образом, массовая концентрация и количество взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны предприятий зависит от вида выпускаемой продукции и технологического процесса. Максимальная массовая концентрация твердых частиц выявлена в воздухе при фрезеровке МДФ, тогда как максимальное количество частиц – при литье металлических изделий и прессовании изделий из МДФ. Можно утверждать, что каждый из шести исследованных цехов специфичен как по массовой и числовой концентрации взвешенных частиц, так и по спектру размеров частиц. Поэтому кластеризация данных по спектру частиц показала, что в один кластер вошли цех прессования и цех металлообработки, а также из второго кластера наиболее близки оказались цех фрезеровки и цех литья, т.е. цеха предприятий разных отраслей промышленности.

Установлено, что частицы размерами 1–2,5 мкм являются наиболее распространенной фракцией в воздухе при производстве кирпичей и блоков, прессовании и фрезеровке изделий из МДФ, литье и обработке металлических изделий. Выявлено, что отличия фракционного состава взвешенных частиц в воздухе при различных производственных процессах на предприятиях металлообрабатывающей, деревообрабатывающей и строительной промышленности обусловлены прежде всего количеством частиц с диаметром 0,5–1 и 5–10 мкм.

Наиболее статистически значимые и существенные различия в размерах пылевидных частиц получены между цехами литья и металлообработки (т.е. цехами одного и того же предприятия), наименее существенные – между цехами литья и производства блоков (т.е. цехами предприятий разных отраслей промышленности). Это указывает на сложность прогнозирования дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны разных цехов и разных предприятий. Важен дисперсный анализ взвешенных частиц для каждого отдельно взятого рабочего места.

Приведенные исследования могут быть использованы для разработки нормативов предельно допустимых концентраций мелкодисперсных фракций взвешенных частиц при оценке условий труда и профессионального риска при конкретных технологических процессах.

## Библиографический список / References

Боровиков В.П., Боровиков И.П. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М., 1998. [Borovikov V.P., Borovikov I.P. Statisticheskii analiz i obrabotka dannykh v srede Windows [Statistical analysis and data processing in the Windows environment]. Moscow, 1998.]

Жукова А.А., Минец М.Л. Биометрия: В 3 ч. Ч. 1. Описательная статистика. Мн., 2019. [Zhukova A.A., Minec M.L. Biometriya [Biometrics]: In 3 vols. Vol. 3. Descriptive statistics. Minsk, 2019.]

Исследования наноразмерных частиц в составе промышленных аэрозолей и взвешенных веществ в воздухе рабочей зоны / Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Злобина А.В. и др. // Токсикологический вестник. 2017. № 1. С. 20–26. [Zaitseva N.V., Ulanova T.S., Zlobina A.V. et al. Investigation into nanoscale particles as part of industrial aerosols and particulate matter in the air of working area. *Toxicological Review*. 2017. Vol. 1. Pp. 20–26. (In Rus.)]

Механизм патологического действия многослойных углеродных нанотрубок с различным уровнем металлических примесей / Виткина Т.И., Янькова В.И., Гвозденко Т.А. и др. // Сибирский научный медицинский журнал. 2017. Т. 37. № 2. С. 5–11. [Vitkina T.I., Yankova V.I., Gvozdenko T.A. et al. Mechanisms of pathological effect of multilayer carbon nanotubes with different levels of metallic impurities. *Siberian Scientific Medical Journal*. 2017. Vol. 37. No. 2. Pp. 5–11. (In Rus.)]

Ответная реакция системы «перекисное окисление липидов – антиоксидантная защита» на комплексное воздействие природно-экологических факторов при заболеваниях органов дыхания / Янькова В.И., Веремчук Л.В., Виткина Т.И. и др. // Сибирский научный медицинский журнал. 2016. Т. 36. № 3. С. 94–102. [Yankova V.I., Veremchuk L.V., Vitkina T.I. et al. The response of the lipid peroxidation – antioxidant protection system on the complex impact of the environmental factors in respiratory diseases. *Siberian Scientific Medical Journal*. 2016. Vol. 36. No. 3. Pp. 94–102. (In Rus.)]

Световая микроскопия в оценке мелкодисперсных фракций взвешенных частиц в атмосферном воздухе городской среды / Колесник И.М., Юхневич Г.Г., Белова Е.А. и др. // Вестник ГрГУ. Серия 6. Техника. 2022. Т. 12. № 1. С. 36–50. [Kolesnik I.M., Yukhnevich G.G., Belova E.A. et al. Optical light microscopy in the determination of small fractions of suspended particles in the air of the urban environment. *Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science*. Vol. 12. 2022. No. 1. Pp. 36–50. (In Rus.)]

Уланова Т.С., Гилева О.В., Волкова М.В. Определение частиц микро- и нанодиапазона в воздухе рабочей зоны на предприятиях горнодобывающей промышленности // Анализ риска здоровью. 2015. № 4. С. 44–48. [Ulanova T.S., Gileva O.V., Volkova M.V. Determination of micro- and nanoparticles in the workplace area at the enterprises of mining industry. *Health Risk Analysis*. 2015. No. 4. Pp. 44–49. (In Rus.)]

Чомаева М.Н. Промышленная пыль как вредный производственный фактор // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2015. № 2 (10). С. 119–122. [Chomaeva M.N. Industrial dust as harmful factors. *National Security and Strategic Planning*. 2022. No. 2 (10). Pp. 119–122. (In Rus.)]

Янин Е.П. Промышленная пыль (разновидности, источники, химический состав) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2004. № 6. С. 2–107. [Yanin E.P. Industrial dust (varieties, sources, chemical composition). *Scientific and Technical Aspects of Environmental Protection*. 2004. No. 6. Pp. 2–107. (In Rus.)]

Amoatey P., Sicard P., De Marco A. et al. Long-term exposure to ambient PM<sub>2.5</sub> and impacts on health in Rome, Italy. *Clin. Epidemiol. Glob. Health.* 2020. No. 8. Pp. 531–535.

Chen G., Li S., Zhang Y. et al. Effects of ambient PM<sub>1</sub> air pollution on daily emergency hospital visits in China: An epidemiological study. *The Lancet Planetary Health.* 2017. No. 1. Pp. 221–229.

Mangia C., Cervino M., Russo A. et al. Effectiveness of an air quality intervention: An accountability study in a highly polluted industrial town. *Air Qual. Atmos. Health.* 2020. Vol. 13. Pp. 289–296.

Mate T., Guaita R., Pichiule M. et al. Short-term effect of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* 2010. Vol. 408. Pp. 5750–5757.

Vitkina T.I., Yankova V.I, Gvozdenko T.A. et al. The impact of multi-walled carbon nanotubes with different amount of metallic impurities on immunometabolic parameters in healthy volunteers. *Food and Chemical Toxicology.* 2016. Vol. 87. Pp. 138–147.

Yorifuji T., Kashima S., Doi H. Associations of acute exposure to fine and coarse particulate matter and mortality among older people in Tokyo, Japan. *Sci. Total Environ.* 2016. Vol. 542. Pp. 354–359.

Статья поступила в редакцию 13.02.2023, принята к публикации 05.05.2023  
The article was received on 13.02.2023, accepted for publication 05.05.2023

#### Сведения об авторах / About the authors

**Колесник Ирина Михайловна** – магистр биологических наук; старший преподаватель кафедры экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Беларусь

**Iryna M. Kalesnik** – MA (Biology); teacher at the Department of Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5365-4751>

E-mail: [i.kolesnik@grsu.by](mailto:i.kolesnik@grsu.by)

**Белова Екатерина Александровна** – старший преподаватель кафедры экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Беларусь

**Katerina A. Belova** – teacher at the Department of Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus

E-mail: [belova\\_ea@grsu.by](mailto:belova_ea@grsu.by)

**Юхневич Галина Геннадьевна** – кандидат биологических наук, доцент; заведующий кафедрой экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Беларусь

**Halina G. Yukhnevich** – Ph.D. (Biology); Head at the Department of Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus

E-mail: [guhnev@grsu.by](mailto:guhnev@grsu.by)

### Заявленный вклад авторов

**И.М. Колесник** – обработка данных, анализ и интерпретация результатов обработки данных, подготовка текста статьи

**Е.А. Белова** – анализ и интерпретация результатов обработки данных, участие в подготовке текста статьи

**Г.Г. Юхневич** – общее руководство направлением исследования, участие в подготовке текста статьи

### Contribution of the authors

**I.M. Kolesnik** – data processing, analysis and interpretation of data processing results, preparation of the article text

**E.A. Belova** – analysis and interpretation of data processing results, participation in the preparation of the text of the article

**G.G. Yukhnevich** – general management of the research direction, participation in the preparation of the text of the article

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

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-313-336

УДК 159.91

**О.Н. Ткаченко<sup>1</sup>, В.Б. Дорохов<sup>1</sup>, В.В. Дементенко<sup>2</sup>,  
Е.О. Гандина<sup>1</sup>, Г.Н. Арсеньев<sup>1</sup>, А.О. Таранов<sup>1</sup>,  
А.Н. Пучкова<sup>1</sup>, Д.Р. Бакирова<sup>1</sup>, Д.С. Свешников<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,  
117485 г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
125009 г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов,  
117198 г. Москва, Российская Федерация

## Несоответствие субъективных и объективных показателей самочувствия при выполнении монотонной операторской деятельности на фоне хронической депривации сна

Цель исследования – оценка психофизиологических предикторов качества выполнения монотонной деятельности на фоне хронического стресса и частичной депривации сна. В экспериментах принимали участие 14 испытуемых в возрасте 18–22 года. Каждый испытуемый участвовал в четырех экспериментальных сессиях с частично автоматизированным сценариями управления компьютерным симулятором вождения автомобиля: первый эксперимент (15 минут) – обучающая сессия в симуляторе, регистрация фона без депривации сна; второй эксперимент – депривация сна (90 минут), третий эксперимент – депривация сна и периодическое воздействие массажной вибронакидки (90 минут); четвертый эксперимент – депривация сна и периодическое распыление мятного масла из аромадиффузора (90 минут) . Раз в 3–7 минут от испытуемого

© Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б., Дементенко В.В., Гандина Е.О., Арсеньев Г.Н., Таранов А.О., Пучкова А.Н., Бакирова Д.Р., Свешников Д.С., 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

требовалось реагировать на два типа стимулов: 1) постепенно изменяющийся; 2) появляющийся неожиданно и требующий маневрирования. Интервалы между стимулами и порядок стимулов менялись случайным образом. Регистрировалась данные симулятора вождения автомобиля, электроэнцефалограмма по стандартной системе 10–20 с частотой дискретизации 1000 Гц, электрокардиограмма и кожно-гальваническая реакция. На мониторе перед испытуемым была закреплена трехмерная видеокамера, отслеживающая положение головы и изменения мимики испытуемого на протяжении эксперимента. Испытуемый проходил опросники на сонливость и общее самочувствие, также перед экспериментом тестировалось время реакции. По результатам опросников и выполнения тестов испытуемые находились в состоянии хронической депривации сна и хронического стресса. Статистически значимых различий между экспериментами после частичной депривации сна без дополнительного воздействия, с использованием массажной вибронакидки на кресло и периодическим распылением мятного масла раз в 10 минут обнаружить не удалось. Показатели степени закрытия глаз (PERCLOS) и спектральный индекс вариабельности сердечного ритма показали значительное статистически достоверное увеличение перед ошибками, однако имел место большой разброс значений, что, по нашему мнению, может быть связано с ошибками, вызванными отвлечением от выполнения задания на собственные мысли, а не засыпанием как таковым. Значения физиологических показателей перед ошибками указывают на различные причины ошибок в экспериментах без воздействия и с воздействием мятным маслом или массажной вибронакидкой.

**Ключевые слова:** депривация сна, частично автоматизированное вождение, ЭКГ, сонливость, видеотрекинг

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Российской академии наук и Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-29-06071.

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры нормальной физиологии Медицинского института Российского университета дружбы народов за организацию и помощь в проведении экспериментов.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Несоответствие субъективных и объективных показателей самочувствия при выполнении монотонной операторской деятельности на фоне хронической депривации сна / Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б., Дементенко В.В. и др. // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 3. С. 313–336. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-313-336



DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-313-336

**O.N. Tkachenko<sup>1</sup>, V.B. Dorokhov<sup>1</sup>, V.V. Dementienko<sup>2</sup>,  
E.O. Gandina<sup>1</sup>, G.N. Arsenyev<sup>1</sup>, A.O. Taranov<sup>1</sup>,  
A.N. Puchkova<sup>1</sup>, D.R. Bakirova<sup>1</sup>, D.S. Sveshnikov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology,  
Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 117485, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Radio Engineering and Electronics  
named after V.A. Kotelnikov RAS,  
Moscow, 125009, Russian Federation

<sup>3</sup> Peoples' Friendship University of Russia,  
Moscow, 117198, Russian Federation

## Discrepancy between subjective and objective health indicators when performing monotonous operator activities against the background of chronic sleep deprivation

The aim of the study was to investigate various psychophysiological predictors of the quality of monotonous activity performance against the background of sleep deprivation. Fourteen subjects aged 18–22 years took part in the experiments. Each subject participated in four experimental sessions with partially automated control scenarios in a computerized driving simulator: the first experiment (15 minutes) – training session in the simulator without sleep deprivation; the second experiment – sleep deprivation (90 minutes); the third experiment – sleep deprivation and periodic exposure to a massage seat cover (90 minutes); the fourth experiment – sleep deprivation and periodic spraying of peppermint oil from an aroma diffuser (90 minutes). Every 3–7 minutes, subjects were asked to respond to two types of stimuli: 1) gradually changing; 2) appearing unexpectedly and requiring maneuvering. Stimulus intervals and stimulus order were varied randomly. Car driving simulator data, electroencephalogram using the standard

10–20 system with a sampling rate of 1000 Hz, electrocardiogram and skin-galvanic response were recorded. A three-dimensional video camera was mounted on a monitor in front of the subject to track head position and changes of the subject's facial expressions throughout the experiment. Subjects completed questionnaires on sleepiness and general well-being, and reaction time was also tested before the experiment. According to the results of the questionnaires and test performance, the subjects were in a state of chronic sleep deprivation and chronic stress. No statistically significant differences between the experiments after partial sleep deprivation without additional stimulation, with the use of a massage seat cover and periodic spraying of peppermint oil every 10 minutes were seen. The eye closure rate (PERCLOS) and spectral index of heart rate variability showed a significant statistically reliable increase before errors. The values of physiological indices before errors indicate different causes of errors in experiments without and with exposure to peppermint oil or massage seat cover.

**Key words:** sleep deprivation, partially automated driving, ECG, sleepiness, video tracking

**Acknowledgments.** This work was supported by the Russian Academy of Sciences and the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 19-29-06071.

The authors are grateful to the staff of the Department of Normal Physiology, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, for organization and assistance in the experiments.

FOR CITATION: Tkachenko O.N., Dorokhov V.B., Dementienko V.V. et al. Discrepancy between subjective and objective health indicators when performing monotonous operator activities against the background of chronic sleep deprivation. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 3. Pp. 313–336. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-313-336

## Введение

Проблема аварийности на дорогах, очевидно, становится все острее с ростом автомобильного трафика. Так, по данным Всемирной организации здравоохранения, в ДТП ежегодно гибнет порядка 1,3 млн человек, а от 20 до 50 млн получают травмы, причем человеческий фактор ответственен приблизительно за 90% аварий<sup>1</sup>. На засыпание приходится от 20 до 25% ДТП с тяжелыми последствиями, а еще около 20% аварий могут быть связаны с отвлечением на мобильные телефоны [Morgan,

<sup>1</sup> WHO: Road traffic injuries. 2021. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (accessed: 22.05.2023).

Mannering, 2011; Weng, Meng, 2012]. В мегаполисах, где автомобильный трафик наиболее насыщен, жители страдают от светозвукового загрязнения, высокого уровня стресса и нередко находятся в состоянии хронической депривации сна. По данным исследования компании Amazfit с участием 2,9 млн респондентов, средняя продолжительность сна всех россиян составляет всего 6,83 ч, причем Москва и Московская область входят в тройку худших по этому показателю регионов (<https://trashbox.ru/link/2021-08-27-amazfit-sleep-study-russians>). При этом депривация сна (менее шести часов ночного сна перед вождением) повышает риск заснуть за рулем в 2,6 раза, а менее четырех часов сна – в 15 раз [Tefft, 2018].

В последние годы с развитием искусственного интеллекта на рынок выходят все более высокотехнологичные модели автомобилей. По данным Euromonitor International, в 2023 г. ожидается бум продаж высокоавтоматизированных автомобилей (рост на 216% по сравнению с 2022 г.), которые берут на себя управление в рутинных ситуациях<sup>2</sup>. В ряде исследований было показано, что уровень внимания в полуавтоматических транспортных средствах снижается быстрее, сонливость нарастает в течение 20–30 минут по сравнению с аналогичными дизайнами с полностью ручным управлением [Vogelpohl et al., 2018; Сравнение эффективности управления..., 2022].

Исследование литературы [Ткаченко, Дорохов, Дементьенко, 2020] показывает, что для улучшения уровня внимания и качества монотонной деятельности могут быть применены различные способы, в том числе вибромассажные накидки на кресло [Telpaz et al., 2015] или распыление эфирных масел, в частности, мятного [Mahachandra, Yassierli, Garnaby, 2015].

Целью нашего исследования была оценка психофизиологических предикторов качества выполнения монотонной деятельности на фоне хронического стресса и частичной депривации сна.

Задачами исследования были проверка эффективности периодического воздействия массажной вибронакидки и распыления мятного масла посредством аромадиффузора для повышения качества выполнения операторской деятельности, а также оценка возможности предсказания работоспособности испытуемого по предшествующему тестированию на время сенсомоторной реакции, времени сна в ночь перед экспериментом и субъективной оценке состояния.

<sup>2</sup> Top Three Automotive and Mobility Trends in 2023. Euromonitor International. URL: <https://www.euromonitor.com/article/top-three-automotive-and-mobility-trends-in-2023> (accessed: 22.06.2023).

## Методика

В экспериментах приняли участие 14 испытуемых в возрасте 18–22 лет без неврологических заболеваний. Испытуемые были студентами медицинской специальности с высокой учебной нагрузкой и хронической депривацией сна.

До и после каждой экспериментальной сессии регистрировались фоновые физиологические показатели: две минуты с открытыми и две минуты с закрытыми глазами.

Каждый испытуемый принял участие в четырех экспериментальных сессиях, промежутков между сессиями составлял от трех дней до трех недель.

1. Сессия без депривации сна, она же – ознакомительная (далее – эксперимент типа 0), длительность – 15 мин.

2. Сессия с депривацией сна: не более 4 часов сна в ночь перед экспериментом (далее – эксперимент типа 1), длительность – 90 мин.

3. Сессия с депривацией сна: не более 4 часов сна в ночь перед экспериментом и периодическим (раз в десять минут) подбуживающим воздействием массажной вибронакидки на кресло раз в 10 минут (далее – эксперимент типа 2), длительность – 90 мин.

3. Сессия с депривацией сна: не более 4 часов сна в ночь перед экспериментом и периодическим распылением мятного масла из аромадиффузора раз в 10 минут (далее – эксперимент типа 3), длительность – 90 мин.

Эксперименты проводили в дневное время, с 13 до 16 ч, в затемненной звукоизолированной комнате, оснащенной кондиционером, при температуре 23 °С, с промежутком между опытами от 2 до 7 дней. Перед серией экспериментов испытуемые проходили опросники «Питтсбургская шкала сонливости» и пятифакторный опросник личностных черт «Опросник Большой Пятерки». Перед каждой экспериментальной сессией они заполняли опросник «Шкала сонливости Эпворта», а до и после экспериментальной сессии – опросник «САН» (самочувствие – активность – настроение). Кроме того, перед исследованием проводилось тестирование времени реакции испытуемого на простые и усложненные неправильными подсказками стимулы на аппаратно-программном комплексе УПДК-МК (производство АО «Нейроком»), утвержденного для профессионального психофизиологического обследования машинистов поездов холдингом «Российские железные дороги (<https://neurocom.ru/products/professional-systems/updk-mk/>). В течение опыта велась регистрация данных по электроэнцефалограмме (ЭЭГ) по стандартной системе 10–20 с частотой дискретизации 1000 Гц, а также по электрокардиограмме (ЭКГ) и кожно-гальванической реакции (КГР) при помощи

аппаратно-программного комплекса NeoRecNVX36 (Medical Computer Systems, Зеленоград). Электроды подключались по монополярной схеме. Использовались высоко- и низкочастотный, а также режекторный фильтры (0,5, 35 и 50 Гц соответственно). На мониторе в комнате испытуемого была закреплена видеокамера, отслеживающая положение головы и изменения мимики испытуемого на протяжении эксперимента. Данные с симулятора вождения с частотой опроса 6 Гц заносились в лог-файл на компьютер испытуемого. Перед каждым экспериментом время на компьютерах испытуемого и экспериментатора синхронизировалось посредством подключения к удаленному серверу. Испытуемый во время эксперимента находился в кресле с подголовником на комфортном расстоянии от монитора и управлял симулятором посредством игровых руля и педалей.

Изображение в симуляторе представляло собой стилизованный вид от первого лица на четырехполосную дорогу, разделенную пунктирной разметкой. В отсутствие стимулов «автомобиль» не требовал управления от испытуемого и двигался по центру второй справа полосы со скоростью 60 км/ч. Испытуемый получал управление только в промежутки времени, когда от него требовалась реакция на событие. Скорость движения регулируется педалями в диапазоне 5–100 км/ч и отображается на спидометре в нижней части экрана.

В ходе движения могли происходить следующие события (по 9 событий каждого типа в одной экспериментальной сессии).

1. Постепенное покраснение полосы, по которой движется испытуемый, в течение десяти секунд. Требуемая реакция – съехать на любую соседнюю полосу; по прошествии десяти секунд вернуться на свою полосу и продолжить движение.

2. Появление на фиксированном расстоянии перед автомобилем (30 м) неподвижного препятствия в виде стилизованной фигурки пешехода. Требуемая реакция – объехать пешехода, вернуться на свою полосу и продолжить движение.

Время между событиями случайным образом варьировало от 3 до 7 мин., в среднем – 5 мин. Последовательность событий в начале каждой экспериментальной сессии задавалась случайным образом.

## **Предварительная обработка физиологических сигналов**

1. Видеоизображение лица испытуемого. На протяжении эксперимента обрабатывалось покадрово в программно-вычислительной среде Python Anaconda с использованием библиотеки OpenCV для Python и программного обеспечения собственной разработки коллектива.

Предварительно обученный алгоритм находил на изображении расположение лица испытуемого, а на нем, в свою очередь, выделял 68 точек, соответствующих положению контура лица, бровей, носа, губ, границ нижних и верхних век. После приведения обнаруженных точек лица к фронтальному ракурсу и стандартному размеру вычислялось расстояние от верхнего до нижнего века для обоих глаз, полученные значения усредняли. После этого производилось вычисление степени закрытия глаз на протяжении всего эксперимента: закрытием считались промежутки времени, когда расстояние между веками составляло менее  $\frac{1}{4}$  от медианного значения, включая как моргания, так и длительные закрывания глаз.

2. ЭЭГ. На протяжении эксперимента вручную размечалась экспертом на артефакты. Обработка ЭЭГ (вычисление спектральных характеристик), в частности, спектральный анализ и синхронизация с другими данными также производилась в программно-вычислительной среде Python Anaconda с использованием библиотеки mne и программного обеспечения собственной разработки коллектива.

3. ЭКГ. Разметка сокращений сердца производилась полуавтоматически, с последующим визуальным контролем эксперта. После разметки строился временной ряд последовательных RR-интервалов, который интерполировался для последующего спектрального анализа. Рассматривался максимум отношения низких частот к высоким, вычисленный за 2-минутный предшествующий интервал, где низкие частоты лежат в спектральном диапазоне 0,04–0,15 Гц, а высокие частоты – в диапазоне 0,15–0,5 Гц.

## Результаты

Опросник САН (самочувствие, активность, настроение)

Наблюдалась ярко выраженная связь между всеми оценками опросника САН: параметр «самочувствие» демонстрировал ярко выраженную прямую корреляцию с параметром «настроение» ( $r = 0,76$ ,  $p < 0,001$  до опыта,  $r = 0,77$ ,  $p < 0,001$  после опыта), и обратную – с параметром «самочувствие» ( $r = -0,74$ ,  $p < 0,001$  до опыта,  $r = -0,89$ ,  $p < 0,001$ ). В целом, это характеризует состояние экспериментальной выборки: высокие параметры активности отмечались в комбинации с плохим самочувствием и сниженным настроением, что может говорить о постоянном присутствии стресса и активации не за счет восстановления во сне, а за счет стрессового ответа организма. Об этом же говорит единственная общая для всех опытов тенденция изменения: увеличение параметра активности после опыта (табл. 1).

**Показания опросника САН до и после экспериментов**  
**[Wellbeing-Activity-Mood questionnaire scales before and after the experiments]**

Параметры [Parameter]		Контроль [Control, no sleep deprivation]		Опыты с депривацией сна [Sleep deprivation]					
				Без воздействия [No stimulation]		Вибронакидка [Massage seat cover]		Мятное масло [Peppermint oil]	
		Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
Самочувствие [Wellbeing]	До опыта [Before experiment]	3,2	0,7	3,8	1,2	3,8	1,0	4,0	1,0
Активность [Activity]		4,2	0,9	3,8	1,0	3,6	0,8	3,6	1,0
Настроение [Mood]		3,1	0,6	3,2	1,2	3,1	1,0	3,5	1,0
Самочувствие [Wellbeing]	После опыта [After experiment]	3,0	1,0	3,8	0,8	4,1	1,0	3,7	0,9
Активность [Activity]		4,5	1,3	4,0	0,9	3,7	0,8	4,0	0,8
Настроение Mood		2,7	1,0	3,4	0,9	3,5	0,9	3,2	0,9

Для анализа изменения самооощущения мы вычитали значения показателей «самочувствие», «активность», «настроение» в начале опыта из значений в конце, чтобы отрицательные значения изменения отвечали ухудшению состояния. В целом, изменения оценок были невелики и однонаправлены в контрольном опыте и в опытах без воздействия и с воздействием вибронакидки. Однако можно отметить отличие паттерна изменения оценок в опыте с воздействием мятного масла, где вместо однонаправленных изменений показатель активности улучшился, а настроения и самочувствия – ухудшился (рис. 1).

### Самооценка сонливости и время сна накануне

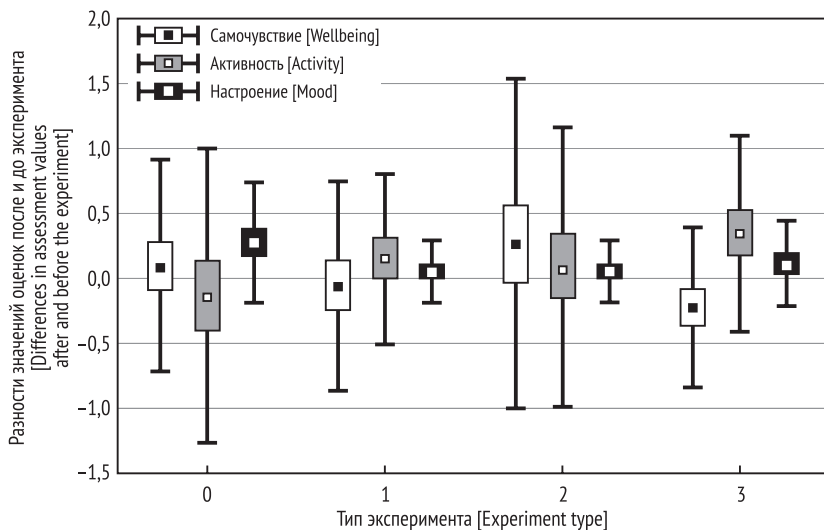
Время сна накануне эксперимента контролировалось актиграфом Condog, в качестве времени был отмечен период неподвижности и низкого освещения. Это оценка указывает верхнюю границу потенциального времени сна, добавляя к нему время неподвижного засыпания. Для эксперимента без депривации сна это период составил  $394,5 \pm 94,88$  мин (от 4 до 8 ч, в среднем около 6,5 ч); в опытах с депривацией –  $246,9 \pm 16,7$  мин (без воздействия),  $247,8 \pm 20,35$  мин (вибронакидка),  $242,5 \pm 14,6$  мин (мятное масло), что говорит о четком соблюдении требований к депривации сна (не более 4 ч сна) и в среднем недостаточном привычном времени ночного сна (6,5 ч).

Участники исследования перед началом опыта должны были отчитаться о собственной сонливости. В контрольном опыте без депривации сна оценка составила  $4,3 \pm 1,42$ , в опыте с депривацией и без воздействия –  $5,23 \pm 2,09$ ; в опыте с вибронакидкой –  $5,29 \pm 1,94$ ; в опыте с мятным маслом –  $4,93 \pm 1,59$ . Как и ожидалось, оценки после депривации сна были выше, чем без нее, однако различия не достигли уровня статистической значимости из-за достаточно высокой оценки сонливости без депривации сна.

Субъективная оценка сонливости не коррелировала с реальным временем сна накануне. Однако количество сна коррелировало с другими субъективными параметрами перед началом опыта: с активностью ( $r = 0,28$ ,  $p < 0,05$ ) до опыта и всеми оценками после опыта (самочувствие:  $r = -0,38$ ,  $p < 0,01$ , активность:  $r = 0,33$ ,  $p < 0,05$ ; настроение:  $r = -0,40$ ,  $p < 0,01$ ).

Отсутствие связи времени сна и сонливости, а также малое количество сна накануне опыта без депривации указывает, что представители данной выборки испытуемых испытывали хронический недостаток сна, в котором нарушается способность объективно оценивать собственную сонливость и работоспособность [Powell, 2010]. Связь времени сна с субъективными оценками САН после опыта может говорить о большем вкладе депривации сна не в изначальное состояние испытуемых, но в изменение самооощущения после нагрузки.





**Рис. 1.** Изменение оценки самочувствия, активности и настроения после проведения экспериментов

Тип эксперимента: 0 – контрольный опыт без депривации сна; 1 – без воздействия, опыт с депривацией сна; 2 – воздействие вибронакидки, опыт с депривацией сна; 3 – воздействие запаха эфирного масла мяты перечной, опыт с депривацией сна

**Fig. 1.** Changes in Wellbeing, Activity and Mood scales after experiments

Type of experiment: 0 – control experiment without sleep deprivation; 1 – no impact, experience with sleep deprivation; 2 – impact of vibronacid, experience with sleep deprivation; 3 – exposure to the smell of peppermint essential oil, experience with sleep deprivation

### Тестирование на комплексе УПДК и ошибки в симуляторе

Перед началом каждого опыта испытуемые проходили тестирование простой и сложной сенсомоторной реакции на комплексе УПДК. Ни время реакции, ни количество ошибок в среднем не изменились от опыта к опыту, и депривация сна не оказала влияния на выполнение этих тестов (табл. 2). Время реакции показало обратную корреляцию с показателем активности по опроснику САН ( $r = -0,33$ ,  $p < 0,05$  – с активностью до опыта;  $r = -0,39$ ,  $p < 0,01$  – с активностью после опыта), прямую корреляцию с показателем настроения после опыта ( $r = 0,44$ ,  $p < 0,01$ ), значимой связи со временем сна обнаружено не было.

Количество совершенных в симуляторе ошибок значимо не менялось от опыта к опыту ( $1,91 \pm 1,93$  в опыте без воздействия,  $2,50 \pm 2,03$  в опыте с вибронакидкой и с мятным маслом).

Таблица 2

**Время реакции и количество ошибок в психомоторном тесте на комплексе УПДК перед каждым опытом**  
**[Reaction time and number of errors in the psychomotor test on the UPK complex before each experiment]**

	Тип эксперимента [Experiment type]	Средний балл времени реакции [Mean reaction time]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
<i>Простая психомоторная реакция [Simple psychomotor test]</i>			
Время реакции, с [Reaction time, s]	Контроль без депривации [Control, no sleep deprivation]	1,57	0,14
Количество ошибок [Number of errors]		3,60	3,67
Время реакции, с [Reaction time, s]	Без воздействия [No impact, experience with sleep deprivation]	1,52	0,15
Количество ошибок [Number of errors]		3,69	2,53
Время реакции, с [Reaction time, s]	Вибронакидка [Impact of vibronacid, experience with sleep deprivation]	1,52	0,16
Количество ошибок [Number of errors]		3,57	2,37
Время реакции, с [Reaction time, s]	Мятное масло [Exposure to the smell of peppermint essential oil, experience with sleep deprivation]	1,55	0,14
Количество ошибок [Number of errors]		4,07	3,75
<i>Психомоторная реакция в тесте с дистрактором [Psychomotor test with distraction]</i>			
Время реакции, с [Reaction time, s]	Контроль без депривации [Control, no sleep deprivation]	0,74	0,15
Количество ошибок [Number of errors]		1,50	1,90
Время реакции, с [Reaction time, s]	Без воздействия [No impact, experience with sleep deprivation]	0,74	0,15
Количество ошибок [Number of errors]		1,73	1,28
Время реакции, с [Reaction time, s]	Вибронакидка [Impact of vibronacid, experience with sleep deprivation]	0,76	0,12
Количество ошибок [Number of errors]		2,38	2,10
Время реакции, с [Reaction time, s]	Мятное масло [Exposure to the smell of peppermint essential oil, experience with sleep deprivation]	0,82	0,18
Количество ошибок [Number of errors]		3,0	2,63

Времена реакции на два типа препятствий продемонстрировали противоположные тенденции. Реакция на плавно возникающее препятствие (покраснение дороги) была самой быстрой в опыте без воздействия, замедлялась в опыте с вибронакидкой и была максимальной в опыте с мятным маслом. В случае остановки перед внезапно возникающим пешеходом расстояние остановки было больше в опытах с воздействием, а в опыте без воздействия – минимальным (медленная реакция) (табл. 3). Между собой эти параметры реакции не коррелировали.

С количеством совершенных за опыт ошибок коррелировало только среднее время реакции на плавно появляющееся препятствие ( $r = 0,78, p < 0,001$ ), значимая корреляция сохранялась и при анализе опытов с разными типами воздействия по отдельности (без воздействия:  $r = 0,65, p < 0,05$ ; вибронакидка:  $r = 0,79, p < 0,01$ ; мятное масло:  $r = 0,90, p < 0,001$ ). Видимо, именно неспособность испытуемого в ходе опыта адекватно отреагировать даже на небыстро появившееся препятствие наиболее ярко отражала повышение уровня сонливости или отвлечение от выполнения задания, которые сопровождали ошибки.

#### Индекс вариабельности сердечного ритма

Индекс вариабельности сердечного ритма (ВСР) отражает медленные изменения в балансе активности симпатической и парасимпатической нервной системы. Для оценки этого параметра требуется сбор данных не менее чем в течение одной минуты, но он позволяет оценить общий тонус нервной системы. Во всех опытах, включая контрольный без депривации сна, наблюдалось небольшое повышение этого параметра в ходе опыта (сравнение показателя ВСР в начале опыта и за все время вождения, дисперсионный анализ с повторными измерениями,  $F(1,37) = 16,71, p < 0,001$ ).

Во всех опытах в течение минуты перед совершением ошибки наблюдалось крайне выраженное и значимое повышение этого параметра (сравнение индекса в ходе работы и перед ошибкой, дисперсионный анализ с повторными измерениями,  $F(1,36) = 54,67, p < 0,001$ ), что свидетельствует о значительной активации симпатической нервной системы (значения индекса см. табл. 4). Различия в индексе ВСР между периодом перед ошибкой и всем временем работы были наибольшими в опыте 1 ( $8,17 \pm 6,54$ ) и практически одинаковыми в опытах с вибронакидкой ( $6,30 \pm 6,89$ ) и мятным маслом ( $6,37 \pm 4,09$ ), хотя эта разница не имела статистической значимости.

Таблица 3

**Количество совершенных ошибок и параметры реакции на два типа препятствий  
в симуляторе вождения при различных типах воздействия**  
**[Number of errors made and response parameters for the two types of events  
in the driving simulator under different types of stimulation]**

	Без воздействия [No impact, experience with sleep deprivation]		Вибронакидка [Impact of vibronacid, experience with sleep deprivation]		Мятное масло [Exposure to the smell of peppermint essential oil, experience with sleep deprivation]	
	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
Количество ошибок в опыте [Number of errors]	2,00	1,88	2,50	2,03	2,50	2,03
Время реакции на покраснение дороги, с [Reaction time, event type 1, s]	2,30	0,92	2,72	1,16	3,19	1,46
Дистанция остановки перед пешеходом, м [Distance between car and pedestrian, event type 2, m]	1,67	0,25	2,37	1,20	2,50	1,71

Активность в спектральном диапазоне низких частот ВСП ассоциируют с симпатической нервной системой, однако на нее также влияет парасимпатическая нервная система. Активность в диапазоне высоких частот подвержена только влиянию парасимпатической нервной системы. Чтобы учесть это, используют отношение низких частот к высоким.

Переход от бодрствования ко сну сопровождается снижением активности симпатической нервной системы и усилением парасимпатической [Vincente et al., 2016]. Резкое снижение этого показателя интерпретируется как признак приближающегося засыпания. В исследовании [Shiner et al., 2006] снижение значения отношения низких частот к высоким наступало в течение 10 минут, предшествующих засыпанию, однако у испытуемых, страдающих обструктивным апноэ сна, картина несколько отличалась. Иногда падение значения отношения низких частот к высоким случается даже после установления первой стадии сна, определенной по ЭКГ.

Однако если человек активно борется с засыпанием, у него усиливается активность симпатической нервной системы, что наблюдалось в случае нашего исследования.

### Индекс закрытия глаз

Во всех опытах, включая контрольный, не было обнаружено значимого изменения индекса закрытия глаз (PERCLOS). Как при сравнении индекса в первые две минуты работы и за все время опыта, так и во всех опытах с депривацией сна наблюдалось значительное увеличение этого параметра перед совершением ошибки, при этом тип воздействия не оказывал значимого влияния на уровень закрытия глаз (дисперсионный анализ с повторными измерениями,  $F(1,36) = 71,36$ ,  $p < 0,001$ ), в среднем в ходе опыта этот показатель составлял 0,12, а перед совершением ошибки – 0,65 (табл. 5).

У ряда испытуемых перед совершением ошибки глаза были закрыты (PERCLOS = 1), и чаще высокий уровень индекса закрытия глаз встречался в опытах с воздействием, чем без него, хотя средние значения по опытам и не демонстрируют значимых различий. Данный параметр важен для разделения ошибок, совершенных по невниманию и в силу засыпания, поскольку при отвлечении он может остаться неизменным. В случае проведенных экспериментов значительная часть ошибок была обусловлена именно дремотой и засыпанием.

Таблица 4

**Значение индекса variability сердечного ритма в опытах с различными типами воздействия**  
**[Value of heart rate variability index in experiments with different types of stimulation]**

Индекс variability сердечного ритма [Heart rate variability index]	Без воздействия [No impact, experience with sleep deprivation]		Вибронакидка [Impact of vibronacid, experience with sleep deprivation]		Мятное масло [Exposure to the smell of peppermint essential oil, experience with sleep deprivation]	
	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
В первые две минуты работы [First two minutes after experiment start]	3,03	2,07	3,30	2,39	4,23	2,75
В течение минуты перед ошибкой [1 minute before error]	<b>12,24</b>	<b>7,79</b>	<b>10,69</b>	<b>7,76</b>	<b>11,20</b>	<b>5,10</b>
За все время работы [All experiment time]	4,07	1,75	4,63	1,85	4,82	1,78

Таблица 5

**Значения индекса уровня закрытия глаз в опытах с различными типами воздействия**  
**[Eye closure level index values in experiments with different types of stimulation]**

	Без воздействия [No impact, experience with sleep deprivation]		Вибронакидка [Impact of vibronacid, experience with sleep deprivation]		Мятное масло [Exposure to the smell of peppermint essential oil, experience with sleep deprivation]	
	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean reaction time]	Стандартное отклонение [Standard deviation]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
В начале работы [First two minutes after experiment start]	0,13	0,074	0,11	0,052	0,12	0,06
За все время работы [All experiment time]	0,13	0,06	0,12	0,054	0,12	0,05
В течение минуты перед ошибкой [1 minute before error]	<b>0,49</b>	<b>0,44</b>	<b>0,78</b>	<b>0,38</b>	<b>0,70</b>	0,35

## Обсуждение

Результаты серии экспериментов, сравнивавших эффекты воздействия вибронакидки на кресло водителя, запаха мяты перечной и отсутствие воздействия на фоне острой депривации сна на самочувствие и эффективность работы при выполнении монотонной операторской деятельности, представлены в приложении к отчету.

Соотнесение различных оценок поведения, психофизиологических параметров и самооценки испытуемых перед опытом, в ходе работы и перед совершением ошибок позволяет описать состояние участвовавших в серии экспериментов испытуемых. Высокие параметры субъективной активности отмечались в комбинации с плохим самочувствием и сниженным настроением, что может говорить о постоянном присутствии стресса и активации не за счет восстановления во сне, а за счет стрессового ответа организма. Соотношение параметров самооценки самочувствия, активности и настроения, а также данные о сне перед опытом без депривации сна (в среднем 6,5 ч) говорят о хроническом недостатке сна и дополнительной острой депривации сна в основной серии экспериментов. Количество сна не соответствовало субъективно воспринимаемой сонливости, но отражалось в активности и во всех субъективных оценках состояния после нагрузки (проведенного эксперимента). Диссоциация реального времени сна ночью, уровня субъективной сонливости и самочувствия характерна для ситуаций хронической депривации сна и стресса и является фактором риска при вождении.

Дополнительная депривация сна не влияла на выполнение психомоторных тестов на комплекс УПДК, и уровень ошибок был достаточно высоким уже в контрольном опыте без депривации сна. Таким образом, комплекс не мог служить для отличия условий острой и хронической депривации сна. Также полученные с его помощью данные реакций не соотносились с эффективностью работы в автосимуляторе.

В рамках опыта среднее время реакции на медленно появившееся препятствие (покраснение дороги) коррелировало с общим числом ошибок в автосимуляторе.

Индекс ВСР продемонстрировал дополнительную активацию симпатической нервной системы в ходе работы по сравнению с началом опыта, что отражает преобладание активности симпатической нервной системы над парасимпатической и стрессирующее воздействие опыта на испытуемых. Значительный дополнительный рост этого индекса наблюдался



перед совершением ошибки, в особенности в опыте без воздействия, где также наблюдался наименьший индекс закрытия глаз среди опытов с депривацией сна. Эти тенденции могут указывать на различия в причинах совершенных в опытах с воздействием и без него ошибок.

В опыте без воздействия более выраженная симпатическая активация, выраженный альфа-ритм и относительно невысокий уровень PERCLOS перед совершением ошибок указывает на то, что многие из них были совершены по невнимательности, в результате отвлечения от задания. В опытах с действием вибронакидки или мятного масла перед ошибкой индекс закрытия глаз был выше, изменение индекса ЭЭГ альфа/бета и индекса ВСР – не таким выраженным. Суммарно это может говорить о переходе к дреме, где альфа-ритм начинает угасать, тета-ритм генерализуется и сигнализирует о начале перехода ко сну, и симпатическая активация становится недостаточной для борьбы со сном. Для этого может быть две причины: либо воздействия вибрации и запаха перечной мяты воспринимались как расслабляющие, и испытуемые легче переходили от отвлечения к засыпанию, либо испытуемые снижали самоконтроль над уровнем бодрствования, полагаясь на внешние сигналы для активации. Однако воздействие не было подстроено под моменты засыпания, и снижение контроля также приводило к более частому засыпанию.

Такие различия в реакциях испытуемых в данной серии опытов от полученных результатов и «ухудшение» реакций на потенциально активирующее воздействие вибрации или запаха, скорее всего, обусловлены высоким уровнем психофизиологического стресса, вызванного в том числе депривацией сна, у участвовавших в исследовании студентов медицинских специальностей.

Несмотря на различия в психофизиологических параметрах, во всех условиях суммарное количество ошибок, независимо от их причин, оставалось приблизительно одинаковым. По стабильным данным всех тестов перед опытами мы видели, что исходное состояние во всех трех опытах для всех испытуемых было близким, и, видимо, оно провоцировало близкое количество периодов сниженного уровня бодрствования в ходе работы в автосимуляторе. Но без воздействия испытуемые боролись со сном, и сниженный уровень бдительности часто приводил к отвлечению от задания, а воздействия косвенно провоцировали дополнительное снижение этого уровня и задремывание.

Различие ошибок по психофизиологическим характеристикам и причинам (отвлечение или засыпание) при сходстве их на поведенческом

уровне и потенциальной опасности последствий указывает на невозможность использования «универсального» психофизиологического индекса для детекции периодов высокого риска совершения ошибки: различные индексы могут быть более чувствительны к засыпанию или к отвлечению.

## Выводы

1. По результатам опросников и выполнения тестов испытуемые находились в состоянии хронической депривации сна и хронического стресса.

2. На задействованной выборке испытуемых не удалось обнаружить статистически значимых различий между экспериментами после частичной депривации сна без дополнительного воздействия, с использованием массажной вибронакидки на кресло и периодическим распылением мятного масла раз в 10 минут.

3. Показатели PERCLOS и спектральный индекс BCP показали значительное статистически достоверное увеличение перед ошибками, однако имел место большой разброс значений, что, по нашему мнению, может быть связано с ошибками, вызванными отвлечением от выполнения задания на собственные мысли, а не засыпанием как таковым.

4. Значения физиологических показателей перед ошибками указывают на различные причины ошибок в экспериментах без воздействия, с одной стороны, и с воздействием вибромассажной накидки и мятного масла – с другой.

## Библиографический список / References

Сравнение эффективности управления симулятором вождения автомобиля в ручном и полуавтоматическом режимах: поведенческий и физиологический анализ / Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б., Дементенко В.В. и др. // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 1. С. 62–80. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-1-62-80 [Tkachenko O.N., Dorokhov V.B., Dementienko V.V. et al. Comparison of driving simulator efficiency in semi-automatic and handdriving modes: Behavioral and physiological analysis. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 1. Pp. 62–80. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-1-62-80]

Ткаченко О.Н., Дорохов В.Б., Дементенко В.В. Психофизиологические аспекты поддержания оптимального уровня внимания водителей при частично автоматизированном вождении автомобиля // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 4. С. 482–509. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-482-509

[Tkachenko O.N., Dorokhov V.B., Dementienko V.V. Psychophysiological aspects of maintaining drivers' optimal attention level while driving semiautonomous cars. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 482–509. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-4-482-509]

Mahachandra M., Yassierli, Garnaby E.D. The effectiveness of in-vehicle peppermint fragrance to maintain car driver's alertness. *Procedia Manufacturing*. 2015. Vol. 4. Pp. 471–477. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.11.064

Morgan A., Mannering F.L. The effects of road-surface conditions, age, and gender on driver-injury severities. *Accident Analysis & Prevention*. 2011. September. No. 43 (5). Pp. 1852–1863. DOI: 10.1016/j.aap.2011.04.024

Powell N.B., Chau J.K. Sleepy driving. *Medical Clinics of North America*. 2010. May. No. 94 (3). Pp. 531–40. DOI: 10.1016/j.mcna.2010.02.002.

Shiner Z., Akselrod S., Dagan Y., Baharav A. Autonomic changes during wake-sleep transition: A heart rate variability based approach. *Autonomic Neuroscience*. 2006. Vol. 130. No. 1–2. Pp. 17–27.

Tefft B.C. Acute sleep deprivation and culpable motor vehicle crash involvement. *Sleep*. 2018. Vol. 1. No. 41. Is. 10. DOI: 10.1093/sleep/zsy144.

Telpaz A., Rhindress B., Zelman I., Tsimhoni O. Haptic seat for automated driving. *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. 2015. Pp. 23–30. DOI: 10.1145/2799250.2799267

Vicente J., Laguna P., Bartra A., Bailon R. Drowsiness detection using heart rate variability. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 2016. Vol. 54. No. 6. Pp. 927–937.

Vogelpohl T., Kühn M., Hummel T., Vollrath M. Asleep at the automated wheel – Sleepiness and fatigue during highly automated driving. *Accident; Analysis and Prevention*. 2018. Vol. 126. Pp. 70–84. DOI: 10.1016/j.aap.2018.03.013

Weng J., Meng Q. Effects of environment, vehicle and driver characteristics on risky driving behavior at work zones. *Safety Science*. 2012. Vol. 50. No. 4. Pp. 1034–1042. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.12.005

Статья поступила в редакцию 10.05.2023, принята к публикации 12.07.2023

The article was received on 10.05.2023, accepted for publication 19.07.2023

## Сведения об авторах / About the authors

**Ткаченко Ольга Николаевна** – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Olga N. Tkachenko** – PhD in Biology; research fellow at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5100-8980>

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

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

**Vladimir B. Dorokhov** – Dr. Hab. in Biology; head at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3533-9496>

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

**Дементиев Валерий Васильевич** – доктор технических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории медицинской электроники, Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН, г. Москва

**Valeriy V. Dementienko** – Dr. Hab. in Engineering Science; leading research fellow at the Laboratory of Medical Electronics, Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0488-7334>

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

**Гандина Евгения Олеговна** – младший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Eugenia O. Gandina** – junior research fellow at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7803-0873>

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

**Арсеньев Глеб Николаевич** – младший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Gleb N. Arsenyev** – junior research fellow at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3723-7354>

E-mail: [byron100z@gmail.com](mailto:byron100z@gmail.com)

**Таранов Антон Олегович** – младший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Anton O. Taranov** – junior research fellow at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4905-8249>

E-mail: [psy.msu.ru@gmail.com](mailto:psy.msu.ru@gmail.com)

**Пучкова Александра Николаевна** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Alexandra N. Puchkova** – PhD in Biology; senior research fellow at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Science, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2292-6475>

E-mail: puchkovaan@gmail.com

**Бакирова Диана Руслановна** – лаборант лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Diana R. Bakirova** – research assistant at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2057-4269>

E-mail: dianabakirova1996@yandex.ru

**Свешников Дмитрий Сергеевич** – доктор медицинских наук; доцент кафедры нормальной физиологии Медицинского института, Российский университет дружбы народов, г. Москва

**Dmitriy S. Sveshnikov** – Dr. Hab. in Medical Sciences; Associate Professor at the Department of Normal Physiology of the Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1050-7871>

E-mail: sveshnikov\_ds@rudn.university

#### Заявленный вклад авторов

**О.Н. Ткаченко** – общее руководство, разработка дизайна эксперимента, анализ данных, участие в написании статьи

**В.Б. Дорохов** – разработка дизайна эксперимента, анализ данных, участие в написании статьи

**В.В. Дементьенко** – обработка данных УПДК, анализ данных, участие в написании статьи

**Е.О. Гандина** – проведение экспериментов

**Г.Н. Арсеньев** – проведение экспериментов, техническое обслуживание экспериментальной установки

**А.О. Таранов** – проведение экспериментов, обработка данных опросников

**А.Н. Пучкова** – проведение экспериментов, анализ данных

**Д.Р. Бакирова** – проведение экспериментов

**Д.С. Свешников** – организация проведения экспериментов

### Contribution of the authors

**O.N. Tkachenko** – general guidance, development of the design of the experiment, data analysis, participation in writing the article

**V.B. Dorokhov** – development of the design of the experiment, data analysis, participation in the writing of the article

**V.V. Dementienko** – data processing of the UPDK, data analysis, participation in writing the article

**E.O. Gandina** – conducting experiments

**G.N. Arseniev** – conducting experiments, maintenance of the experimental facility

**A.O. Taranov** – conducting experiments, processing questionnaire data

**A.N. Puchkova** – conducting experiments, data analysis

**D.R. Bakirova** – conducting experiments

**D.S. Sveshnikov** – organization of experiments

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

# ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

## Тематика журнала

Журнал «Социально-экологические технологии» специализируется на всестороннем и объективном освещении вопросов экологии: проблемам взаимоотношений организма и среды, человека и природы.

*Тематика журнала* – экологические исследования в ботанике, зоологии, почвоведении, географии, также публикуются материалы, посвященные экологии человека (физиология, психогенетика, адаптивные способности организма человека).

Для публикации принимаются научные статьи, отражающие результаты оригинальных исследований, а также обзоры и рецензии, информация о программах и совещаниях, о деятельности учреждений, общественных организаций и отдельных специалистов в России и за ее пределами.

## Редакционная политика

Редакции журнала не интересны материалы, основанные на компиляции давно известных фактов! Это не может считаться научной статьей!

Все присланные материалы проверяются при помощи программы «Антиплагиат». В разделах «Результаты», «Выводы» оригинальность должна превышать 80%. Специфика разделов «Введение», «Материалы и методы» позволяет снизить этот показатель до 60%.

*Журнал строго следит за соблюдением следующих положений этики научных публикаций*

Автор не должен публиковать рукопись, по большей части посвященную одному и тому же исследованию, более чем в одном журнале как оригинальную публикацию.

Представление одной и той же рукописи одновременно более чем в один журнал воспринимается как неэтичное поведение и неприемлемо.

Авторами публикации могут выступать только лица, которые внесли значительный вклад в формирование замысла работы, разработку, исполнение или интерпретацию представленного исследования. Все те, кто внес значительный вклад, должны быть обозначены как соавторы. В тех случаях, когда участники исследования внесли существенный вклад по определенному направлению в исследовательском проекте, они должны быть указаны как лица, внесшие значительный вклад в данное исследование (в сноске).

Нельзя представлять в качестве соавторов те, кто не участвовал в исследовании. Все соавторы должны одобрить окончательную версию работы и согласиться с представлением ее к публикации.

## Рецензирование

Помогает членам редакционной коллегии принять решение о публикации и, при соответствующем взаимодействии с автором, также может помочь ему повысить качество работы. Таким образом, рецензирование – не просто инструмент отбора, но и средство, повышающее научный уровень статьи.

Кроме того, рецензент выявляет значимые опубликованные работы, соответствующие теме и не включенные в библиографию к рукописи. На любое утверждение (наблюдение, вывод или аргумент), опубликованное ранее, в рукописи должна быть соответствующая библиографическая ссылка. Рецензент также обращает внимание редакционной коллегии на обнаружение существенного сходства или совпадения между рассматриваемой рукописью и любой другой опубликованной работой, находящейся в сфере его научной компетенции.

Авторы доклада об оригинальном исследовании должны предоставлять достоверные результаты проделанной работы, как и объективное обсуждение значимости исследования. Данные, лежащие в основе работы, должны быть представлены безошибочно. Работа должна содержать достаточно деталей и библиографических ссылок для возможного воспроизведения. Ложные или заведомо ошибочные утверждения воспринимаются как неэтичное поведение и неприемлемы.

Обзоры также должны быть объективными, точка зрения автора должна быть четко обозначена.

## Плата за публикацию

Редакция не взимает с авторов плату за подготовку, размещение и печать материалов.

## Язык публикаций

Журнал принимает к рассмотрению и публикует материалы на русском и английском языках.

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. № 3

---

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 29.09.2023.  
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Liberation Serif».  
Объем 6 п. л. Тираж 1000 экз.