



**Вестник Российского университета дружбы народов.**

**Серия: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

2022 Том 30 № 2

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-2

<http://journals.rudn.ru/ecology>

**Научный журнал**

**Издается с 1993 г.**

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

**Свидетельство о регистрации** ПИ № ФС 77-61176 от 30.03.2015 г.

**Учредитель:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

**Главный редактор**

**Савенкова Елена Викторовна**, доктор экономических наук, профессор, директор Института экологии и Международного института стратегического развития отраслевых экономик, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Заместители главного редактора**

**Харченко Сергей Григорьевич**, доктор физико-математических наук, действительный член Российской академии естественных наук, Академии военных наук, Российской экологической академии, Нью-Йоркской академии наук, Международного общества по анализу риска, главный научный сотрудник Института экологии, профессор кафедры математических методов в экономике, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Редина Маргарита Михайловна**, доктор экономических наук, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Ответственный секретарь редколлегии**

**Ледаццева Татьяна Николаевна**, кандидат физико-математических наук, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Члены редакционной коллегии**

**Аньези Валерио**, профессор, директор Итало-Российского экологического института, Университет Палермо, Палермо, Италия

**Валеева Наиля Гарифовна**, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой иностранных языков, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Ванг Дели**, профессор, декан школы наук об окружающей среде, Северо-Восточный педагогический университет, Чанчунь, Китай

**Джан Шупинь**, доктор наук, профессор, Шандуньский университет, Цзинань, Китай

**Калабин Геннадий Александрович**, доктор химических наук, профессор, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Розенберг Геннадий Самуилович**, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, главный научный сотрудник Института экологии Волжского бассейна, Самарский федеральный исследовательский центр, Российская академия наук, Тольятти, Россия

**Савин Игорь Юрьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заместитель директора Почвенного института имени В.В. Докучаева, Российская академия наук, профессор департамента рационального природопользования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Садьков Владислав Александрович**, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией катализаторов глубокого окисления, Институт катализа имени Г.К. Борескова, Сибирское отделение Российской академии наук, отдел гетерогенного катализа, Новосибирск, Россия

**Сосунова Ирина Александровна**, доктор социологических наук, профессор, вице-президент Российского общества социологов, Москва, Россия

**Хаустов Александр Петрович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Широкова Вера Александровна**, доктор географических наук, профессор, заведующий отделом истории наук о Земле, Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова, Российская академия наук, Москва, Россия

## ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. Серия: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ISSN 2313-2310 (Print); ISSN 2408-8919 (Online)

4 выпуска в год (ежеквартально)

Языки: русский, английский.

Индексация: РИНЦ, ВАК, EBSCOhost, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View, Cyberleninka, Dimensions.

### Цели и тематика

Целями журнала «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности» является повышение эффективности научных исследований в области охраны окружающей среды и экологии человека, а также распространение современных методов исследований и новейших достижений в области рационального природопользования.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ по научным специальностям 1.5.15. Экология (биологические науки), 1.5.15. Экология (технические науки), 1.6.21. Геоэкология (географические науки), 1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические науки), 1.6.21. Геоэкология (технические науки).

Начиная с 1993 г. в журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных работ ученых, преподавателей, аспирантов в виде научных статей, научных сообщений, библиографических обзоров по следующим направлениям: общая экология, природопользование, устойчивое развитие, экологическая безопасность, защита окружающей среды, экология человека, экологическая экспертиза, радиоэкология и радиационный контроль, оценка состояния окружающей среды и экологическое образование.

В журнале могут публиковаться результаты оригинальных научных исследований представителей высших учебных заведений и научных центров России и зарубежных стран в виде научных статей, научных сообщений по тематике, соответствующей направлениям журнала.

Основные рубрики журнала: экология, безопасность деятельности человека, защита окружающей среды, экология человека, биогеохимия, геоэкология, биологические ресурсы, проблемы экологического образования.

Кроме научных статей публикуется хроника научной жизни, включающая рецензии, обзоры, информацию о конференциях, научных проектах и т. д. Для привлечения к научным исследованиям и повышения качества квалификационных работ журнал предоставляет возможность публикации статей, написанных по материалам лучших магистерских работ.

Правила оформления статей, архив и дополнительная информация размещены на сайте: <http://journals.rudn.ru/ecology>

---

Редактор: *И.В. Успенская*  
Компьютерная верстка: *М.В. Рогова*

**Адрес редакции:**

Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3  
Тел.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Адрес редакционной коллегии журнала:**

Российская Федерация, 113093, Москва, Подольское шоссе, д. 8, корп. 5  
Тел.: +7 (495) 952-70-28; e-mail: [ecoj@rudn.ru](mailto:ecoj@rudn.ru)

---

Подписано в печать 29.06.2022. Выход в свет 30.06.2022. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Tinos, Roboto».

Усл. печ. л. 9,7. Тираж 500 экз. Заказ № 427. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов» (РУДН)  
117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6  
Отпечатано в типографии ИПК РУДН  
115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3,  
тел. +7 (495) 955-08-74; [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



## RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2022 VOLUME 30 NUMBER 2  
DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-2  
<http://journals.rudn.ru/ecology>

Founded in 1993

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

---

### Editor-in-Chief

**Elena V. Savenkova**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of the Institute of Environmental Engineering and International Institute for Strategic Development of Sectoral Economics, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

### Deputy Editors-in-Chief

**Sergey G. Kharchenko**, D.Sc. (Ecology, Biophysics), full member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Academy of Military Sciences, the Russian Environmental Academy, the New York Academy of Sciences, the International Society for Risk Analysis, chief scientist of the Institute of Environmental Engineering, Professor of the Department of Mathematical Methods in Economics, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

**Margarita M. Redina**, D.Sc. (Econ.), Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

### Executive Secretary

**Tatyana N. Ledashcheva**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

### Editorial Board

**Valerio Agnesi**, Ph.D., Professor, Director of the Italian-Russian Ecological University, University of Palermo, Palermo, Italy

**Gennadiy A. Kalabin**, D.Sc. (Chemistry), Professor, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

**Aleksandr P. Khaustov**, D.Sc. (Geology), Professor, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

**Gennadiy S. Rozenberg**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Scientist of the Institute of Ecology of Volga River Basin, Samara Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russia

**Vladislav A. Sadykov**, Prof., D.Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory of Deep Oxidation Catalysts, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**Igor Yu. Savin**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of System Ecology, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

**Vera A. Shirokova**, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of the History of Earth Sciences, S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Irina A. Sosunova**, Doctor of Social Sciences, Professor, Vice-President of the Russian Society of Sociologists, Moscow, Russia

**Nailya G. Valeeva**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

**Deli Wang**, Ph.D., Professor, Dean of the School of Life Science, Northeast Normal University, Changchun, China

**Shuping Zhang**, Ph.D., Professor, Shandong University, Jinan, China

**RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY**  
**Published by the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)**

**ISSN 2313-2310 (Print); ISSN 2408-8919 (Online)**

Publication frequency: quarterly.

Languages: Russian, English.

Indexing: Russian Index of Science Citation, Higher Attestation Commission, EBSCOhost, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View Cyberleninka, Dimensions.

**Aims and Scope**

An efficiency increase in the field of environmental protection and scientific research of human ecology, as well as the spread of modern methods of research and the latest achievements in the field of environmental management are the aims of RUDN Journal of Ecology and Life Safety. Since 1993 the results of fundamental and applied research of scientists, professors, postgraduate students are published in the journal in the form of scientific articles, scientific reports and bibliographic reviews. Papers are focused on general ecology, environmental management, sustainable development, environmental safety, environmental protection, human ecology, environmental impact assessment, radioecology and radiation monitoring and ecological education.

The results of original research of universities staff and Russian and foreign countries scientific centers in the form of scientific articles, scientific reports can be published in the journal. Subject of studies have to correspond to the journal scopes.

**Main thematic sections:** ecology, the safety of human activity, environmental defence, human ecology, biogeochemistry, geoecology, biological resources and problems of environmental education.

Chronicle of scientific events, including reviews, information about conferences, research projects, etc. are published in addition to scientific articles.

Journal allows publication of articles based on the best master's thesis for the purpose of intensification of research activity and improving the quality of qualification works.

Author guidelines, archive and other information are available on the website: <http://journals.rudn.ru/ecology>

---

Editor *I.V. Uspenskaya*  
Computer design *M.V. Rogova*

**Address of the editorial office:**

3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation  
Tel.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Address of the editorial board of the journal:**

8 Podolskoye Shosse, bldg 5, Moscow, 113093, Russian Federation  
Tel.: +7 (495) 952-70-28; e-mail: [ecoj@rudn.ru](mailto:ecoj@rudn.ru)

---

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House:  
3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation,  
Tel.: +7 (495) 955-08-74; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

## Содержание

### ЭКОЛОГИЯ

Кондрашин К.Г. Процессы самоочищения природных вод и их лабораторная модель..... 107

Лозбенева Э.А. Методические подходы к оценке эстетических свойств ландшафтов..... 116

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Соболева О.А., Анищенко Л.Н. Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга..... 127

Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Степанова Е.И., Яковлева Е.В. Биоэкологические свойства почвогрунтов на основе отходов производства как фактор мониторинга и управления продукционным процессом растений..... 143

Сумина А.В., Павлова Е.В., Кырова С.А., Ворожцов Е.П. Изучение размера пылевых частиц в районах угледобычи с использованием депонирующей способности снежного покрова ..... 153

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Юдин К.С., Притужалова О.А. Экологически ориентированная деятельность нефтегазодобывающих предприятий на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры ..... 164

Дзювина О.И., Котова Т.В., Федорова Ю.С., Вальнюкова А.С., Масаев В.Ю. Перспективы использования поверхностных вод Иркутской области для питьевого водоснабжения и производства безалкогольных напитков ..... 177

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Мишустин С.С., Польшина Г.В. Вариативность массы тела разноцветной ящурки (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) и круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) в юго-восточной части Нижнего Поволжья ..... 189

### УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Курочкин И.Н., Трифонова Т.А., Чугай Н.В. Анализ динамики структуры землепользования городского округа Владимир..... 201

## Contents

### ECOLOGY

- Kondrashin K.G.** Self-purification processes of natural water and their laboratory model ..... 107
- Lozbeneva E.A.** Methodological approaches to assessment of aesthetic properties of landscapes ..... 116

### ENVIRONMENTAL MONITORING

- Soboleva O.A., Anishchenko L.N.** Integrated assessment of the spring waters of the Bryansk region in the system of state monitoring ..... 127
- Stepanova L.P., Korenkova E.A., Stepanova E.I., Yakovleva E.V.** Bioecological properties of nutrient soils based on production waste as a factor in monitoring and controlling the production process of plants ..... 143
- Sumina A.V., Pavlova E.V., Kyrova S.A., Vorozhtsov E.P.** On the issue of studying the size of dust particles in coal mining areas using the depositing ability of the snow cover ..... 153

### INDUSTRIAL ECOLOGY

- Yudin K.S., Prituzhalova O.A.** Ecological activity of oil and gas companies in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra ..... 164
- Dzyuvina O.I., Kotova T.V., Fedorova Y.S., Valnyukova A.S., Masaev V.Yu.** Prospects for the use of surface waters of the Irkutsk region for drinking water supply and the production of soft drinks ..... 177

### BIOLOGICAL RESOURCES

- Mishustin S.S., Polynova G.V.** Variability of body weight (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) and (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) in the southeastern part of the lower Volga region ..... 189

### ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

- Kurochkin I.N., Trifonova T.A., Chugay N.V.** Analysis of dynamics of the structure of Vladimir city district land use ..... 201



# ЭКОЛОГИЯ ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-107-115

УДК 556.5(07)

Научная статья / Research article

## Процессы самоочищения природных вод и их лабораторная модель

К.Г. Кондрашин *Астраханский архитектурно-строительный университет,  
Астрахань, Россия*✉ [astrakhan\\_kirill@mail.ru](mailto:astrakhan_kirill@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрен механизм самоочищения природных вод. Показано, что лабораторное моделирование возможно проводить на основе полученного коэффициента скорости самоочищения воды  $K$  от загрязняющих веществ. Исследована зависимость содержания фенола от физических факторов отобранной пробы. Проведен расчет коэффициента скорости самоочищения речной воды от загрязняющего вещества. Физико-химический состав поверхностных вод напрямую зависит от гидрологического режима реки, а значит, модель процессов самоочищения может быть применена при определенных параметрах исследуемых рек. С использованием модели, полученной в ходе проведения данных работ, можно проводить различные исследования зависимости физико-химического состава воды от различных гидрологических параметров. Основой данного исследования послужили работы советских ученых в области математического моделирования физико-химических процессов естественной среды поверхностных вод.

**Ключевые слова:** модель, самоочищение, фенолы, коэффициент скорости самоочищения  $K$

**Благодарности и финансирование.** Автор благодарит коллектив Астраханского государственного архитектурно-строительного университета за предоставленную площадку для проведения исследования, а также Научно-исследовательскую лабораторию приоритетных исследований региона.

**История статьи:** поступила в редакцию 25.12.2021; принята к публикации 23.02.2022.

**Для цитирования:** Кондрашин К.Г. Процессы самоочищения природных вод и их лабораторная модель // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 107—115. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-107-115>

© Кондрашин К.Г., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

## Self-purification processes of natural water and their laboratory model

Kirill G. Kondrashin 

*Astrakhan University of Architecture and Civil Engineering,  
Astrakhan, Russia*

✉ astrakhan\_kirill@mail.ru

**Abstract.** In this work, the processes of self-purification of natural water masses have been studied, and the possibility of laboratory modeling based on the obtained coefficient of the rate of self-purification of water  $K$  from pollutants has been investigated. The correlation between the phenol content and the physical factors of the selected sample was investigated. The calculation of the rate coefficient of self-purification of river water from a contaminant is carried out. The physico-chemical composition of surface waters directly depends on the hydrological regime of the river, which means that the model of self-purification processes can be applied under certain parameters of the studied rivers. On the model obtained during these works, various studies of the correlation of the physico-chemical composition of water from various hydrological parameters can be carried out. The basis of this study was the work of Soviet scientists in the field of mathematical modeling of physico-chemical processes in the natural environment of surface waters.

**Keywords:** model, self-purification, phenols, coefficient of self-purification rate  $K$ .

**Acknowledgements and Funding.** The author thanks the staff of the Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering for providing a platform for conducting research, as well as the Research Laboratory of Priority Research in the region.

**Article history:** received 25.12.2021; accepted 23.02.2022.

**For citation:** Kondrashin KG. Self-purification processes of natural water and their laboratory model. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):107—115. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-107-115>

### Введение

Уменьшение концентрации загрязняющих веществ, попадающих в водные объекты, происходит под действием ряда естественных физических, химических и биологических процессов, приводящих либо к полному удалению загрязняющих веществ (например, окислительные процессы), либо к перераспределению их в водном объекте между его составляющими (взвешенные вещества, донные отложения, водные организмы и т. д.). Для рационального использования и охраны природных вод от загрязнения большое значение имеет количественная оценка этих процессов [1, 2]. Достаточно успешно можно оценить влияние гидродинамических процессов [3—5], другие процессы требуют дальнейшего изучения.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению процессов самоочищения природных вод от органических загрязняющих веществ. Многочисленными исследованиями установлено, что самоочищение происходит главным

образом за счет биохимического окисления и характеризуется так называемыми коэффициентами скорости самоочищения воды от загрязняющих веществ  $K$ .

Существует несколько взаимно дополняющих друг друга подходов к получению коэффициента  $K$ :

- лабораторное моделирование (стеклянные сосуды, аквариумы, циркуляционные лотки);
- натурное моделирование на водном объекте (микрокосмы, мезокосмы, изолированные или полуизолированные участки водных объектов);
- непосредственное определение убыли концентрации вещества в естественных условиях на заданном участке водного объекта.

Последний подход является наиболее точным, учитывающим весь комплекс природных условий исследуемого участка водного объекта, но и самым сложным и дорогим. Получение  $K$  в лабораторных условиях является наиболее простым, дешевым, но пока еще приближенным методом.

К сожалению, до сих пор не разработана общепринятая методология и общие методы исследования и моделирования процессов самоочищения в лабораторных условиях, что привело к появлению в литературе большого, но противоречивого материала по значениям  $K$ , полученным в разных, часто несопоставимых условиях. Даже для одного и того же вещества значения  $K$ , полученные разными авторами, отличаются в отдельных случаях на несколько порядков. Такие расхождения поставили под сомнение возможность переносить результаты лабораторных экспериментов на природные объекты [6].

Однако, несмотря на сложность, а в некоторых случаях и практическую невозможность проведения работ на водных объектах, полностью отказываться от лабораторного моделирования нецелесообразно. Кроме того, данный подход можно использовать в качестве предварительного для последующих экспериментов с применением натурного моделирования или натуральных исследований процессов самоочищения воды водного объекта.

Следовательно, для получения сопоставимых результатов требуется соблюдение некоторых общих условий проведения эксперимента.

**Цель исследования** — уточнить некоторые аспекты лабораторного моделирования и предложения по его проведению на основе литературных данных и проведенных исследований.

Поскольку одновременное соблюдение адекватных условий в природе и в лабораторной модели невозможно, цель эксперимента должна заключаться в получении значений коэффициента  $K$  в наиболее «жестких» условиях — для стоячих водоемов и только в водной массе. Несмотря на условность эксперимента, такой подход позволяет во многих случаях создать некоторый запас надежности при перенесении полученных данных на естественные условия водного объекта.

## Материалы и методы

При проведении эксперимента важно учитывать, что изменение объема воды в процессе отбора проб может повлиять на скорость протекания биохимических процессов.

С целью уточнения этой стороны моделирования проведены эксперименты по изучению скорости самоочищения от загрязняющего вещества в разных объемах воды.

Можно предположить, что для веществ, биохимически легко окисляемых (до 2—3 сут.), целесообразно проводить определение значений  $K$  в лабораторных условиях, так как за этот срок в сосудах не успевает сформироваться аквариумный биоценоз и трансформация вещества осуществляется микроорганизмами, характерными для изучаемого водного объекта. Исходя из этого в качестве изучаемого вещества был взят фенол.

Отметим, что во всех экспериментах биогенные элементы не были фактором, лимитирующим скорость процесса самоочищения.

Для эксперимента в свежееотобранную воду р. Ахтубы (Астраханская обл.), помещенную в одну емкость, добавлялся фенол в концентрации примерно  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ , вода тщательно перемешивалась и разливалась по широкогорлым сосудам емкостью 5 и 20 л. Опыт проводился в трех повторениях. Сосуды экспонировались при естественном освещении при температуре  $13\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Предварительные эксперименты показали, что время адаптации микроорганизмов к такой концентрации фенола составляло около 1 сут. Поэтому первый отбор проб воды для анализа проводился через 20 ч после начала эксперимента, а затем через каждые 4 ч по 0,5 л воды до полного исчезновения фенола (табл. 1).

Деградация основной массы фенола ( $\sim 0,4 \text{ мг/дм}^3$ ) происходила за 8—12 ч. В сосудах большего объема скорость самоочищения была выше. Эксперимент показал, что уменьшение объема воды в сосуде в результате отбора проб для анализа вызывает изменение условий эксперимента и приводит к дополнительным погрешностям при установлении значений  $K$ , причем тем большим, чем меньше начальный объем воды (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние изменения объема воды при отборе проб на скорость самоочищения от фенола воды р. Ахтуба (февраль 2020 г.)**

Объем воды, л	Концентрация фенола, мг/дм <sup>3</sup>	Периодичность отбора проб воды, ч	Температура воды, °С	Продолжительность эксперимента, ч	Объем воды в конце эксперимента, % от начального объема	$K_{20}/K_5^*$
5,0	0,550	4	13–15	48	20	1,5
20,0	0,550	4	13–15	36	84	

\*  $K_{20}$  и  $K_5$  — коэффициенты скорости самоочищения воды от фенола в сосудах объемом соответственно 20 и 5 л.

Table 1

**The influence of changes in the volume of water during sampling on the rate of self-purification from phenol in the water of the r. Akhtuba (February 2020)**

Volume of water, l	Phenol concentration, mg / dm <sup>3</sup>	Water sampling frequency, h	Water temperature, °С	Duration of the experiment, h	Volume of water at the end of the experiment, % of the initial volume	$K_{20}/K_5^*$
5,0	0,550	4	13–15	48	20	1,5
20,0	0,550	4	13–15	36	84	

\*  $K_{20}$  and  $K_5$  are the coefficients of the rate of self-purification of water from phenol in vessels with a volume of 20 and 5 liters, respectively.

Кроме различий в условиях постановки эксперимента, очевидно, что скорость самоочищения природных вод от загрязняющих веществ будет зависеть также от состояния микроорганизмов водных объектов в разные сезоны года.

Эксперименты, проведенные на воде р. Ахтубы, отобранной в районе, подверженном интенсивному промышленному и тепловому загрязнению, и р. Бузан на территории Красноярского района Астраханской области, показали, что при примерно одинаковых условиях ( $t$  °С воды, освещенность, объем воды, концентрация фенола, нелимитирующие концентрации биогенных элементов) скорости процессов самоочищения воды от фенола отличались (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние изменения объема воды при отборе проб на скорость самоочищения от фенола воды р. Ахтубы (февраль 2020 г.)**

Водный объект	Объем воды, л	Концентрация фенола, мг/дм <sup>3</sup>	Периодичность отбора проб воды, ч	Температура воды, °С	Продолжительность эксперимента, ч	$K_{20}/K_y$
р. Ахтуба (февраль 2020 г.)	20	0,55	3	13–15	36	6,4
р. Бузан (сентябрь 2020 г.)	20	0,52	24	13–15	96*	
р. Ахтуба (май 2020 г.)	20	0,65	3	23–26	30	
р. Бузан (июнь 2020 г.)	20	0,67	4	24–27	64	

\* На четвертые сутки обнаружено 0,35 мг/дм<sup>3</sup> фенола, эксперимент прекращен.

Table 2

**The influence of changes in the volume of water during sampling on the rate of self-purification from phenol in the water of the r. Akhtuba (February 2020)**

Water an object	Volume of water, l	Phenol concentration, mg / dm <sup>3</sup>	Water sampling frequency, h	Water temperature, °С	Duration of the experiment, h	$K_{20}/K_y$
R. Akhtuba (February 2020)	20	0,55	3	13–15	36	6.4
R. Buzan (September 2020)	20	0,52	24	13–15	96*	
R. Akhtuba (May 2020)	20	0,65	3	23–26	30	
R. Buzan (June 2020)	20	0,67	4	24–27	64	

\* On the fourth day, 0,35 mg / dm<sup>3</sup> of phenol was found, the experiment was terminated.

Особенно резко проявилось различие при низких значениях температуры, когда в воде р. Ахтубы фенол не был обнаружен уже через 1,5 сут., а в воде р. Бузан за 4 сут. было удвоено менее половины внесенного количества фенола.

Отличия были выявлены не только между водой из разных рек, но и для воды из одной и той же реки, отобранной в разное время года.

Ферментная активность в экспериментах не определялась, но данные по общей численности микроорганизмов и количеству сапрофитов в воде обеих рек позволили сделать вывод, что интенсивность процессов самоочищения зависит больше от активности микроорганизмов, чем от их численности. В некоторых

сосудах процесс самоочищения происходил быстрее при сравнительно малой численности микроорганизмов.

Таким образом, при решении конкретных задач, связанных с определением степени самоочищающей способности водных объектов от загрязняющих веществ, проведение экспериментов необходимо для каждого изучаемого участка водного объекта с учетом сезона года.

## Результаты

На основании литературных данных [7—9] и результатов собственных исследований мы предлагаем следующие условия проведения эксперимента.

Во избежание нарушений газового режима и объема исследуемой воды во время отбора проб для анализа эксперимент следует проводить не в одном сосуде, а в нескольких сосудах, заполняемых из одной емкости с хорошо перемешанной водой. Количество сосудов должно соответствовать числу отбираемых проб воды, т.е. очередной сосуд выводится из эксперимента при отборе пробы воды для анализа.

Для проведения лабораторного эксперимента необходимо предусмотреть выполнение следующих условий.

*Кислородный режим.* Чтобы эксперимент проходил при достаточном для нормального протекания аэробных биохимических процессов содержании растворенного кислорода, до начала эксперимента следует проверить наличие условия

$$V_3(CO_2 - L_0) \sum m_i L_i \geq 3 \text{ мг/дм}^3, \quad (1)$$

где  $V_3$  — объем природной воды, взятый для эксперимента, л;  $CO_2$  — исходное (перед экспериментом) содержание кислорода в природной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $L_0$  — значение пятисуточного или полного БПК природной воды, выбираемое для расчета в зависимости от длительности эксперимента, мг/дм<sup>3</sup>;  $L_i$  — соответственно значение БПК<sub>5</sub> или БПК<sub>полн</sub>, выражающее биохимическое потребление кислорода 1 мг  $i$ -го загрязняющего вещества, добавляемого при эксперименте в природную воду, мг молекулярного кислорода;  $m_i$  — масса  $i$ -го загрязняющего вещества, мг.

Если в природную воду добавляется не само вещество, а определенный объем сточной воды, то условие (1) примет вид

$$CO_2 - L_0 - \frac{(L_{ct} - L_0)V_{ct}}{V_3 + V_{ct}} \geq 3 \text{ мг/дм}^3, \quad (2)$$

где  $L_{ct}$  — значение БПК<sub>5</sub> или БПК<sub>полн</sub> сточных вод, выбираемое для расчета в зависимости от длительности эксперимента, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_{ct}$  — объем сточной воды, добавляемой в природную воду для проведения эксперимента, л.

*Объем природной воды.* Выбор объема воды в сосуде для проведения эксперимента обусловлен выполнением условий (1), (2). Минимальным объемом можно считать 2 л, достаточные для проведения химического анализа. Влиянием границ (размеров экосистемы) на поведение микроорганизмов с их ограниченной способностью  $K$  перемещению можно пренебречь.

**Температура водной среды.** Стеклянные сосуды следует устанавливать в помещении или в стеклянном шкафу с терморегуляцией, где температура воздуха отличается от воды водного объекта не более чем на 3—4 °С (такое различие не вызывает сильных изменений в численности и активности микроорганизмов).

**Освещенность.** Сосуды нужно устанавливать в месте с естественным освещением, но без попадания прямых солнечных лучей.

**Газовый режим.** Для свободного газообмена через поверхность воды моделирование желательно использовать сосуды с широким горлом, закрытые марлей от попадания пыли.

**Наличие в воде минеральных форм азота и фосфора.** Для фенола было установлено, что в исходной для эксперимента воде должно содержаться минерального фосфора не менее 10—15 мкг/дм<sup>3</sup> на 1 мг загрязняющего вещества, минерального азота — не менее 100 мкг/л. Для речных вод эти условия обычно соблюдаются, и контроль за содержанием азота и фосфора не требуется. Для других загрязняющих веществ эти концентрации должны быть уточнены.

В ходе эксперимента проводится обязательное определение следующих показателей: температура воды, значения рН (оптимальные значения рН для разложения большинства загрязняющих веществ находятся в интервале 7—9), концентрация загрязняющего вещества, содержание растворенного кислорода.

Для биологически мягких веществ эксперимент проводится в течение 1—2 сут. с отбором проб на химический анализ через каждые 4—6 ч. Для других веществ отбор проб проводится через каждые 6—8 ч примерно до 70 % убыли загрязняющего вещества. Однако, если в течение пяти суток убыль загрязняющего вещества составляет всего 20 %, эксперимент целесообразно прекращать, а загрязняющее вещество относить к консервативному веществу. При снижении содержания кислорода ниже 2 мг/дм<sup>3</sup> эксперимент продолжать также нецелесообразно, так как может происходить накопление недоокисленных промежуточных продуктов.

Расчет коэффициента скорости самоочищения речной воды от загрязняющего вещества по результатам лабораторного моделирования проводится по формуле

$$K = \frac{2,3}{(t-t')} \lg \frac{C_0}{C_t}, \quad (3)$$

где  $C_0$  — начальная концентрация загрязняющего вещества, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_t$  — концентрация через время  $t$ , мг/дм<sup>3</sup>;  $t$  — время, в течение которого практически не происходит изменение концентрации (время адаптации микроорганизмов), сут.

## Обсуждение

Поскольку характер реакции в ходе деградации рассматриваемого загрязняющего вещества может меняться, особенно если химический анализ проводится по групповым показателям содержания в воде органических веществ (нефтепродукты, СПАВ, фенолы, ВПК и т.д.), значения  $K$ , полученные за разные промежутки времени ( $t = t'$ ) могут не совпадать. При различиях коэффициента  $K$  в пределах

20 % в качестве конечного результата берется среднее значение этого коэффициента, при больших различиях устанавливается связь типа  $K=f(t-t')$ .

Для некоторых органических веществ при определенных обстоятельствах (например, при наличии в воде ингибиторов биохимического окисления) [10] существенную роль в процессе самоочищения могут играть фотохимические реакции. Поэтому в результате лабораторного эксперимента следует также получить заключение о роли «светового» эффекта в убыли концентрации вещества. В случае существенной роли такого эффекта при использовании коэффициента  $K$  для различных расчетов или полевых исследований проводится соответствующая корректировка.

По результатам эксперимента, проведенного на речной воде в различные гидрологические сезоны, оцениваются и рассчитываются связи типа  $K = f(t_0)$ .

## Заключение

Соблюдение одинаковых условий для получения коэффициента  $K$  позволит проводить обоснованное сравнение результатов лабораторного моделирования. Кроме того, при достаточном количестве информации по результатам лабораторных и натуральных исследований появляется возможность установления перехода от  $K$ , полученных в статичных лабораторных условиях, к наблюдаемым в естественных условиях водного объекта.

## Список литературы

- [1] Айдаров И.П. К проблеме экологического возрождения речных бассейнов // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 2. С. 240—252.
- [2] Баженова О.П. Качество воды и сапробность притоков среднего Иртыша и озер г. Омска // Омский научный вестник. 2010. № 1 (94). С. 219
- [3] Немировская И.А. Углеводороды в водах и донных осадках Белого моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3 (105). С. 77—89.
- [4] Коробов В.Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог. 2013. № 3 (15): Естествознание. Экология. Науки о земле. С. 94—108.
- [5] Мохова О.Н. О состоянии загрязненности вод Белого моря // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. Севастополь, 19—23 сентября 2016 г. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2016. С. 163—167.
- [6] Брызгалов В.А. Многолетняя и сезонная изменчивость химического стока рек Белого моря в условиях антропогенного воздействия // Экологическая химия. 2002. № 11 (2). С. 91—104.
- [7] Качество морских вод по гидрохимическим показателям: ежегодник, 2015. М.: Наука, 2016. 184 с.
- [8] Наумова А.М. Использование водных растений для очистки воды и грунта рыбохозяйственного водоема от органического и неорганического загрязнения // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2015. № 2 (14). С. 72—77.
- [9] Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА. НИА-Природа. 2002. 118 с.
- [10] Дженьюк С.Л. К обоснованию комплексной системы мониторинга морей Западной Арктики // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 2 (21). С. 94—102.

## References

- [1] Aydarov IP. To the problem of ecological regeneration of river basins. *Water resources*. 2002;29(2):240—252. (In Russ.)

- [2] Bazhenova OP. Water quality and saprobity of tributaries of the middle Irtysh and lakes of Omsk. *Omsk Scientific Bulletin*. 2010;1(94):219 (In Russ.)
- [3] Nemirovskaya IA. Hydrocarbons in waters and bottom sediments of the White Sea. *Problems of the Arctic and Antarctic*. 2015;3(105):77–89. (In Russ.)
- [4] Korobov VB. Some problems of application of expert methods in practice. *Scientific Dialogue. Natural Science. Ecology. Earth Sciences*. 2013;3(15):94–108. (In Russ.)
- [5] Mokhova ON. On the state of water pollution in the White Sea. *Marine biological research: achievements and prospects: collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, dedicated to the 145th anniversary of the Sevastopol Biological Station*. Sevastopol, September 19–23, 2016. Sevastopol: ECOSY-Hydrophysics Publ. 2016. (In Russ.)
- [6] Bryzgalo VA. Multiyear and seasonal variability of chemical flow of the White Sea rivers under anthropogenic impact. *Ecological Chemistry*. 2002;11(2):91–104. (In Russ.)
- [7] Quality of sea waters by hydrochemical indicators: yearbook 2015. Moscow: Nauka Publ. 2016. (In Russ.)
- [8] Naumova AM. The use of aquatic plants for water and soil treatment of fishery ponds from organic and inorganic pollution. *Russian Journal of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2015;2(14):72–77. (In Russ.)
- [9] Guidelines for determining the toxicity of water, bottom sediments, pollutants, and drilling fluids by biotesting. Moscow: REFIA, NIA-Priroda Publ. 2002. (In Russ.)
- [10] Dzhenyuk SL. To justification of the integrated monitoring system of the seas of the Western Arctic. *Bulletin of the Kola Scientific Center of Russian academy of sciences*. 2015;2(21):94–102. (In Russ.)

#### **Сведения об авторе:**

Кондрашин Кирилл Геннадьевич, младший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории приоритетных исследований региона, ассистент кафедры геодезии, кадастрового учета, АГАСУ, Российская Федерация, 414056, Астрахань, ул. Татищева, 18. ORCID: 0000-0001-7708-0043, SPIN-код: 2994-3840, Scopus Author ID 57212380321. E-mail: astrakhan\_kirill@mail.ru

#### **Bio note:**

Kirill G. Kondrashin, Junior Researcher of the Research Laboratory for Priority Research of the Region, Assistant of the Department of Geodesy, Cadastral Registration, State Autonomous Educational Institution of Higher Education AGASU, 18 Tatishcheva St, Astrakhan, 414056, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7708-0043, SPIN-код: 2994-3840, Scopus Author ID 57212380321. E-mail: astrakhan\_kirill@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-116-126

УДК 911.52:911.5/9

Научная статья / Research article

## Методические подходы к оценке эстетических свойств ландшафтов

Э.А. Лозбенева 

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия

✉ [elina7-sheremet@mail.ru](mailto:elina7-sheremet@mail.ru)

**Аннотация.** Эстетическая привлекательность — это одно из важных качеств любой территории. В настоящее время существует довольно много методических разработок для оценки эстетических свойств ландшафтов. Условно их можно разделить на традиционные методы оценки, где оценка строится исключительно на полевых исследованиях, и современные методы оценки, где полевые исследования дополняются применением ГИС-технологий. В свою очередь, полевые исследования отличаются высокой трудоемкостью и, как следствие, обычно выполняются для небольших ключевых участков или отдельных маршрутов. С внедрением ГИС и данных дистанционного зондирования (ДДЗ) высокого пространственного разрешения появилась возможность без особых затруднений проводить оценку многих показателей эстетической привлекательности ландшафтов. Данная статья посвящена обзору становления и развития методических подходов к оценке эстетических свойств ландшафтов. В работе представлены основные этапы исследования эстетической оценки ландшафтов: теоретический — определение понятия «эстетика ландшафта» и изучение особенностей эстетического восприятия; полевой — внедрение оценочных показателей для минимизации субъективного восприятия эстетической оценки; современный — использование экспертных балльных оценок в синтезе с современными ГИС-технологиями.

**Ключевые слова:** эстетика ландшафта, аттрактивность, эстетические свойства ландшафта, методы эстетической оценки, ГИС-технологии

**История статьи:** поступила в редакцию 24.11.2021; принята к публикации 15.03.2022.

**Для цитирования:** Лозбенева Э.А. Методические подходы к оценке эстетических свойств ландшафтов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 116—126. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-116-126>

---

© Лозбенева Э.А., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

# Methodological approaches to assessment of aesthetic properties of landscapes

Elina A. Lozbeneva 

*Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, Russia*

✉ elina7-sheremet@mail.ru

**Abstract.** Aesthetic properties are important characteristics of any territory. Currently, there are quite a few methodological developments for evaluating the aesthetic properties of landscapes. Conventionally, they can be divided into traditional assessment methods, where the assessment is based solely on field surveys, and the other — those based on modern approach, in which field research is supplemented by GIS technologies. In turn, field surveys are highly labor-intensive and, as a result, are usually carried out for small key areas or individual routes. With the introduction of GIS and remote sensing data (RSD) of high spatial resolution, it became possible without much difficulty to assess many indicators of the aesthetic attractiveness of landscapes. This article is devoted to an overview of development of modern methodological approaches to assessing the aesthetic properties of landscapes. The paper opens with historic review of the aesthetic studies of landscapes, then discusses theoretical questions such as the definition of the concept of “aesthetics of the landscape” and the exploration of aesthetic perception and, finally, presents a case study of application of GIS technologies for aesthetic evaluation of landscapes.

**Key words:** aesthetic properties of the landscape, landscape aesthetics, attractiveness, methods of aesthetic assessment, GIS technologies

**Article history:** received 24.11.2021; accepted 15.03.2022.

**For citation:** Lozbeneva EA. Methodological approaches to assessment of aesthetic properties of landscapes. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):116—126. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-116-126>

## Введение

### Понятие «эстетика ландшафта»

Научная основа эстетического направления в географии была заложена в начале XX в. в работах А. Гумбольдта, А. Геттнера, В.П. Семенова-Тян-Шанского и др. Под ландшафтом А. Гумбольдт понимал визуально воспринимаемую и эстетически оцениваемую красоту окружающей среды [1]. А. Гумбольдт отмечал, что природу невозможно постичь без сопряжения научных методов с приемами искусства и пейзажной живописи. Впервые на эстетическую ценность ландшафтов указывал А. Геттнер в книге «География: ее история, сущность и методы». А. Геттнер ввел термин «эстетическая география», который «взвешивает эстетическую ценность и красоту» различных ландшафтов и местностей [2, с. 140]. В.П. Семенов-Тян-Шанский в фундаментальном труде «Район и страна» [3] рассматривал связь между географией, эстетикой и искусством.

В XX веке в англоязычных странах Запада и США формируется самостоятельное направление — «поведенческая география». По мнению Дж. Голда, «...огромное внимание в поведенческой географии уделяется изучению представлений о пространстве, исследованию его образа в сознании» [4, с. 9]. Подобными исследованиями занимались Д. Лоуэнталь (1961, 1967), У. Кирк (1963), Э. Пеннинг-Роуселл (1973, 1974), Д. Харди (1973) и др. Было установлено, что феномен пространственного восприятия территории связан с аттрактивностью ландшафтов; можно выделить и описать наиболее и наименее привлекательные для визуального восприятия ландшафты. Также предпринимались попытки определить объективные причины, вызывающие различия между ними. Теме восприятия ландшафта посвящены работы Д. Мейнига (1979), К. Фута (1979), Д. Косгроува (1984), Э. Релпа (1987), Дж. Гибсона (1988) и др.

В становление эстетического направления отечественной географии большой вклад внесли В.С. Преображенский, В.А. Николаев, Б.Б. Родоман, Ю.А. Веденин, Ю.П. Хрусталева, К.И. Эрингис, А.Р.-А. Будрюнас, О.В. Калашникова, В.В. Савельева, М.Ю. Фролова, Н.Н. Назаров, Ю. Хрусталева, А.В. Белов, А.В. Бредихин и др. Данное направление большей частью получило развитие на базе современного ландшафтоведения. Так, В.А. Николаев предлагает рассматривать эстетику ландшафта в качестве особого направления ландшафтоведения, изучающего красоту, живописность природных и природно-антропогенных ландшафтов, а главное, особенности их эстетического восприятия и оценки. Наблюдатель оценивает визуальную картину, открывающуюся перед ним из любой точки географического пространства. Под этой картиной понимается *пейзаж* — «внешний облик ландшафта, воспринимаемый с той или иной видовой точки...» [5, с. 68]. В таком случае эстетика ландшафта направлена на изучение гармонии и красоты ландшафта. Она представляет собой довольно сложный процесс взаимосвязи между человеком и ландшафтом — это процесс психологического отражения красоты природной среды посредством чувственного восприятия [6].

### Эстетическое восприятие ландшафта

Эстетическое наслаждение наблюдателя напрямую зависит от гармонических взаимосвязей в системе воспринимаемых объектов [7]. Таким образом, для любого пейзажа характерно наличие внутренней структуры с основополагающими элементами, но главным свойством остается его целостность [8]. Как отмечает П. Гобстер, для более глубокого понимания и созерцания природы все аспекты эстетической оценки — индивидуум, ландшафт, объекты и результаты оценки — должны быть объединены в единую систему [9]. Эстетической оценке должны подлежать объекты как природной, так и искусственной среды [10].

В первую очередь в процессе оценки эстетических качеств ландшафта важно учитывать его *аттрактивность* — привлекательность. Наблюдатель всегда может выделить объективный фон и фигуры, их очертания [11]. Основные качества аттрактивности непосредственно зависят от цвета, яркости и пространственной структуры. Так, например, по особенностям цветовых комбинаций в пейзаже определяется характер их воздействия на наблюдателя: чем они выше, тем выше аттрактивные качества пейзажа. Помимо аттрактивности в ландшафтной географии вводится понятие *перцепции* ландшафта, по сути

близкое к понятию «эстетическое восприятие» — восприятие окружающего, несущее для субъекта некую эстетическую ценность [6]. Субъект восприятия — наблюдатель, он воспринимает и оценивает объект восприятия, т.е. собственно ландшафт. При этом «ландшафт — это не просто видимый мир, а процесс его создания» [12, с. 13]. Он отвечает за формирование материальной основы всей пейзажной картины.

Эстетическое восприятие во многом зависит от физиологических особенностей человека. Более 90 % пространственной информации он получает преимущественно через зрительный анализатор. Из-за этого изображение может значительно трансформироваться даже при изменении на несколько метров местоположения самого наблюдателя [13, 14].

На эстетическое восприятие оказывают влияние также свет, звуковые импульсы, запахи, пространственные формы и их соотношение. Так, по мнению К. Норберг-Шульца, свет может выступать в качестве одного из главных факторов дифференциации форм в ландшафте [15].

Эстетическое восприятие зависит в определенной степени и от психологического фактора. Подробно это рассмотрено в работах Р. Парсонса, С. Буррасса, Т. Тоадвайна, А. Йоргенсен и др. Принято, что одни и те же природные объекты могут восприниматься каждым наблюдателем по-разному, ведь восприятие зависит от особенностей человека. Вследствие этого восприятие внешнего вида ландшафта накладывается на стереотип восприятия наблюдателя, что приводит к формированию специфического образа ландшафта — определенной модели пространства.

Эстетическое восприятие ландшафта, таким образом, оценивается через пейзаж. Для визуального восприятия ландшафта устанавливается некоторая дистанция между субъектом и пейзажем, которая зависит от местоположения точки обзора и протяженности ее перспективы [5]. Главную роль в восприятии пейзажа играет оптимальный выбор *обзорных точек* (смотровых площадок). Смотровые площадки должны быть доступными для массового посещения.

## Результаты и обсуждение

### Традиционные методы оценки эстетических свойств ландшафта

Традиционные методы эстетической оценки напрямую связаны с полевыми исследованиями [16—22]. Первым методом такой оценки является детальное эколого-эстетическое исследование ландшафтов (пейзажей) К.И. Эрингиса и А.Р.-А. Будрюнаса (1975). Метод включает 80 признаков оценки открывающегося пейзажа и его подступа, объединенных в четыре блока: общее восприятие пейзажа, выразительность рельефа, пространственное разнообразие растительности и степень антропогенной трансформации пейзажа. Каждый показатель оценивается по балльной шкале, что позволяет сравнивать результаты оценок для разных территорий. В качестве примера мы приводим часть оценочных показателей (табл. 1).

## Шкала оценки эстетических свойств ландшафтов

Показатели эстетической оценки		
Общее восприятие пейзажа	1	Доминанта в пейзаже
	2	Глубина и разнообразие перспектив
	3	Многоплановость
	4	Поясность
	5	Натуральность (девственность) пейзажа
	6	Наличие водных объектов
Выразительность рельефа	7	Наличие обнажений скальных пород
	8	Обилие горных вершин и склонов
	9	Обилие горных вершин на линии горизонта
Пространственное разнообразие растительности	10	Общая лесистость пейзажа
	11	Обилие залесенных вершин и склонов
	12	Обилие открытых пространств в лесистом пейзаже
	13	Обилие различных древесных и растительных сообществ
Степень антропогенной трансформации пейзажа	14	Урбанизированность пейзажа
	15	Обилие населенных пунктов и отдельных построек
	16	Обилие антропогенных объектов на линии горизонта
	17	Вписанность сельскохозяйственных угодий, дорог и ЛЭП

Table 1

## Scale for assessing the aesthetic properties of landscapes

Aesthetic assessment indicators		
General grandeur of landscape	1	Dominant object in visible landscape
	2	Depth and diversity of perspective view
	3	Multidimensionality
	4	Zonation
	5	Virginity of landscape
	6	Presence of water bodies
Intensity of terrain	7	Presence of bare rocks
	8	Amount of visible mountain peaks and mountainsides
	9	Amount of mountain peaks at the skyline
Spatial diversity of vegetation	10	Percentage of forest covered area
	11	Amount of mountain peaks covered by forests
	12	Open spaces in the woods
	13	Tree and plant diversity
The degree of anthropogenic transformation of the landscape	14	Urbanization of the landscape
	15	Amount of villages and buildings
	16	Amount of anthropogenic objects at the skyline
	17	Complementariness of agricultural lands, roads and electricity lines

Обзорная панорама с определенной точки представляет собой важный элемент эстетической оценки ландшафтов. Первый критерий оценки — *общее восприятие пейзажа*, от него зависит интерпретация и воспроизведение особенностей ландшафтной структуры территории в целом.

Особое значение на формирование внешнего облика ландшафта оказывает *выразительность рельефа* — ведущий фактор восприятия образа пейзажа. Он воспринимается в качестве определяющего ядра всей пейзажной композиции. Именно характер рельефа существенно влияет на визуальное восприятие окружающего — его масштабность и пропорции в пространстве. Значительное влияние на формирование эстетического облика ландшафта отведено формам морфоскульптуры. Высокое разнообразие геоморфологических объектов — один из элементов привлекательности, выражающийся через количество уникальных форм рельефа.

Помимо рельефа на характер эстетического восприятия оказывает *пространственное разнообразие растительности*. С одной стороны, богатая растительность усиливает и подчеркивает доминанты в пейзаже, с другой — заслоняет их. В естественной среде растительность сосредоточена в основном в понижениях рельефа. Неестественное ее распространение нарушает гармонию ландшафта и снижает эстетическую привлекательность местности.

Последняя категория оценки — *степень антропогенной трансформации пейзажа*. Степень урбанизированности зависит от площади населенных пунктов вместе с сельскохозяйственными угодьями, приусадебными участками, огородами и др. Антропогенные объекты могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на степень аттрактивности пейзажа. Обилие и разнообразие антропогенных объектов увеличивает эстетическую ценность пейзажа в том случае, если они гармонично вписываются в панораму местности и неотделимы от перспектив. Нерациональное размещение хозяйственных объектов вызывает у наблюдателя чувство отторжения и угнетенности.

В дальнейшем методика оценки эстетических свойств ландшафтов К.И. Эрингиса и А.Р.-А. Бударюнаса была взята за основу многими авторами (Д.А. Дирин (2005, 2006), Б.И. Кочуров, Н.В. Бучацкая (2002, 2007), М.А. Саранча (2010), А.А. Мотошина, Л.Н. Вдовюк (2012) и др). Д.А. Дирин впервые в свою методику добавил следующие показатели: наличие и количество пейзажно-композиционных узлов и осей в ландшафте, плотность границ между визуально различимыми урочищами в пределах ландшафтного выдела. В методике Б.И. Кочурова и Н.В. Бучацкой выразительность рельефа оценивается через такие показатели, как характер рельефа и склонов, экспозиция склонов. Отдельно оценивается характер размещения растительного покрова. А.А. Мотошина, Л.Н. Вдовюк к оценочным показателям добавили контрастность ландшафтов — степень различий между ландшафтами, обусловленная прежде всего их генезисом.

### **Современные методы оценки эстетических свойств ландшафта**

К современным методам эстетической оценки относятся методы, связанные с использованием ГИС-технологий и обработкой данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Некоторые современные методики предусматривают синтез экспертных балльных оценок и ГИС. В свою очередь, это позволяет не только обработать большие массивы пространственных данных и визуализировать эти данные в качестве картографического материала, но и верифицировать их с данными полевых исследований [23, 24].

В исследовании И.Н. Ротановой и О.А. Васильевой [25] проводится подробная оценка обзорных точек с позиции живописности ландшафтов в зоне

видимости наблюдателя. Данное исследование связано с будущим планированием туристических маршрутов на территории природного парка «Предгорья Алтай». В качестве объектов исследования были выбраны локальные модельные объекты (ландшафтные и ботанические смотровые площадки, горные вершины и др.). Суть оценки заключалась в определении границ зон видимости, открывающихся с каждого модельного объекта. Послойное наложение полученных зон видимости позволило создать обобщенную обзорную панораму видимости, на основе которой была проведена оценка эстетического потенциала территории природного парка.

Разработка набора данных с частными оценочными показателями для проведения комплексной ландшафтно-эстетической оценки предлагается в работе А.Ю. Бибяевой, А.А. Макарова [26]. Данное исследование проводилось на основе цифровой модели рельефа (ЦМР). Авторы отмечают, что именно рельеф выступает в качестве главного фактора формирования условий восприятия и общей структуры пейзажной картины для горных территорий. В данном случае основные свойства наблюдаемой пейзажной картины зависят от экспозиции и уклона смотровой площадки, ее принадлежности к конкретному типу и элементу рельефа. Совмещенный анализ пространственной организации геосистем и морфометрических показателей рельефа позволяет оценить ландшафтные особенности смотровых площадок, обозначить пространственные границы наблюдаемых ландшафтов, включая видимые объекты, а также определить глубину пейзажной перспективы. Полученные данные могут использоваться в целях организации туристических и рекреационных пеших маршрутов с учетом энергетических нагрузок на разные категории туристов.

Оценка эстетических ресурсов с применением геоэкологического подхода детально раскрывается в работе Б.И. Кочурова и Н.В. Бучацкой [27]. С учетом ландшафтных особенностей были проложены маршруты и проведена фотосъемка с видовых точек таким образом, чтобы они могли охарактеризовать эстетические особенности ландшафтов территории. В пределах выделенных ареалов были выбраны наиболее типичные пейзажные картины с наибольшим описанием потенциальных возможностей, формирующих определенные типы пейзажей. С помощью факторного анализа отбирались показатели, определяющие эстетическую ценность ареалов; кластерный анализ позволил провести классификацию пейзажных ареалов для дальнейшего выявления сходных среди них признаков эстетичности. На основе полученных результатов была составлена карта ландшафтно-эстетических пейзажных групп.

Детальная методика, совмещающая в себе объективные и субъективные черты, предложена в работе Д.А. Дирина [28]. Данная работа посвящена определению объективных критериев эстетической ценности горных ландшафтов одного из районов в Республике Алтай. Отличительной особенностью исследования являлось использование комплексных показателей, которые представлены специфическими сочетаниями их составляющих визуальных компонентов: преобладающая цветовая гамма, композиционное устройство, наличие символических объектов и др. Для оценки эстетической привлекательности были заложены контрольные точки с подробным ландшафтным и эколого-эстетическим описанием, а также проведена фотосъемка открывающихся пейзажных панорам. На основе полученных результатов определены

главные закономерности дифференциации эстетических ресурсов в границах ландшафтов исследуемого района.

Активно развивается данное направление и среди зарубежных исследователей (J. Daubert, R. Young (1981), T. Brown (1991), T. Simonic (2003), R. Fourie (2005), P. Kosmopoulos (2005), Y. Wu (2006), A. Carlson (2008), M. Roth, D. Gruehn (2012), Y. Aoki (2013, 2014) и др.). С каждым годом внедряются более усовершенствованные технологии для изучения эстетических свойств территорий и рекреационного планирования. Существенно увеличивается точность исследований при использовании пространственных данных сверхвысокого разрешения, которые могут быть получены путем аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В настоящее время изучением последовательности получения пространственных данных с БПЛА и возможностей анализа данных в целях развития туризма занимаются С. Hackney, A. Clayton (2015), P. Cwiakala, R. Kocierz и др. (2017), L. Shaoyu, D. Weijie и др. (2018), T. Murtha, E. Broadbent, C. Golden (2019), Y. Shiou, D. Chengju и др. (2020). В работе P. Cwiakala и др. [29] оценивается безопасность туристических маршрутов в горных районах. Основными материалами исследования служат облака точек, ЦМР, ортофотомозаики, которые позволяют учитывать влияние даже незначительных объектов на конфигурацию зоны видимости, а значит, и на эстетическое восприятие наблюдаемых ландшафтов. Подробный алгоритм оценки туристических маршрутов описывается в работе Y. Shiou и др. [30]. На основе ортофотомозаики авторы оценивают такие показатели, как состояние тропы, зелененность и наличие эстетически значимых объектов в зоне видимости. Подобная методика позволяет разбить весь маршрут на участки, различающиеся между собой по степени безопасности, комфорта и эстетической привлекательности.

Широкое распространение на основе фотосъемки получило создание трехмерных моделей местности, что позволяет избежать трудоемких полевых исследований и проводить анализ с высокой точностью. В своей работе С. Hackney и A. Clayton [31] наглядно демонстрируют возможности построения ортофотопланов для спектрального анализа и создание цифровой модели местности (ЦММ). В исследовании L. Shaoyu и др. [32] проводится построение 3D-модели для планирования туристско-рекреационной деятельности и проектирования инфраструктуры.

## Заключение

Эстетика ландшафтов — новое направление в ландшафтоведении. Оценка эстетических свойств ландшафта связана не только с характеристикой пейзажа, но и с некоторыми физиологическими особенностями человека.

Традиционные методы оценки эстетических свойств ландшафта опираются на достаточно большое количество показателей для того, чтобы минимизировать субъективность восприятия. Современные методы оценки используют новые подходы, связанные с применением ГИС-технологий и автоматической обработкой снимков высокого разрешения. Эти методы можно применять для решения планировочных задач, связанных с организацией территории в целях развития туризма и рекреации.

## Список литературы

- [1] Гумбольдт А. Картины природы / пер. с нем. Т.И. Коншиной; под ред. С.В. Обручева. М.: Географиз. 1959. 270 с.
- [2] Геттнер А. География. Ее история, сущность и методы. М.—Л.: Государственное издательство. 1930. 416 с.
- [3] Семенов-Тянь-Шанский В.П. Район и страна. М.—Л.: Государственное издательство, 1928. 311 с.
- [4] Голд Дж. Психология и география: Основы поведенческой географии. М.: Прогресс, 1990. 304 с.
- [5] Николаев В.А. Ландшафтоведение: эстетика и дизайн. М.: Аспект-Пресс, 2005. 176 с.
- [6] Аткина Л.И. Эстетика ландшафта: учеб. пособие. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2017. 74 с.
- [7] Birkhoff G. Aesthetic measure. Cambridge: Harvard University Press, 1933. 292 p.
- [8] Николаев В.А. Эстетическое восприятие ландшафта // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 1999. № 6. С. 10—15.
- [9] Gobster P.H. An ecological aesthetic for forest landscape management // Landscape Journal. 1999. No. 18(1). Pp. 54—64.
- [10] Toadvine T. Ecological aesthetics. In: Handbook of Phenomenological Aesthetics. Netherlands: Springer, 2009. Pp. 85—91.
- [11] Дирин Д.А., Попов Е.С. Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов: методологический обзор // Известия Алтайского государственного университета. 2010. № 3. С. 120—124.
- [12] Cosgrove D. Social formation and symbolic landscape (2nd ed.). Madison: University of Wisconsin Press, 1998. 332 p.
- [13] Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988. 464 с.
- [14] Филли В.А. Видеоэкология что для глаза хорошо, а что — плохо. М.: Видеоэкология, 2006. 512 с.
- [15] Норберг-Шульц К. Жизнь имеет место // Известия высших учебных заведений. Architecton. 1995. № 1—2. С. 27—30.
- [16] Бредихин А.В. Эстетическая оценка рельефа при рекреационно-геоморфологических исследованиях // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2005. № 3. С. 7—13.
- [17] Горбунова Т.Ю., Горбунов Р.В., Ключкина А.А. Оценка пейзажно-эстетической ценности ландшафтов Юго-Восточного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3 (69). № 2. С. 236—248.
- [18] Калашникова О.В. Пейзажеобразующее значение элементов ландшафтной структуры // Вестник Томского государственного университета. 2003. № 3. С. 90—93.
- [19] Мухина Л.И. Опыт разработки методики рекреационной оценки природных комплексов // Географические проблемы организации отдыха и туризма. 1975. № 2. С. 3—13.
- [20] Назаров Н.Н., Постников Д.А. Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов Пермской области для целей туризма и рекреации // Известия Русского географического общества. 2002. № 4. С. 3—18.
- [21] Фролова М.Ю. Оценка эстетических достоинств природных ландшафтов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 1994. № 24. С. 27—33.
- [22] Эрингис К.И., Будрюнас А.—Р.А. Сущность и методика детального эколого-эстетического исследования пейзажей // Экология и эстетика ландшафта. Вильнюс, 1975. С. 107—160.
- [23] Шеремет Э.А., Дехнич В.С., Калуцкова Н.Н. Возможности применения ГИС-технологий для оценки визуальных свойств ландшафтов при организации геопарков // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152. № 6. С. 69—78. <https://doi.org/10.31857/S0869607120060063>
- [24] Шеремет Э.А., Калуцкова Н.Н., Дехнич В.С. Визуальные свойства ландшафтов и методы их оценки с применением ГИС (на примере Белоградчишских скал (Болгария)) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы Международной конференции. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 2. С. 191—204. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-191-204>
- [25] Ротанова И.Н., Васильева О.А. Оценка эстетической привлекательности ландшафтов проектируемого природного парка «Предгорье Алтая» с применением геоинформационных технологий // Наука и туризм: стратегии взаимодействия. 2017. № 7 (5). С. 29—36.
- [26] Бибеева А.Ю., Макаров А.А. Применение ГИС для расчета комплексных показателей эстетической оценки ландшафтов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 17—33. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.17>
- [27] Кочуров Б.И., Буцацкая Н.В. Оценка эстетического потенциала ландшафта // Юг России: экология, развитие. 2007. № 4. С. 25—34. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2007-4-25-34>
- [28] Дирин Д.А. Оценка и рекреационное использование пейзажно-эстетических ресурсов Усть-Коксинского района Республики Алтай. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2007. 135 с.

[29] Cwiakala P., Kocierz R. Assessment of the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the documentation of hiking trails in Alpine areas // *International Journal Sensors* by MDPI. 2017. Vol. 18. No 1. Pp. 1—28. <https://doi.org/10.3390/s18010081>

[30] Shiou Y., Chengju D. Assessing safety and suitability of old trails for hiking using ground and drone surveys // *International Journal Geo-Informational*. 2020. Vol. 9. No 4. Pp. 1—17. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040221>

[31] Hackney C., Clayton A. Unmanned aerial vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping // *Geomorphological Techniques*. 2015. Chap. 1. Sec. 1.7. Pp. 1—15.

[32] Shaoyu L., Weijie D. Application of UAV oblique photograph modeling technology in mountain tourism planning // 3rd International Symposium on EEEMS2018. Francis Academic Press. UK. 2018. Pp. 240—245. <https://doi.org/10.25236/eeems.2018.047>

## References

[1] Gumbol'dt A. *Pictures of Nature*. Translation from the German by TI. Konshina, edited by SV Obruchev. Moscow: Geografiz Publ. 1959. (In Russ.)

[2] Gettner A. *Geography. Its history, essence and methods*. M.—L.: State Publishing House, 1930. (In Russ.)

[3] Semenov-Tyan-Shanskii VP. *District and Country*. M.—L.: State Publishing House, 1928. (In Russ.)

[4] Gold J. *Psychology and Geography: Foundations of Behavioral Geography*. Moscow: Progress Publ. 1990. (In Russ.)

[5] Nikolaev VA. *Landscape Science: Aesthetics and Design*. Moscow: Aspect-Press Publ. 2005. (In Russ.)

[6] Atkina LI. *Landscape aesthetics: a textbook*. Ekaterinburg: Yekaterinburg: Ural State Forestry University Publ. 2017. (In Russ.)

[7] Birkhoff G. *Aesthetic measure*. Cambridge: Harvard University Press. 1933.

[8] Nikolaev VA. Aesthetic perception of the landscape. *Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography*. 1999;(6):10—15. (In Russ.)

[9] Gobster PH. An ecological aesthetic for forest landscape management. *Landscape Journal*. 1999;(18(1)):54—64.

[10] Toadvine T. *Ecological aesthetics*. In: *Handbook of Phenomenological Aesthetics*. Netherlands: Springer. 2009.

[11] Dirin DA, Popov ES. Assessment of landscape and aesthetic attractiveness of landscapes: a methodological review. *Proceedings of the Altai State University*. 2010;(3):120—124. (In Russ.)

[12] Cosgrove D. *Social formation and symbolic landscape* (2nd ed.). Madison: University of Wisconsin Press. 1998.

[13] Gibson J. *Ecological approach to visual perception*. Moscow: Progress Publ. 1988. (In Russ.)

[14] Filin VA. *Videoecology what is good for the eye and what is bad*. Moscow: Videoecology, 2006.

[15] Norberg-Shul'ts K. Life has a place. *Proceedings of Higher Education Institutions. Architecton*. 1995;(1—2):27—30. (In Russ.)

[16] Bredikhin AV. Aesthetic evaluation of the relief in recreational and geomorphological studies. *Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography*. 2005;3:7—13. (In Russ.)

[17] Gorbunova TYu, Gorbunov RV, Klyuchkina AA. Estimation of landscape-aesthetic value of landscapes of the South-Eastern Crimea. *Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*. 2017;3(69)(3(2)):236—248. (In Russ.)

[18] Kalashnikova OV. Landscape-forming value of elements of landscape structure. *Bulletin of Tomsk State University*. 2003;(3):90—93. (In Russ.)

[19] Mukhina LI. Experience in developing methods of recreational assessment of natural complexes. *Geographical problems of recreation and tourism*. Moscow. 1975;(2):3—13. (In Russ.)

[20] Nazarov NN, Postnikov DA. Evaluation of landscape and aesthetic attractiveness of landscapes of the Perm region for tourism and recreation. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2002;(4):3—18. (In Russ.)

[21] Frolova MYu. Evaluation of the aesthetic merits of natural landscapes. *Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography*. 1994;(24):27—33. (In Russ.)

[22] Eringis KI, Budryunas ARA. The essence and methods of detailed ecological and aesthetic research of landscapes. *Ecology and aesthetics of landscape*. Vilnius. 1975:107—160.

[23] Sheremet EA, Dekhnich VS, Kalutskova NN. Perspectives of GIS-technology application for visual evaluation of landscapes for organization of geopark. *Bulletin of the Russian Geographical Society*. 2020;152(2):69—78. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869607120060063>

[24] Sheremet EA, Kalutskova NN, Dekhnich VS. Visual characteristics of landscapes and methods for their assessment on GIS (Belogradchik rocks (Bulgaria) as an example). *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Moscow: MSU, Faculty of Geography. 2021;27(2):191—204. (In Russ.) <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-191-204>

- [25] Rotanova IN, Vasil'eva OA. Estimation of aesthetic attractiveness of landscapes of the projected nature park «Altai foothills» with the use of geoinformation technologies. *Science and tourism: strategies of interaction. Barnaul: Altai University Press.* 2017;(7(5)):29—36. (In Russ.)
- [26] Bibaeva AYu, Makarov AA. Application of GIS to calculate the complex indicators of aesthetic assessment of landscapes. *Proceedings of the Irkutsk State University. Series: Earth Sciences.* 2018;24:17—33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26516/2073—3402.2018.24.17>.
- [27] Kochurov BI, Buchatskaya NV. Evaluation of the aesthetic potential of the landscape. *South of Russia: Ecology, Development.* 2007;(4):25—34. (In Russ.) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2007-4-25-34>.
- [28] Dirin DA. Evaluation and recreational use of landscape and aesthetic resources of Ust-Koksinsk district of the Altai Republic. Novosibirsk: Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2007. (In Russ.)
- [29] Cwiakala P, Kocierz R. Assessment of the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the documentation of hiking trails in Alpine areas. *International Journal Sensors by MDPI.* 2017;18(1):1—28. <https://doi.org/10.3390/s18010081>.
- [30] Shiou Y, Chengju D. Assessing safety and suitability of old trails for hiking using ground and drone surveys. *International Journal Geo-Informational.* 2020;9(4):1—17. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040221>.
- [31] Hackney C, Clayton A. Unmanned aerial vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping. *Geomorphological Techniques.* 2015;1(1.7):1—15.
- [32] Shaoyu L, Weijie D. Application of UAV oblique photograph modeling technology in mountain tourism planning. *3rd International Symposium on EEEMS2018.* Francis Academic Press. UK. 2018:240—245. <https://doi.org/10.25236/eeems.2018.047>.

#### Сведения об авторе:

Лозбенева Элина Алексеевна, инженер географического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119899, Москва, Ленинские горы, д. 1. ORCID: 0000-0002-8668-2182, SPIN-код: 9250-3908. E-mail: elina7-sheremet@mail.ru

#### Bio note:

Elina A. Lozbeneva, engineer of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, GSP-1 Leninskie Gory, Moscow, 119899, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8668-2182, SPIN-code: 9250-3908. E-mail: elina7-sheremet@mail.ru



# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-127-142

УДК 574.5, 502.5, 504.062.2

*Научная статья / Research article*

## Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга

О.А. Соболева  , Л.Н. Анищенко Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского,  
Брянск, Россия OAsoboleva@bk.ru

**Аннотация.** Представлены результаты эколого-химического и токсикологического анализа 20 модельных родников на территории городских и сельских поселений Брянской области в рамках водного мониторинга. Приведены показатели гидрохимии и фитотоксичности методом биотестирования. Родники классифицированы по температуре, дебиту, величине pH, значению минерализации и показателю «общая жесткость». Показаны корреляционные связи между полученными гидрохимическими показателями родниковых вод. Дополнения мониторинговой базы по состоянию родниковых вод в летнюю межень 2020 г. показали, что доминирующий поллютант вод в урочищах урботерриторий Брянской области — нитрат-ионы — превышают допустимые нормы показатели содержания общего железа. Среди модельных родников 25 % имеют превышение содержания нитрат-ионов относительно норм предельно допустимых концентраций (45 мг/л), 20 % — значительное превышение нормируемого показателя «железо общее» (0,3 мг/л). Расчет индекса фитотоксичности показал, что образцы воды двух родников — токсичны (коэффициент  $J > 20$ ). Эколого-химический анализ родников и определение степени гемеробности урочища родников показали, что нитрат-ионы и хлорид-ионы являются индикаторными показателями антропогенного воздействия на природные воды. Сопряженный анализ показателей гидрохимии вод выявил сильные корреляционные зависимости между параметрами «общая минерализация — общая жесткость», «общая минерализация — хлорид-ионы», «электропроводность — хлорид-ионы», «электропроводность — общая жесткость», «электропроводность — общая минерализация». Проведено ранжирование родников по степени антропогенного преобразования ландшафта. По шкале гемеробности родниковые урочища классифицировали по семи степеням: метагемеробная (один родник), полигемеробная (два родника),  $\alpha$ -эвгемеробная (два родника),  $\beta$ -эвгемеробная (один родник), мезогемеробная (шесть родников), олигогемеробная (восемь родников).

© Соболева О.А., Анищенко Л.Н., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

**Ключевые слова:** родники, подземные воды, эколого-химический анализ родниковых вод, фитотоксичность вод, корреляционный анализ, Брянская область

**Вклад авторов.** О.А. Соболева — полевые исследования, химический и фитотоксикологический анализ родниковых вод, интерпретация результатов, подготовка текста статьи. Л.Н. Анищенко — общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, критический анализ текста.

**История статьи:** поступила в редакцию 04.01.2022; принята к публикации 04.03.2022.

**Для цитирования:** Соболева О.А., Анищенко Л.Н. Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 127—142. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-127-142>

## Integrated assessment of the spring waters of the Bryansk region in the system of state monitoring

Olga A. Soboleva  , Lidiya N. Anishchenko 

*Bryansk state university of academician I.G. Petrovsky,  
Bryansk, Russia*  
 OAsoboleva@bk.ru

**Abstract.** The results of ecological-chemical and toxicological analysis of 20 model springs on the territory of urban and rural settlements of the Bryansk region within the framework of water monitoring are presented. Indicators of hydrochemistry and phytotoxicity by the biotesting method are presented. The springs are classified according to temperature, flow rate, pH value, salinity and total hardness. Correlation relationships between the obtained hydrochemical indicators of spring waters are shown. The additions to the monitoring base for the state of spring waters in the summer low-water period of 2020 showed that the dominant pollutant of water in the tracts of the urban areas of the Bryansk region is nitrate ions; the total iron content exceeds the permissible norms. Among the model springs, 25 % have an excess of the content of nitrate ions relative to the norms of maximum permissible concentrations (45 mg / L), 20 % — a significant excess of the normalized indicator «total iron» (0,3 mg / L). Calculation of the phytotoxicity index showed that water samples from two springs are toxic (coefficient  $J > 20$ ). Ecological and chemical analysis of springs and determination of the degree of hemerobity of the spring tract showed that nitrate ions and chloride ions are indicator indicators of anthropogenic impact on natural waters. Conjugate analysis of water hydrochemistry indicators revealed strong correlations between the parameters “total mineralization — total hardness”, “total mineralization — chloride ions”, “electrical conductivity — chloride ions”, “electrical conductivity — total hardness”, “electrical conductivity — total mineralization”. The springs are ranked according to the degree of anthropogenic transformation of the landscape. On the scale of hemerobity, the spring tracts were classified according to seven degrees: metagemerobic (one spring), polyhemerobic (two springs),  $\alpha$ -euhemerobic (two springs),  $\beta$ -euhemerobic (one spring), mesohemerobic (six springs), oligohemerobic (eight springs).

**Keywords:** springs, groundwater, ecological-chemical analysis, phytotoxicity of waters, correlation analysis, Bryansk region

**Authors' contributions.** O.A. Soboleva — field research, chemical and phytotoxicological analysis of spring waters, interpretation of the results, writing of the text. L.N. Anishchenko — general direction of research, interpretation of the results, critical analysis of the text.

**Article history:** received 04.01.2022; accepted 04.03.2022.

**For citation:** Soboleva OA, Anishchenko LN. Integrated assessment of the spring waters of the Bryansk region in the system of state monitoring. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):127—142. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-127-142>

## Введение

Природные водные экосистемы — среда обитания многих организмов, источник питьевой воды, ресурс для хозяйственной деятельности человека — в настоящее время подвергаются мощному антропогенному воздействию.

Качество компонентов окружающей среды, в частности водных ресурсов, определяется с помощью химических методов и на основе оценки состояния биологических объектов (биоиндикация) [1, 2]. При химическом анализе в экологических исследованиях выявление вредных веществ в воде не расшифровывает влияния поллютантов на биологические системы. При биоиндикации можно выявить результирующие накопления в организме токсических веществ, которые могут находиться в воде в следовых количествах, а со временем накапливаться в тканях и органах, концентрируясь в них [3, 4]. В данном исследовании применяли биотест на фитотоксичность (фитотест), адекватно реагирующий на экзогенное химическое воздействие путем снижения интенсивности прорастания корней и, следовательно, выступающий в роли индикатора токсичности. Фитотест информативен, высокочувствителен, характеризуется стабильностью получаемых результатов.

Таким образом, комплексная оценка водных ресурсов, в частности родниковых вод, включающая эколого-химический анализ и выявление степени токсичности воды, — важное звено в системе мероприятий по охране и рациональному использованию ресурсов. Многие родники используются населением в качестве альтернативных источников воды, прилегающие к родникам урочища — в рекреации, культовых целях, но из-за нестабильности качества вод это ресурсопользование проблематично и требует постоянного обновления общедоступной информации, т. е. ведения мониторинговой базы [5, 6]. Подобный кадастр для родников создается для многих староосвоенных регионов Европы и мира для решения вопросов сохранения здоровья населения, водообеспеченности ландшафтов [7, 8].

**Цель исследования** — представление результатов промежуточного комплексного обследования родниковых вод и контроля состояния родниковых урочищ по степени антропогенного преобразования ландшафтов на территории городских и сельских поселений Брянской области как административного центра Нечерноземья РФ.

Сохранение источников подземных вод (родников) от истощения и загрязнения и изучение динамики изменения их качественного состава — приоритетная задача в области государственной политики по охране компонентов сред обитания.

## Материалы и методы

В рамках экомониторинга водных объектов области проведен скрининг образцов природных вод из 20 родников семи районов Брянской области и города Брянска: г. Брянск (памятник природы регионального значения «Верхний Судок», родник пос. Чайковичи); Брянский район (родники д. Добрунь, д. Тиганово, с. Супоневы (Святой источник)); Унечский район (родники д. Рассуха-Гурок, Люба-Ключ (д. Алёновка), Серафим (д. Пески), Святой Антоний (д. Нежданово)); Суражский район (родник Фёдоровская криница (д. Фёдоровка), Серебряный ключ (д. Старая Кисловка)); Почепский район (родник с. Старопочепье); Погарский район (родники пгт. Погар, д. Балыкино); Жуковский район (родник Деснянка (г. Жуковка));

Дятьковский район (пгт. Любохна, пгт. Бытошь). Эти выходы родников приняты как модельные объекты для обследования их состояния при значительной и разнообразной антропогенной нагрузке и охватывающих многочисленные урочища основных групп ландшафтов.

Результаты представлены для летней межени 2020 г. после длительного бесснежного периода. Полевое обследование включало изучение обустройства родников и их дебита, установление координат и их уточнение, отбор вод для последующего анализа, выполнение диагностики физических характеристик (органолептических) вод осуществляли на месте.

Эколого-химический анализ родниковых вод проводили по аттестованным методикам ГОСТ Р. Органолептические характеристики определяли на основании ГОСТ Р 57164—2016<sup>1</sup>; pH измеряли потенциометрическим методом; общую минерализацию (сухой остаток), содержание сульфат-ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  определяли гравиметрией; общую жесткость, содержание хлорид-ионов  $\text{Cl}^-$  — титриметрически; содержание нитрат-ионов  $\text{NO}_3^-$ , нитрит-ионов<sup>2</sup>  $\text{NO}_2^-$ , фосфат-ионов<sup>3</sup>  $\text{PO}_4^{3-}$ , общее содержание железа<sup>4</sup> — спектрофотометрически. Химический анализ проводили на базе лаборатории охраны окружающей среды естественно-географического факультета БГУ имени академика И.Г. Петровского.

Результаты гидрохимии родниковых вод сравнивали с нормативными документами РФ<sup>5</sup>.

Наряду с физико-химическим анализом воды необходимы исследования биологических эффектов воздействия всех вредных агентов, присутствующих в водной среде [9]. Определяли показатели токсичности воды по методам биотестирования [10, 11]. В качестве объектов исследования использовали семена редиса (*Raphanus sativus* L.) раннеспелого сорта Французский завтрак одной партии производства «Группы компаний “Гавриш”», г. Москва. Определение фитотоксичности проводили по ГОСТ 12038-84<sup>6</sup>.

Определение индекса токсичности с помощью семян редиса основано на определении всхожести семян на исследуемой воде по сравнению с прорастанием семян на дистиллированной воде. Для этого готовили три пробы по 30 семян, которые распределяли равномерно фильтровальной бумаге в чашках Петри с 10 мл исследуемой воды. Через трое суток экспозиции при температуре 25 °С проводили учет непроросших семян и морфофизиологических характеристик проростков (длина стебля, дефекты развития). Контролем служили семена, пророщенные в дистиллированной воде.

Для количественного выражения токсического действия на всхожесть семян вычисляли индекс токсичности по формуле

<sup>1</sup> ГОСТ Р 57164—2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. М.: Стандартинформ, 2019. 18 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 33045—2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 18309—2014. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ (с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 4011—72. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа (с Изменениями N 1, 2). М.: Стандартинформ, 2008. С. 466—472.

<sup>5</sup> СанПиН 2.1.3684—21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 05.02.2021, № 0001202102050027.

<sup>6</sup> ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями № 1, 2, с Поправкой). М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 31 с.

$$J = \frac{(V_{\text{контроль}} - V_{\text{опыт}})}{V_{\text{контроль}}}, \quad (1)$$

где  $J$  — индекс токсичности;  $V_{\text{контроль}}$  — всхожесть семян в контрольном варианте;  $V_{\text{опыт}}$  — всхожесть семян в опытном варианте.

Величину эффекта торможения определяли по формуле

$$E_T = \frac{L_K - L_{\text{оп}}}{L_K} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $E_T$  — эффект торможения, %;  $L_{\text{оп}}$  — средняя длина корней в опытном варианте, мм;  $L_K$  — средняя длина корней в контрольном варианте, мм.

Для ранжирования изученных родников по степени антропогенного преобразования ландшафта использовали классификацию [12], согласно которой выделяется семь степеней гемеробности — окультуренности ландшафта. Степени гемеробности приведены ниже.

7. Метагемеробная. Характеризуется наибольшей степенью окультуренности ландшафта — это бедные видами ионерные ценозы, доля неофитов в которых составляет > 23 %, а терофитов > 40 %.

6. Полигемеробная. Территория подвержена глубокой или плантажной вспашке, на которой происходит постоянное или глубокое осушение или орошение, интенсивное удобрение почвы, использование биоцидов, полное уничтожение биоценоза и занятие экотопа чужеродным растительным материалом. Доля неофитов составляет 18—22 %, терофитов > 40 %.

5.  $\alpha$ -Эвгемеробная. Сельскохозяйственные угодья с типичной развитой флорой сорняков, сеяные луга с сорняками, интенсивно используемые леса со слабо развитым травяным ярусом. Формируются типичные сегетальные сообщества, однолетние рудеральные сообщества, нитрофильные пионерные биоценозы. Доля неофитов 13—17 %, терофитов 30—40 %.

4.  $\beta$ -Эвгемеробная. Интенсивно используемые пастбища, луга, леса. Формируются многочисленные устойчивые рудеральные сообщества, декоративные газоны, лесопосадки из видов, не свойственных местной флоре и данному местообитанию с развитым надземным ярусом. Произрастает 13—17 % неофитов, 21—30 % терофитов.

3. Мезогемеробная. Насаждения чуждых данному местообитанию пород деревьев с развитым кустарниковым и травяным ярусами; пустоши, суходольные и малопродуктивные луга; ландшафтные парки. Доля неофитов составляет 5—12 %, терофитов < 20 %.

2. Олигогемеробная. Леса с незначительным лесохозяйственным уходом или слабым выпасом, растущие песчаные дюны, развивающиеся низинные и верховые болота. Доля неофитов < 5 %, терофитов < 20 %.

1. Агемеробная. Скалистые, болотистые, тундровые области. Антропогенные воздействия отсутствуют. Водная, болотная и наскальная растительность. Неофиты отсутствуют, терофитов менее 20 %.

Родниковые урочища обследовали визуально, применяя вышеописанную шкалу и проводя геоботаническое и экологическое описание в границах частей ландшафта, занимаемых родниками.

Статистическая обработка полученных данных проводилась общепринятыми методами и методиками с применением пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010 [13]. Выполняли одномерный анализ регрессионных рядов.

## Результаты и обсуждение

Из 20 исследованных родников на территории городских и сельских поселений Брянской области — 14 подводных.

Средний дебит (расход воды в единицу времени) каптированных родников составил  $0,168 \pm 0,095$  л/с, т.е. исследованные родники относятся к классу малodeбитных. Наибольший дебит у родника Святой источник в с. Супонево ( $0,304 \pm 0,010$  л/с). Родниковые воды классифицируются как холодные — средняя температура  $9,6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$  при наружной температуре воздуха  $+21\text{—}28 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В таблице 1 представлены результаты эколого-химического и фитотоксикологического анализов родниковых вод. Урочища родников распределены в ряд по возрастанию уровня экологической ценности, в качестве которой использована степень гемеробности — интегральная мера воздействия всех антропогенных факторов на экосистемы [14, 15]. Степень гемеробности, выраженная в баллах (агемеробная среда — 1, олигогемеробная — 2, метагемеробная — 7), отражает антропогенное воздействие на растительность и на ландшафт в целом, а следовательно, может выступать в качестве индикатора антропогенного загрязнения вод родников.

Исследования степени гемеробности родниковых урочищ дают ценные данные с природоохранной точки зрения. Так, агемеробные и олигогемеробные территории представляют собой земли, максимально заслуживающие охраны. Восемь ландшафтов — территории 40 % родников от числа исследованных (№ 1—8 в табл. 1) — классифицированы как олигогемеробные, с незначительной степенью антропогенного воздействия. Преимущественно это леса с незначительным лесохозяйственным уходом или слабым выпасом. Девять родниковых урочищ имеют средний уровень гемеробности 3—5 (территории родников № 9—17 в табл. 1). Это родники в г. Брянске, а также в Брянском, Погарском и Унечском районах. Местности, прилегающие к руслу родников, интенсивно используются как пастбища (урочища родников № 16, 17), в них оборудованы ландшафтные парки (урочища родников № 9, 14), местообитания заняты малопродуктивными лесами (№ 10—13, 15).

Районы родников № 18—20 характеризуются высокой степенью геоэкологической напряженности и нуждаются в интенсивном озеленении — насаждения на этих озелененных территориях практически полностью уничтожены, а участки заасфальтированы (№ 18, 20) или застроены (№ 19), биоценозы сильно обеднены, биотопы постоянно подвержены сильному изменению.

Измерения рН в родниковых водах показали, что водородный показатель не выходит за пределы нормативного значения и составляет в среднем  $7,66 \pm 0,33$ . В зависимости от рН исследуемые родниковые воды отнесены к следующим группам: воды родников № 1, 7, 8, 10, 11, 15 — нейтральные; воды родников № 2—6, 9, 12—14, 16—20 — слабощелочные (классификация по [16]).

Результаты эколого-химического анализа вод родников Брянской области (летняя межень, 2020 г.)

Родник №	Степень гемеробности	pH	Нитрат-ионы	Нитрит-ионы NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Фосфат-ионы PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	Хлорид-ионы Cl <sup>-</sup> , мг/л	Общая жесткость, °Ж	Железо общее, мг/л	Сульфат-ионы SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	Электропроводность, мксм/см	Индекс J	Эффект торможения E <sub>T</sub> , %
ПДК		6-9	45	3,3	3,5	350	7-10	0,3	500	1000	2000	20	
1	2	7,08	13,3	0,081	0,392	17,8	5,80	0,160	2,10	337	573	0	12,03
2	2	7,84	5,42	0,028	0,641	13,5	4,20	<b>0,814</b>	38,6	221	343	4,444	5975
3	2	7,65	5,13	0,021	1,16	16,6	4,30	0,281	38,8	226	359	4,444	7748
4	2	8,11	7,08	0,076	0,873	4,60	2,80	0,173	39,4	131	306	7,143	31,12
5	2	7,95	6,88	0,068	0,853	6,40	2,70	0,098	30,1	185	309	5,952	-4,786
6	2	7,75	6,28	0,078	0,826	7,40	3,10	0,112	43,2	168	308	10,71	-2,791
7	2	7,08	13,1	0,101	0,489	7,40	2,86	0,141	33,2	91	250	14,12	56,89
8	2	7,50	следы	0,042	1,42	2,40	3,50	<b>0,672</b>	7,30	198	303	<b>20,00</b>	64,31
9	3	8,55	24,1	0,210	0,769	58,9	7,40	<b>0,718</b>	40,3	601	814	10,59	9,647
10	3	7,36	<b>55,9</b>	0,053	0,441	42,9	8,90	<b>0,396</b>	11,2	550	862	10,59	36,23
11	3	6,76	41,5	0,075	0,801	25,8	7,50	0,107	15,1	480	709	14,12	64,50
12	3	7,61	31,4	0,056	0,687	69,3	<b>10,2</b>	0,271	104	721	1041	-2,439	-17,58
13	3	7,93	<b>54,4</b>	0,181	0,321	57,4	7,20	0,165	42,2	571	755	8,235	-11,52
14	3	8,16	8,18	0,072	0,824	7,10	3,80	0,107	28,4	153	316	10,71	32,54
15	4	7,11	7,62	0,072	0,734	12,9	2,90	0,111	5,10	115	314	5,882	38,26
16	5	7,52	<b>68,4</b>	0,082	0,587	36,8	8,30	0,257	38,9	680	849	-2,353	-65,11
17	5	7,85	<b>81,5</b>	0,086	0,648	45,7	8,50	0,162	45,0	491	713	14,63	17,39
18	6	7,91	3,56	0,019	0,567	42,6	5,50	0,206	следы	362	616	1,111	12,58
19	6	7,76	<b>90,4</b>	0,063	0,775	50,3	8,80	0,156	67,5	733	824	<b>23,53</b>	69,69
20	7	7,73	20,5	0,121	0,518	39,3	4,80	0,141	7,20	340	449	9,524	48,22

Примечание. Местонахождение родников: 1 – д. Титаново; 2 – пгт. Бытош; 3 – г. Жуковка; 4-6 – д. Старая Кисловка; 7 – д. Алёновка; 8 – д. Пески; 9 – г. Брянск («Верхний Судок»); 10 – с. Супонево; 11 – д. Добрунь; 12 – пгт. Погар; 13 – д. Нежданово; 14 – д. Старая Кисловка; 15 – д. Рассуха-Гурук; 16 – пос. Чайковичи; 17 – д. Балыкино; 18 – пгт. Любохна; 19 – с. Старополчелье; 20 – д. Фёдоровка.

Table 1

## The results of the ecological-chemical analysis of the waters of the springs of the Bryansk region (summer low water, 2020)

Spring No.	Degree of haemorrhage	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Nitrate ions, mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Nitrite ions, mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Phosphate ions, mg/l	Cl <sup>-</sup> , Chloride ions, mg/l	Total hardness, mg-eq/l	Total iron, mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Sulfate ions, mg/l	Total mineralization (dry residue), mg/l	Electrical conductivity, mkSm/sm	Index J	E <sub>i</sub> Effect of inhibition, %
Permissible concentration		6-9	45	3,3	3,5	350	7-10	0,3	500	1000	2000	20	
1	2	7,08	13,3	0,081	0,392	17,8	5,80	0,160	2,10	337	573	0	12,03
2	2	7,84	5,42	0,028	0,641	13,5	4,20	<b>0,814</b>	38,6	221	343	4,444	5,975
3	2	7,65	5,13	0,021	1,16	16,6	4,30	0,281	38,8	226	359	4,444	77,48
4	2	8,11	7,08	0,076	0,873	4,60	2,80	0,173	39,4	131	306	7,143	31,12
5	2	7,95	6,88	0,068	0,853	6,40	2,70	0,098	30,1	185	309	5,952	-4,786
6	2	7,75	6,28	0,078	0,826	7,40	3,10	0,112	43,2	168	308	10,71	-2,791
7	2	7,08	13,1	0,101	0,489	7,40	2,86	0,141	33,2	91	250	14,12	56,89
8	2	7,50	trace amounts	0,042	1,42	2,40	3,50	<b>0,672</b>	7,30	198	303	<b>20,00</b>	64,31
9	3	8,55	24,1	0,210	0,769	58,9	7,40	<b>0,718</b>	40,3	601	814	10,59	9,647
10	3	7,36	<b>55,9</b>	0,053	0,441	42,9	8,90	<b>0,396</b>	11,2	550	862	10,59	36,23
11	3	6,76	41,5	0,075	0,801	25,8	7,50	0,107	15,1	480	709	14,12	64,50
12	3	7,61	31,4	0,056	0,687	69,3	<b>10,2</b>	0,271	104	721	1041	-2,439	-17,58
13	3	7,93	<b>54,4</b>	0,181	0,321	57,4	7,20	0,165	42,2	571	755	8,235	-11,52
14	3	8,16	8,18	0,072	0,824	7,10	3,80	0,107	28,4	153	316	10,71	32,54
15	4	7,11	7,62	0,072	0,734	12,9	2,90	0,111	5,10	115	314	5,882	38,26
16	5	7,52	<b>68,4</b>	0,082	0,587	36,8	8,30	0,257	38,9	680	849	-2,353	-65,11
17	5	7,85	<b>81,5</b>	0,086	0,648	45,7	8,50	0,162	45,0	491	713	14,63	17,39
18	6	7,91	3,56	0,019	0,567	42,6	5,50	0,206	trace amounts	362	616	1,111	12,58
19	6	7,76	<b>90,4</b>	0,063	0,775	50,3	8,80	0,156	67,5	733	824	<b>23,53</b>	69,69
20	7	7,73	20,5	0,121	0,518	39,3	4,80	0,141	7,20	340	449	9,524	48,22

Note. The location of the springs: 1 – village Tiganovo; 2 – urban settlement Bytosh; 3 – town Zhukovka; 4–6 – village Staraya Kislovka; 7 – village Alyonovka; 8 – village Peski; 9 – Bryansk (“Verkhniy Sudok”); 10 – settlement Suponevo; 11 – village Dobrun; 12 – town Pogar; 13 – village Nezhdanovo; 14 – village Staraya Kislovka; 15 – village Rassukha-Gurok; 16 – settlement Chaikovichi; 17 – village Balykino; 18 – urban settlement Lyubokhna; 19 – village Staropochep’ye; 20 – village Fedorovka

Приоритетными загрязнителями исследованных родниковых вод признаны нитрат-ионы и железо общее. Среднее содержание нитрат-ионов —  $27,3 \pm 23,2$  мг/л. Пять родников из 20 исследованных имеют значимое превышение этого показателя относительно норм ПДК<sup>1</sup>. Родник № 17 превышает установленную норму в 1,8 раза, родник № 19 — в 2,0 раза.

Отмечена прямая корреляционная связь между параметрами «нитрат-ионы: степень гемеробности» ( $r = 0,493$ ) — это свидетельствует о том, что с увеличением степени преобразованности ландшафта повышается концентрация нитрат-ионов в родниковой воде. Так, значение  $\text{NO}_3^-$  в исследованных родниках варьируется от следовых количеств (родник № 8, степень гемеробности — 2) до 90,4 мг/л (родник № 19, степень гемеробности — 6). Таким образом, содержание нитратов в природных водах может рассматриваться в качестве индикатора антропогенного загрязнения вод, происходящего в результате попадания в них бытовых и иных стоков или смыва минеральных удобрений с пахотных угодий.

Индикаторным показателем антропогенного воздействия на природные воды наряду с нитрат-ионами могут служить и хлорид ионы ( $r = 0,526$ ), попадающие в избыточном количестве в питьевую воду с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами.

Зафиксированы наибольшие отклонения от норм ПДК показателя «железо общее». Четыре родника из 20 исследованных (№ 2, 8, 9, 10) имеют значительное превышение этого параметра — в 2,7; 2,2; 2,4; 1,3 раза соответственно. Вода родников № 3, 4, 16 показывает содержание железа общего 0,8—0,9 ПДК. В целом 13 родников из 20 изученных (65 %) имеют содержание выше 0,5 ПДК. Среднее содержание общего железа составило  $0,262 \pm 0,158$  г/мл. Высокие показатели железа общего в родниках Брянской области могут быть объяснены природной геохимической аномалией железа в регионе. Это предположение доказывает и рассчитанный нами отрицательный корреляционный коэффициент между параметрами «общее железо: степень гемеробности» ( $r = -0,255$ ), который указывает на отсутствие взаимосвязи антропогенного воздействия на ландшафт и содержание железа в питьевой воде.

Содержание солей кальция и магния (показатель «общая жесткость») варьируется в родниках региона от 2,70 до 10,2 °Ж. По данному показателю источники можно разделить на три группы [17]:

1-я группа: источники с высоким суммарным содержанием солей  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , превышающим значения ПДК (больше 10°Ж) — родник № 12. Вода этого родника классифицируется как очень жесткая;

2-я группа: вода, соответствующая нормативам по общей жесткости (7—10 °Ж) — родники № 9—11, 13, 16, 17, 19 — тип жестких вод;

3-я группа: родники, в воде которых содержание солей  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  меньше нормы (меньше 7 °Ж) — родники № 1—8, 14, 15, 18, 20. Согласно классификации [16] воды родников № 1—3, 6, 8, 14, 18, 20 — умеренно жесткие, воды родников № 4, 5, 7, 15 — мягкие.

Индикаторным показателем антропогенного воздействия на природные воды наряду с нитрат-ионами могут служить и хлорид ионы ( $r = 0,526$ ), попадающие в избыточном количестве в питьевую воду с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами.

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.3684–21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 05.02.2021, № 0001202102050027

Таблица 2

Матрица парных корреляций полученных гидрохимических показателей родниковых вод

	W	d	°C	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	°Ж	Fe <sub>общ.</sub> <sup>'</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Общ. мин., мг/л	ЭП, мкСм/см	J	E <sub>T</sub> %
Степень гемеробности W															
Дебит d	0,191														
Температура, °C	0,401	-0,0676													
pH	0,0921	-0,0878	-0,0269												
Нитрат-ионы NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,493	0,688	-0,1302	-0,0501											
Нитрит-ионы NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,0636	-0,344	0,1074	0,315	0,226										
Фосфат-ионы PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	-0,304	-0,182	-0,0228	0,125	-0,347	-0,364									
Хлорид-ионы Cl <sup>-</sup> , мг/л	0,526	0,668	0,2301	0,228	0,640	0,391	-0,447								
Общая жесткость, °Ж	0,396	0,642	0,0117	-0,0325	0,801	0,172	-0,360	0,873							
Железо общее Fe <sub>общ.</sub> <sup>'</sup> , мг/л	-0,255	0,562	0,1839	0,279	-0,159	0,00712	0,273	0,0754	0,0735						
Сульфат-ионы SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	-0,0550	0,354	-0,3336	0,315	0,364	0,0739	0,0319	0,453	0,445	0,0186					
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	0,449	0,647	0,0771	0,0772	0,797	0,278	-0,330	0,896	0,960	0,0930	0,473				
Электропроводность (ЭП), мкСм/см	0,386	0,589	0,0707	0,0153	0,734	0,244	-0,398	0,906	0,977	0,0655	0,430	0,971			
Индекс J	0,0760	0,0150	0,0802	-0,00714	0,284	0,140	0,335	-0,111	-0,0451	0,0449	-0,0576	-0,0386	-0,142		
Эффект торможения E <sub>T</sub> %	-0,0224	-0,290	0,245	-0,2761	-0,147	-0,222	0,414	-0,295	-0,260	-0,0320	-0,287	-0,329	-0,356	0,654	

Table 2

Matrix of pairwise correlations of the obtained hydrochemical parameters of spring waters

	W	d	°C	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg/l	Cl <sup>-</sup> , mg/l	Total hard- ness, mg/l	Fe <sup>total</sup> , Total iron, mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Sulfate ions, mg/l	Total mineral- ization, mg/l	Electrical conduc- tivity, mkSm/ sm	J	Effect of inhibition, %
Degree of haemorrhage															
Flow rate	0,191														
Temperature	0,401	-0,0676													
pH	0,0921	-0,0878	-0,0269												
Nitrate ions, mg/l	0,493	0,688	-0,1302	-0,0501											
Nitrite ions, mg/l	0,0636	-0,344	0,1074	0,315	0,226										
Phosphate ions, mg/l	-0,304	-0,182	-0,0228	0,125	-0,347	-0,364									
Chloride ions, mg/l	0,526	0,668	0,2301	0,228	0,640	0,391	-0,447								
Total hardness, mg/l	0,396	0,642	0,0117	-0,0325	0,801	0,172	-0,360	0,873							
Total iron, mg/l	-0,255	0,562	0,1839	0,279	-0,159	0,00712	0,273	0,0754	0,0735						
Sulfate ions, mg/l	-0,0550	0,354	-0,3336	0,315	0,364	0,0739	0,0319	0,453	0,445	0,0186					
Total mineralization (dry residue), mg/l	0,449	0,647	0,0771	0,0772	0,797	0,278	-0,330	0,896	0,960	0,0930	0,473				
Electrical conductivity, mkSm/sm	0,386	0,589	0,0707	0,0153	0,734	0,244	-0,398	0,906	0,977	0,0655	0,430	0,971			
Index J	0,0760	0,0150	0,0802	-0,00714	0,284	0,140	0,335	-0,111	-0,0451	0,0449	-0,0576	-0,0386	-0,142		
Effect of inhibition, %	-0,0224	-0,290	0,245	-0,2761	-0,147	-0,222	0,414	-0,295	-0,260	-0,0320	-0,287	-0,329	-0,356	0,654	

Зафиксированы наибольшие отклонения от норм ПДК показателя «железо общее». Четыре родника из 20 исследованных (№ 2, 8, 9, 10) имеют значительное превышение этого параметра — в 2,7; 2,2; 2,4; 1,3 раза соответственно. Вода родников № 3, 4, 16 показывает содержание железа общего 0,8 — 0,9 ПДК. В целом 13 родников из 20 изученных (65 %) имеют содержание выше 0,5 ПДК. Среднее содержание общего железа составило  $0,262 \pm 0,158$  г/мл. Высокие показатели железа общего в родниках Брянской области могут быть объяснены природной геохимической аномалией железа в регионе. Это предположение доказывает и рассчитанный нами отрицательный корреляционный коэффициент между параметрами «общее железо: степень гемеробности» ( $r = -0,255$ ), который указывает на отсутствие взаимосвязи антропогенного воздействия на ландшафт и содержания железа в питьевой воде.

Содержание солей кальция и магния (показатель «общая жесткость») варьируется в родниках региона от 2,70 до 10,2 °Ж. По данному показателю источники можно разделить на три группы [17]:

1-я группа: источники с высоким суммарным содержанием солей  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , превышающим значения ПДК (больше 10 °Ж) — родник № 12. Воды этого родника классифицируются как очень жесткая;

2-я группа: вода, соответствующая нормативам по общей жесткости (7—10 °Ж) — это родники № 9—11, 13, 16, 17, 19 — тип жестких вод;

3-я группа: родники, в воде которых содержание солей  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  меньше нормы (меньше 7 °Ж) — родники № 1—8, 14, 15, 18, 20. Согласно классификации [16] воды родников № 1—3, 6, 8, 14, 18, 20 — умеренно жесткие, воды родников № 4, 5, 7, 15 — мягкие.

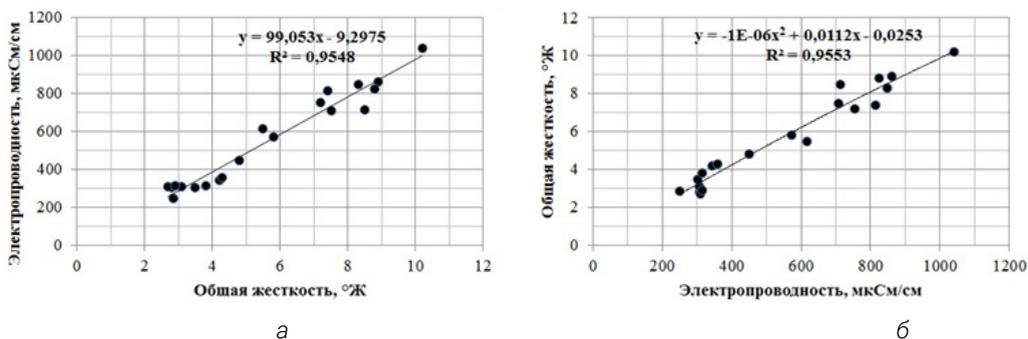
Содержание нитрит-ионов, фосфат-ионов, сульфат-ионов, хлорид-ионов удовлетворяло установленным нормативам.

Сухой остаток, характеризующий общую минерализацию воды, в исследуемых родниках составил  $368 \pm 188$  мг/л. Природные воды родников № 4—8, 14, 15 относятся к группе ультрапресных; родников № 1—3, 11, 17, 18, 20 — пресных; воды родников № 9, 10, 12, 13, 16, 19 характеризуются повышенной и высокой минерализацией [16].

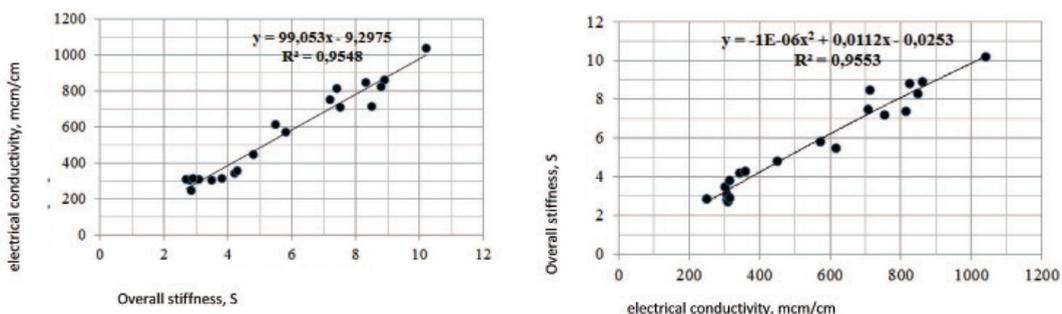
Индекс фитотоксичности, вычисленный по формуле (1), показал, что образцы воды родников № 8, и № 19 — токсичны (коэффициент  $J > 20$ ). Расчет фитотоксичности (2) доказал фитотоксическое действие указанных родников ( $E_T > 20$  %). Можно сделать вывод, что изученные образцы родниковых вод в течение всего периода прорастания достоверно ингибировали прорастание семян по сравнению с контрольными значениями. Воды остальных изученных родников имеют допустимую степень токсичности.

Гидрохимический состав родниковой воды отражает наличие даже незначительных загрязнений компонентов окружающей среды, а методика факторного анализа позволит создать модели взаимного влияния факторов в виде показателей загрязнения воды и выявить наиболее значимые факторные связи [18, 19]. Поэтому следующим этапом оценки стало построение матрицы парных корреляций между содержанием изученных показателей в родниковой воде с целью выявления отсутствия или наличия корреляционных связей (табл. 2).

Обращают на себя внимание сильные корреляционные зависимости между параметрами «общая минерализация — общая жесткость», «электропроводность — хлорид-ионы», «общая минерализация — хлорид-ионы», «электропроводность — общая жесткость», (рис. 1 а, б), «электропроводность — общая минерализация». Выявленные корреляционные тренды закономерны. Электрическая проводимость природной воды определяется концентрацией растворенных минеральных солей, суммарное содержание которых показывает значение минерализации. Минеральную часть воды составляют ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .



**Рис. 1.** Влияние общей жесткости на электропроводность (а) и влияние электропроводности на общую жесткость (б)



**Fig. 1.** Influence of total stiffness on conductivity (a) and the effect of conductivity on total hardness (b)

Интересны корреляционные связи средней силы между дебитом и рядом показателей: нитрат-ионами, хлорид-ионами, общей жесткостью, общим железом, общей минерализацией, электропроводностью. Изучение данных корреляционных трендов требуют дальнейшего исследования.

## Заключение

Гидрохимические мониторинговые исследования обобщают результаты информационной базы эколого-химической оценки родников городских и сельских поселений Брянской области. Мониторинговые исследования показали, что основные загрязняющие компоненты родниковых вод в поселениях Брянской области — нитрат-ионы и общее содержание железа. Так, пять родников из 20 исследованных (25 %) имеют превышение содержания нитрат-ионов относительно норм ПДК (45 мг/л), четыре родника из 20 исследованных (20 %) имеют значи-

тельное превышение нормируемого показателя «железо общее» (0,3 мг/л). Расчет индекса фитотоксичности показал, что образцы воды двух родников — токсичны (коэффициент  $J > 20$ ).

Эколого-химический анализ родников и определение степени гемеробности урочища родников показали, что нитрат-ионы и хлорид-ионы являются индикаторными показателями антропогенного воздействия на природные воды.

Анализ 105 парных корреляционных коэффициентов выявил сильные корреляционные зависимости между параметрами «общая минерализация — общая жесткость», «общая минерализация — хлорид-ионы», «электропроводность — хлорид-ионы», «электропроводность — общая жесткость», «электропроводность — общая минерализация».

Результаты данной статьи будут использованы для ведения и дополнения мониторинговой базы, реализуемой в Атласе родников Брянской области.

Представленные промежуточные результаты позволят дополнить паспорта родников с учетом и фитозоологической составляющей (по фитотоксичности), проводить картирование всех водопроявлений в центральном районе Нечерноземья РФ для создания ГИС-базы родников и визуализации геоэкологических особенностей родников для широкого круга пользователей; разработать долгосрочные прогнозы экоситуации в урочищах ландшафтов, разработать оперативные мероприятия по коррекции неблагоприятных ситуаций по химическим и токсикологическим показателям. Ландшафтное ранжирование родников по степени гемеробности, проведенное впервые на модельных водных источниках, позволит дополнить имеющиеся сведения об охранном статусе родников для Брянской области [20].

## Список литературы

- [1] Эльпинер Л.И. Современные медико-экологические аспекты учения о подземных водах // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 6. С. 39—46.
- [2] Fatbardh G. Study of chemical characteristics and pollution assessment of spring and well waters in a part of the Istog municipality (Kosovo) // Sustainable Water Resources Management. 2018. Vol. 4. P. 399—414. DOI: 10.1007/s40899-018-0248-2
- [3] Рассадина Е.В., Климентова Е.Г. Биодиагностика и индикация почв: учеб.-метод. пособие. Ульяновск: УлГУ, 2016. 186 с.
- [4] Lee L.J., Chen C.H., Chang Y.Y., Liou S.H., Wang J.D. An estimation of the health impact of groundwater pollution caused by dumping of chlorinated solvents // Science of the Total Environment. 2010. Vol. 408. № 6. P. 1271—1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.036>
- [5] Lotter J.T., Lacey S.E., Lopez R., Socoy Set G., Khodadoust A.P., Erdal S. Groundwater arsenic in Chimaltenango, Guatemala // Journal of Water and Health. 2014. Vol. 12. № 3. P. 533—542. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100809>
- [6] Tshindane P., Mamba P.P., Moss L., Swana U.U., Moyo W., Motsa M.M. The occurrence of natural organic matter in South African water treatment plants // Journal of Water Process Engineering. 2019. Vol. 31. P. 1008—1009. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100809>
- [7] Williams D.D. The spring as an interface between groundwater and lotic faunas and as a tool in assessing groundwater quality // Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen. 1991. Vol. 24. № 3. P. 1621—1624. <https://doi.org/10.1080/03680770.1989.11899034>
- [8] Солдатенков Г.И. История исследований рекреационного потенциала территории республики Беларусь // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. 2019. С. 174—181.
- [9] Ловинская А.В., Колумбаева С.Ж., Суворова М.А., Илиясова А.И., Биашева З.М., Абилов С.К. Комплексное исследование потенциальной токсичности и генотоксичности образцов воды из природных

источников пригородной зоны г. Алматы // Генетическая токсикология. 2019. Т. 17. № 2. С. 69—81. <https://doi.org/10.17816/ecogen17269-81>

[10] Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408—411.

[11] Поспелова О.А., Окрут С.В., Степаненко Е.Е., Мандра Ю.А. Влияние функциональных зон города на фитотоксичность вод малой реки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5—1. С. 216—219.

[12] Вайнерт Э., Вальтер Р., Ветцель Т., Егер Э., Клауснитцер Б., Клоц С. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 348 с.

[13] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

[14] Соколова О.Е., Потапова Е.В. Методика определения гемедробности озелененных территорий // Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. Т. 24. № 3. С. 26—31.

[15] Занозин В.В., Бармин А.Н., Валов М.В. Исследования степени антропогенной преобразованности природных территориальных комплексов // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 4(75). С. 168—183.

[16] Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Под ред. Т.В. Гусевой. М.: Форум: ИНФРА-М, 2010. 192 с.

[17] Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 351 с.

[18] Бегдай И.В., Бондарь Е.В., Перекопская Н.Е. Исследование загрязнения родников города Ставрополя методом факторного анализа // Наука. Инновации. Технологии. 2016. № 2. С. 77—88.

[19] Янь С., Шубин Л., Гу-Линь Л., Сяоцзюань Г. Корреляционный анализ стабильности качества подземных вод в реке Хэйхэ // StudNet. 2021. Т. 4. № 2.

[20] Соболева О.А., Анищенко Л.Н. К вопросу организации региональных памятников природы в ландшафтных комплексах родников (Брянская область, Нечерноземье РФ) // Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях. 2019. Вып. 3. С. 99—105.

## References

[1] Elpiner LI. Modern medical ecological aspects of theory of fresh groundwater resources. *Hygiene and sanitation*. 2015;94(6):39—46. (In Russ.)

[2] Fatbardh G. Study of chemical characteristics and pollution assessment of spring and well waters in a part of the Istog municipality (Kosovo). *Sustainable Water Resources Management*. 2018;4:399—414. DOI: 10.1007/s40899-018-0248-2

[3] Rassadina YeV, Klimentova Ye G. *Biodiagnostics and indication of soils*. Ul'yanovsk: Ulyanovsk State University Publ.; 2016. 186 p.

[4] Lee LJ, Chen CH, Chang YY, Liou SH, Wang JD. An estimation of the health impact of groundwater pollution caused by dumping of chlorinated solvents. *Science of the Total Environment*. 2010;408(6):1271—1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.036>

[5] Lotter JT, Lacey SE, Lopez R, Socoy Set G, Khodadoust AP, Erdal S. Groundwater arsenic in Chimaltenango, Guatemala. *Journal of Water and Health*. 2014;12(3):533—542. <https://doi.org/10.2166/wh.2013.100>

[6] Tshindane P, Mamba PP, Moss L, Swana UU, Moyo W, Motsa MM. The occurrence of natural organic matter in South African water treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*. 2019;31:1008—1009. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100809>

[7] Williams DD. The spring as an interface between groundwater and lotic faunas and as a tool in assessing groundwater quality. *International Association for Theoretical and Applied Limnology: Negotiations*. 1991;24(3):1621—1624. <https://doi.org/10.1080/03680770.1989.11899034>

[8] Soldatenkov GI. The history of research on the recreational potential of the territory of the Republic of Belarus. *Nature management problems and the environmental situation in European Russia and adjacent territories*. 2019:174—181. (In Russ.)

- [9] Lovinskaya AV, Kolumbayeva SZH, Suvorova MA, Ilyasova AI, Biyasheva ZM, Abilev SK. Complex study of potential toxicity and genotoxicity of water samples from natural sources of the suburban zone of Almaty. *Genetic toxicology*. 2019;17(2):69–81. <https://doi.org/10.17816/ecogen17269-81> (In Russ.)
- [10] Kabirov RR, Sagitova AR, Sukhanova NV. Development and use of a multicomponent test system for evaluating the toxicity of soil in an urban territory. *Russian Journal of Ecology*. 1997;28(6):360–363. (In Russ.)
- [11] Pospelova OA, Okrut SV, Stepanenko YeYe, Mandra YUA. Effect of functional areas of the city on a small river waters phytotoxicity. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011;13(5—1):216–219. (In Russ.)
- [12] Vaynert E, Val'ter R, Vetsel' T, Yeger E, Klausnitter B, Klots S. *Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems*. Shubert R, editor. Moscow: Mir Publ.; 1988. 348 p. (In Russ.)
- [13] Dospikhov BA. *Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Kniga po Trebovaniyu Publ.; 2012. 352 p. (In Russ.)
- [14] Sokolova OYe, Potapova Ye V. Method of determining the hemerability of green areas. *Bulletin of Zabaikalsky State University*. 2018;24(3):26–31. (In Russ.)
- [15] Zanozin VV, Barmin AN, Valov MV. Studies of the degree of anthropogenic transformation of natural territorial complexes. *Geology, Geography and Global Energy*. 2019;4(75):168–183. (In Russ.)
- [16] Guseva TV, editor. *Hydrochemical indicators of the state of the environment: reference materials*. Moscow: Forum: INFRA-M Publ.; 2010. 192 p. (In Russ.)
- [17] Vsevolozhsky VA. *Fundamentals of Hydrogeology*. Moscow: Publishing house of Moscow State University, 1991. 351 p. (In Russ.)
- [18] Begday IV, Bondar' YeV, Perekopskaya NYe. The research of the pollution of springs in the city of Stavropol by the method of factor analysis. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2016;2:77–88. (In Russ.)
- [19] Yan S, Shubing L, Gu-Lin L, Xiaojuan G. Correlation analysis of the stability of groundwater quality in the Heihe river. *StudNet*. 2021;4(2).
- [20] Soboleva OA, Anishchenko LN. On the issue of organizing regional natural monuments in landscape complexes of springs (Bryansk region, Non-Black Earth Region of the Russian Federation). *Monitoring of the state of natural complexes and multi-year research in specially protected natural areas*. 2019;3:99–105. (In Russ.)

#### Сведения об авторах:

Соболева Ольга Александровна, аспирант кафедры географии, экологии, землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241036, Брянск, Бежицкая ул., д. 14. ORCID: 0000-0001-7175-0763, SPIN-code: 6657-3300. E-mail: OAsoboleva@bk.ru

Анищенко Лидия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры географии, экологии, землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского. ORCID: 0000-0003-4842-5174, SPIN-code: 6600-6010. E-mail: eco\_egf@mail.ru

#### Bio note:

Olga A. Soboleva, PhD student, Bryansk state university named after academic I.G. Petrovsky, 14 Bezhitskaya str., Bryansk, 241036, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7175-0763, SPIN-code: 6657-3300. E-mail: OAsoboleva@bk.ru

Lidiya N. Anishchenko, PhD (Agricultural), Dr. Habil, professor, Bryansk state university named after academic I.G. Petrovsky. ORCID: 0000-0003-4842-5174, SPIN-code: 6600-6010. E-mail: eco\_egf@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-143-152

УДК 635.63

Научная статья / Research article

## Биоэкологические свойства почвогрунтов на основе отходов производства как фактор мониторинга и управления продукционным процессом растений

Л.П. Степанова  , Е.А. Коренькова ,

Е.И. Степанова , Е.В. Яковлева 

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,  
Орел, Россия

 [steplena66@mail.ru](mailto:steplena66@mail.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты исследований биоэкологической эффективности действия удобрительных свойств отходов металлургического производства в питательных грунтах. В результате оценки токсических эффектов действия водных вытяжек из питательных грунтов на жизнедеятельность дафний (*Daphnia magna*) установлены изменения в реакции данного тест-объекта в зависимости от состава компонентов в питательном субстрате. Определена степень влияния удобрительного действия различных типов питательных грунтов на основе почвы, шлака и цеолита на всхожесть, рост и развитие проростков мелкосемянной овощной культуры салата. На всхожесть семян, рост и развитие растений оказывают влияние водно-физические свойства грунтов и количество доступных макро- и микроэлементов. Показана эффективность использования визуальной и компьютерной оценки цветовой гаммы листьев салата для выявления уровня загрязнения грунтов по интенсивности потребления растениями питательных элементов.

**Ключевые слова:** металлургические отходы, шлак, питательные грунты, токсичность, всхожесть, удобрительное действие, цветовая гамма

**История статьи:** поступила в редакцию 30.08.2021; принята к публикации 29.11.2021.

**Для цитирования:** Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Степанова Е.И., Яковлева Е.В. Биоэкологические свойства почвогрунтов на основе отходов производства как фактор мониторинга и управления продукционным процессом растений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 30. № 2. С. 143—152. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-30-2-143-152>

© Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Степанова Е.И., Яковлева Е.В., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

# Bioecological properties of nutrient soils based on production waste as a factor in monitoring and controlling the production process of plants

Lydia P. Stepanova  , Ekaterina A. Korenkova   
Elena I. Stepanova , Elena V. Yakovleva 

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin,  
Orel, Russia

 steplena66@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of research on the bioecological assessment of the effectiveness of the fertilizing properties of metallurgical waste in nutrient soils. As a result of studies to assess the toxic effects of water extracts from nutrient soils on the vital activity of daphnia (*Daphnia magna*), changes in the reaction of this test object were established depending on the composition of the components in the nutrient substrate. The degree of influence of the fertilizing effect of various types of nutrient soils based on soil, slag and zeolite on the germination, growth and development of seedlings of small-seeded vegetable culture of lettuce has been determined. Seed germination, plant growth and development are influenced by the water-physical properties of soils and the amount of available macro- and microelements. The effectiveness of the use of visual and computer assessment of the color gamut of lettuce leaves for assessing the level of soil contamination by the intensity of nutrient consumption by plants is shown.

**Keywords:** metallurgical waste, slag, nutrient soils, toxicity, germination, fertilizing effect, color characteristics

**Article history:** received 30.08.2021; accepted 29.11.2021.

**For citation:** Stepanova LP, Korenkova EA, Stepanova EI, Yakovleva EV. Bioecological properties of nutrient soils based on production waste as a factor in monitoring and controlling the production process of plants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;30(2):143–152. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-30-2-143-152>

## Введение

Среди техногенных изменений среды обитания организмов наибольшую опасность вызывает ее загрязнение промышленными и бытовыми отходами. Загрязнитель как вещество/смесь веществ техногенного или природного характера нарушает циклы миграции химических элементов и трансформации энергии и оказывает неблагоприятное воздействие на функционирование экосистем в целом. В биосфере формируются глобальные, региональные и локальные потоки и круговороты ксенобиотиков, т. е. «чужеродных» для нее химических соединений [1, 2].

Следствием техногенеза как мощного антропогенного планетарного явления, отражающего состояние технологий общества, является изъятие (концентрирование) одних (Au, Ag, Pt, Fe), рассеяние других химических элементов (Cd, Hg, As, F, Pb, Al, Cr) в биосфере или сочетание обоих процессов одновременно [3, 4]. Локализация и интенсивность поступления техногенных потоков химических элементов обуславливает формирование техногенных аномалий и биогеохимических провинций с различной степенью экологической напряженности [5]. Преобразование среды приводит к обеднению флористического и фаунистического состава

биогеоценозов, сопровождающемуся биогеохимической дифференциацией живого вещества различных таксонов биосферы. При этом возрастает значение взаимодействий различных химических элементов и веществ природного и техногенного характера в биогеохимических циклах.

Для того, чтобы масштабы загрязнения окружающей среды (почвы, грунты, воды) не приняли необратимого и катастрофического характера, необходимы, с одной стороны, изменения стратегии природопользования, устранение путей и источников дальнейшего загрязнения среды, с другой стороны — разработка и практическое внедрение способов, а также технологий подавления токсичности и очистки различных элементов геологической среды от этих загрязнений, что и явилось целью нашего исследования.

**Цель исследования** состояла в биоэкологической оценке эффективности действия удобрительных свойств отходов металлургического производства в питательных грунтах.

Задачи исследования:

- 1) разработать субстраты с введением в их составы шлаковых отходов, природных цеолитов для проявления ими защитных геохимических барьерных свойств и выращивания на них рассады овощных культур;
- 2) провести оценку токсических эффектов действия водных вытяжек из питательных грунтов по жизнедеятельности дафний (*Daphnia magna*);
- 3) определить влияние исследуемых составов питательных субстратов на рост и развитие растений, их биопродуктивность;
- 4) использовать цветовую оценку растений салата листового для индикации их состояния и характеристики степени токсического действия шлаков.

## Материалы и методы

Отсевы солевого алюминиевого шлака Мценского металлургического завода АООТ «Цветные металлы и сплавы» характеризуются следующими физико-химическими свойствами: агрегатное состояние — сыпучий материал, фракции 3 мм, цвет — светло-серый, запах — специфический, водородный показатель водной вытяжки pH8, основные фазы — хлорид калия (KCl), хлорид натрия (NaCl), оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ), оксид кремния ( $SiO_2$ ).

Химический состав солевого отвалного шлака, %:  $Al_2O_3$  — 50,02; Cu — 0,54; Si — 3,22; Mg — 1,64; Mn — 0,21; Ti — 0,033; Sb — 0,036; Co — н/о; As — 0,0002; Ca — 0,2; Zn — 0,49; Fe — 0,69; Ni — 0,08; Pb — 0,08; Sn — 0,018; Na — 2,39; K — 7,37; Cl — 8,6;  $SO_4$  — 0,28;  $Fe_{\text{мех}}$  — 1,0; П.п.п. — 23,1028.

Отсевы солевого алюминиевого шлака относятся к IV классу малоопасных веществ по ГОСТ 12.1.007—76 «Вредные вещества в промышленности. Классификация и общие требования».

Цеолиты представлены цеолитсодержащими трепелами хотынецкого месторождения со следующими показателями: pH — 8,3, содержание CaO — 8,17 %, MgO — 2,20 %,  $K_2O$  — 1,82 %, Cu —  $2,7 \times 10^{-3}$  %, Zn —  $7,4 \times 10^{-3}$  %, Mn —  $46 \times 10^{-3}$  %, Co —  $0,12 \times 10^{-3}$  %, Mo —  $0,72 \times 10^{-3}$  %. В кристаллической структуре цеолита содержится: клиноптилолита — 35 %, кристобалита — 27 %, монтмориллонита — 5 %, слюды — 8 %, кальцита — 3 %, емкость катионного обмена достигает 600 м-экв/100 г.

Почва темно-серая лесная среднесуглинистая, гумусовый горизонт (содержание физической глины 40—42 %; гумус — 5,4—5,5 %; рН<sub>сол</sub> — 5,2—5,5; рН<sub>вод</sub> — 5,8 6,0; сумма поглощенных оснований 35 мг-экв/100 г; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—12,5—15,0 мг/100г, K<sub>2</sub>O — 12,0—12,6 мг/100г).

Салат листовой (*Lactuca sativa var. secalina*) — однолетнее растение. Высокие урожаи салата получают на плодородных, богатых азотом и достаточно влажных почвах. Прорастание семян начинается при 2—4 °С, лучше всего происходит при 20—25 °С. Оптимальная температура для роста 15—20 °С, при +5 °С продолжает расти. Переносит заморозки до –8 °С. Корни салата стержневые с многочисленными разветвлениями, располагаются в пахотном слое.

Сорт листового салата Московский парниковый наиболее распространенный. Его выращивают как в защищенном, так и в открытом грунте. Вегетативная масса лучше нарастает при 9—,12-часовом дне.

Для опытов использовали полиэтиленовые горшочки емкостью 300 мл. Масса субстрата в горшочке составляла 450—550 г, влажность 70—75 % от сухой массы. Повторность четырехкратная. Семена салата высевали в количестве 30 шт. в каждый горшочек. Через 30 суток проводили определение биометрических показателей: площади листовой поверхности, длины корней, количества корней, накопления биомассы. В ходе эксперимента проводили фенологические наблюдения.

Определение степени токсичности питательных грунтов проводили методом биотестирования по оценке выживаемости тест-организмов в стандартных условиях — дафний (*Daphnia magna*). Класс опасности устанавливается по водной вытяжке, разведенной до такой степени, когда не проявляется вредное воздействие на биологические объекты (РД 118-02-90).

Методика оценки недостатка отдельных элементов по цветным фотографиям цветовой гаммы листьев проводилась с использованием программы Adobe Photoshop согласно [6]. Контроль за состоянием агроценозов и эффективностью агротехнологии обеспечивает визуальная количественная оценка цветковых характеристик растений с использованием оцифрования цветовой шкалы, так как при росте и старении растений, изменениях в окружающей среде изменяется цветовая характеристика растений в результате взаимосвязанных физиологических процессов.

## Результаты

Стабильность и продуктивность техногенных экосистем в существенной степени зависят от интенсивности биологических процессов, протекающих в почвах. Одним из биотических подходов в системе контроля природной среды является экспериментальное определение класса опасности отходов, основанное на лабораторном исследовании экологической токсичности анализируемых образцов с использованием биологических объектов. Вид дафний — *Daphnia magna* Straus признан самым универсальным тест-объектом по чувствительности и адекватности реагирования на различные загрязняющие вещества, они используются в качестве модельных организмов во многих экологических, токсикологических и генетических исследованиях. Критерий токсичности (индекс токсичности) — достоверное количественное значение тест-параметра, на основании которого делается вывод о токсичности изучаемого объекта.

В результате исследований по оценке токсических эффектов действия водных вытяжек из питательных грунтов на жизнедеятельность дафний (*Daphnia magna*) установлены изменения в реакции данного тест-объекта в зависимости от состава компонентов в питательном субстрате (табл. 1).

Таблица 1

### Определение степени токсичности питательных грунтов

Варианты опыта	Кратность разведения водных вытяжек					Степень токсичности
	100 %	50 %	12,5 %	3,12 %	0,78 %	
	без разб.	2	8	32	128,3	
Почва (контроль)	–	+	+	+	+	Нетоксично
Почва + шлак 1:1	–	–	+	+	+	Малотоксично
Почва + шлак 1:0,5	+	+	+	+	+	Нетоксично
Почва + шлак 1:2	–	–	–	+	+	Среднетоксично
Почва + цеолит + шлак 1:1:1	–	–	+	+	+	Малотоксично
Почва + цеолит +шлак 1:2:1	–	–	+	+	+	Малотоксично

Условные обозначения: + дафнии живы; – дафнии погибли.

Table 1

### Determination of the toxicity of nutritive soils

Variation	Dilution ratio of water extracts					Toxicity
	100%	50%	12,5%	3,12%	0,78%	
	without dilution	2	8	32	128,3	
Soil (reference)	–	+	+	+	+	Non-toxic
Soil + slag 1:2	–	–	+	+	+	Low toxic
Soil + slag 1:1	+	+	+	+	+	Non-toxic
Soil + slag 1:0.5	–	–	–	+	+	Medium-toxic
Soil + zeolite + slag 1:1:1	–	–	+	+	+	Low toxic
Soil + zeolite + slag 1:2:1	–	–	+	+	+	Low toxic

Note: + daphnia are alive; – daphnia perished.

Как показывают данные табл. 1, степень токсичности водных вытяжек из анализируемых питательных грунтов определялась прежде всего долей шлаковых отходов в составе питательного грунта. Так, присутствие в грунтах шлаковых отходов в разных пропорциях от 1 : 0,5 до 1 : 2 изменило степень токсичности с нетоксичной до среднетоксичной соответственно. Добавление цеолита в состав питательного грунта обусловило малую токсичность грунтов вне зависимости от доли шлаковых отходов в составе. Следует отметить, что жизнедеятельность организмов установлена во всех испытываемых грунтах при 32-кратном разбавлении водных вытяжек.

Таким образом, добавление шлаковых отходов и цеолита в почву обуславливают 100 %-ную жизнеспособность организмов дафний при 8-кратном разведении водных вытяжек и малый уровень токсичности; увеличение массовой доли шлака

в составе питательных грунтов из почвы и шлаковых отходов обуславливает повышение уровня токсичности до среднетоксичного.

Основная роль микроэлементов заключается в регулировании активности разнообразных биологических катализаторов (ферментов). В связи с тем, что чувствительность проростков растений к концентрациям солей микроэлементов различна и эти различия могут быть значительными для разных культур, мы исследовали степень влияния удобрительного действия различных типов питательных грунтов на основе почвы, шлака и цеолита на всхожесть, рост и развитие проростков мелкосемянной овощной культуры салата. Выбор культуры обусловлен тем, что салат относится к культурам повышенного выноса микроэлементов с невысокой усваивающей способностью. Мелкие семена впитывают очень небольшие количества раствора микроудобрений и нуждаются в увеличении дозы микроудобрения или увеличении кратности внесения.

Поскольку испытываемые питательные грунты содержат не только макроэлементы питательных веществ, но и широкий набор биофильных микроэлементов, они представляют собой благоприятную питательную среду для роста и развития растений [7, 8].

Изучение роста и развития растений салата на питательных грунтах из почвы и шлака показало, что влияние шлаковых отходов изменяется в зависимости от массовой доли в составе грунта (табл. 2). В грунтах с наибольшим содержанием шлака отмечаются низкие показатели всхожести семян 43,3—46,7 % при небольших значениях показателей роста растений. Так, интенсивность развития вегетативной массы по показателю площади листовой поверхности ниже контрольного значения в 3,2—6,6 раза. Общая длина корней составила 24,3 см, что ниже контрольного значения в 3,1 раза. Коэффициент токсичности на данном типе грунтов составил 20,4 %, что по значению показателя близко к токсичному, когда уменьшение длины корней относительно контроля составляет  $\leq 20$  %.

Таблица 2

**Влияние питательных грунтов из почвы, шлаковых отходов и цеолита на рост и развитие проростков салата**

Вариант	Всхожесть, %	Показатели роста		Коэффициент токсичности, %	Накопление биомассы, г	
		S листовой поверхности, см <sup>2</sup>	Общая длина корней, см		Сырая	Сухая
Почва (контроль)	93,3	113,4	119,3	–	6,55	0,63
Почва + шлак 1:2	46,7	17,2	24,3	20,4	1,8	0,15
Почва + шлак 1:1	53,3	27,5	85,7	71,8	2,2	0,29
Почва + шлак 1:0,5	80,0	85,2	91,8	76,9	5,29	0,48
Почва + цеолит + шлак 1:1:1	93,3	35,1	44,3	37,1	2,62	0,21
Почва + цеолит + шлак 1:2:1	93,3	74,5	50,1	42,0	3,8	0,5

**The influence of nutritive soils made of natural soil, slag waste and zeolite  
on the growth and development of the lettuce seedlings**

Variation	Germination capacity, %	Growth indicators		Toxicity coefficient, %	Biomass accumulation, g	
		S leaf surface, cm <sup>2</sup>	Total root length, cm		Moist	Dry
Soil (reference)	93,3	113,4	119,3	–	6,55	0,63
Soil + slag 1:2	46,7	17,2	24,3	20,4	1,8	0,15
Soil + slag 1:1	53,3	27,5	85,7	71,8	2,2	0,29
Soil + slag 1:0,5	80,0	85,2	91,8	76,9	5,29	0,48
Soil + zeolite + slag 1:1:1	93,3	35,1	44,3	37,1	2,62	0,21
Soil + zeolite + slag 1:2:1	93,3	74,5	50,1	42,0	3,8	0,5

При уменьшении массовой доли шлаковых отходов в составе питательных грунтов токсический эффект действия шлака снижается. Так, в грунтах из почвы и шлака в массовом отношении 1 : 0,5 всхожесть семян салата увеличилась в 1,5 раза в сравнении с грунтами при соотношении компонентов 1 : 1 и в 1,7 раза при соотношении 1 : 2 и составила 80,0 %. При этом в грунте с уменьшенной долей шлака отмечается интенсивное развитие корневой системы растений, общая длина корней достигала 91,8 см, что составляет 93 % по отношению к контрольному варианту. Площадь листовой поверхности также находится в пределах контрольного значения и составляет 85,2—128,4 см<sup>2</sup>. Накопление биомассы растений на данном типе грунта составило 5,29 г, что выше данного показателя на грунтах с увеличенными дозами шлаковых отходов примерно в 2 раза.

Таким образом, при повышенном содержании шлаковых отходов в составе питательных грунтов наблюдается угнетение роста и развития растений салата. В грунтах из почвы и шлака 1 : 2 общая длина корней ниже контроля в 4,9 раза при уменьшении площади листовой поверхности в 6,6 раза. При уменьшении массовой доли шлаковых отходов в составе питательных грунтов токсический эффект действия шлака снижается. При этом показатели интенсивности роста растений салата находятся в пределах контрольного значения. Накопление биомассы растений на данном типе грунта составило 5,29 г, что выше данного показателя на грунтах с увеличенными дозами шлаковых отходов в 3 раза.

Добавление цеолита в состав питательных грунтов из почвы и шлака обуславливает повышение содержания питательных веществ, что способствует активизации ростовых процессов на ранних стадиях развития растений. Наблюдается увеличение всхожести семян салата до 90—93,3 %. Однако в дальнейшем повышенные концентрации почвенного раствора оказывают угнетающее действие на развитие корневых систем растений. Общая длина корней уменьшается в 2,5 раза при соотношении компонентов 1:1:1 и в 1,8 раза при удвоенной доле цеолита в составе грунта по сравнению с контрольным значением. При добавлении удвоенной дозы цеолита рост вегетативной массы растений салата выше в 2,1 раза по сравнению с вариантом почва + цеолит + шлак 1:1:1.

Можно сделать вывод о том, что на всхожесть семян, рост и развитие проростков оказывают влияние водно-физические свойства грунтов и количество доступных

макро- и микроэлементов. Использование сорбционных свойств цеолита в составе питательных грунтов обуславливает более тесный контакт семени с питательной средой и благоприятную концентрацию макро- и микроэлементов для повышения всхожести и интенсивности роста проростков.

Цветовая оценка растений используется для индикации их состояния как при наземных исследованиях, так и при дистанционном зондировании. В наших исследованиях был проведен анализ цветовой характеристики листьев салата в условиях разного уровня загрязнения питательных грунтов шлаковыми отходами в вариантах опыта с благоприятными условиями для роста растений салата (табл. 3).

Таблица 3

**Характеристика цветовой гаммы листьев салата с разным уровнем загрязнения почвы**

Вариант	Интенсивность цвета					
	G	M	K	L	a	b
Почва (контроль)	60,2 ± 0,5	37,2 ± 1,1	45,3 ± 1,9	35,4 ± 1,2	8,7 ± 0,6	6,9 ± 0,9
Почва + шлак 1:2	16,1 ± 1,2	20,7 ± 1,1	5,2 ± 0,5	76,1 ± 0,5	1,7 ± 1,1	58,1 ± 1,1
Почва + шлак 1:1	34,2 ± 6,	5,5 ± 0,9	1,0 ± 0,0	81,0 ± 1,5	20,2 ± 1,3	60,2 ± 1,3
Почва + шлак 1:0,5	54,3 ± 0,3	26,7 ± 3,8	27,0 ± 1,8	49,3 ± 2,2	14,7 ± 3,0	17,0 ± 2,7
Почва + цеолит + шлак 1:1:1	50,0 ± 0,6	19,7 ± 0,2	19,2 ± 1,7	57,0 ± 0,9	20,0 ± 0,9	32,7 ± 1,9
Почва + цеолит + шлак 1:2:1	45,0 ± 2,7	20,0 ± 3,7	17,3 ± 5,9	60,0 ± 5,2	16,3 ± 1,5	31,0 ± 2,9

Table 3

**Characteristics of the color range of the lettuce leaves with different levels of soil contamination**

Variation	Color intensity					
	G	M	K	L	a	b
Soil (reference)	60,2 ± 0,5	37,2 ± 1,1	45,3 ± 1,9	35,4 ± 1,2	8,7 ± 0,6	6,9 ± 0,9
Soil + slag 1:2	16,1 ± 1,2	20,7 ± 1,1	5,2 ± 0,5	76,1 ± 0,5	1,7 ± 1,1	58,1 ± 1,1
Soil + slag 1:1	34,2 ± 6,0	5,5 ± 0,9	1,0 ± 0,0	81,0 ± 1,5	20,2 ± 1,3	60,2 ± 1,3
Soil + slag 1:0,5	54,3 ± 0,3	26,7 ± 3,8	27,0 ± 1,8	49,3 ± 2,2	14,7 ± 3,0	17,0 ± 2,7
Soil + zeolite + slag 1:1:1	50,0 ± 0,6	19,7 ± 0,2	19,2 ± 1,7	57,0 ± 0,9	20,0 ± 0,9	32,7 ± 1,9
Soil + zeolite + slag 1:2:1	45,0 ± 2,7	20,0 ± 3,7	17,3 ± 5,9	60,0 ± 5,2	16,3 ± 1,5	31,0 ± 2,9

Исследованиями В. Церлинга установлено, что недостаток отдельных элементов выявляется по изменениям цвета, характерным как для отдельных видов растений, так и для отдельных частей листа, определенных ярусов листьев [6].

Для визуальной и компьютерной оценки цветовой гаммы листьев с целью оценки уровня загрязнения нами проведено фотографирование листьев, а также их сканирование. Полученные цветовые изображения пригодны для углубленного исследования и компьютерного анализа цветовой гаммы [9]. В таблице 3 приведены характеристики колористической гаммы листьев салата с разным уровнем загрязнения, обусловленным введением в питательные грунты шлаковых отходов (фракция менее 0,5 мм) в разных соотношениях с почвой и цеолитами, рассчитанным по цветовым фотографиям с использованием программы Adobe Photoshop.

Как видно из представленных данных, цвет листьев салата при нарушенном питании растений достоверно отличается от контрольного варианта. Интенсивность цвета  $G$  и  $M$  с учетом цветковых пятен в контроле выше, чем в других вариантах. Это же относится и к интенсивности  $K$ . При этом показатель  $L$  во всех вариантах выше, чем в контрольном варианте. Соотношение цветов, характеризующееся показателями  $a$  и  $b$ , меняется неоднозначно. В контрольном варианте величина  $b$  ниже, чем в других вариантах с разными уровнями загрязнения, создаваемых шлаковыми отходами. Постольку в системе СЖЕ-Lab отражается вклад в цветность четырех цветов: степень красноты ( $+a$ ) и зелени объекта ( $-a$ ); степень желтизны ( $+b$ ) и степени синевы ( $-b$ ); ( $a-b$ ) и они определяют светлоту ( $L$ ). При недостатке элементов питания для салата явное уменьшение зелени отмечается при недостатке меди, азота. В отдельных частях листа происходит увеличение степени зелени, в других уменьшается.

Таким образом, выполненные исследования по оценке изменения цвета листьев салата с компьютерной идентификацией цветовой гаммы листьев доказывают эффективность использования данного метода для оценки состояния растений на антропогенно измененных землях и оценки степени загрязнения почв.

## Заключение

Питательные грунты на основе гумусового горизонта почвы, шлаковых отходов, цеолитов оказывают стимулирующее и удобрительное действие на всхожесть семян, рост, развитие, продуктивность растений салата листового.

Показана эффективность использования визуальной и компьютерной оценки цветовой гаммы листьев салата для оценки уровня загрязнения грунтов по интенсивности потребления растениями питательных элементов.

## Список литературы

- [1] Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О., Прокопович Е.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии // Почвоведение. 2011. № 2. С. 240—249.
- [2] Mukherjee A.B. Behavior of heavy metals and their remediation in metalloferous soils // *Metals Environment / ed. by M.N.V. Prasad*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001. Pp. 433—471.
- [3] Ермаков В.В. Биогеохимическая эволюция таксонов биосферы в условиях техногенеза // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. М.: Наука, 2003. 351 с.
- [4] Huttl R.F. Effects of air pollution on forest soils // *Water, Air, Soil Pollution*. 1992. Vol. 61. No 3—4. Pp. 205—210.
- [5] Савич В.И., Сычев В.Г., Балабко П.Н. Баланс биофильных элементов в системе почва — растение // Вестник БГАУ. 2016. № 1. С. 14—19.
- [6] Церлинг В.О. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1990. 240 с.
- [7] Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Использование отходов металлургической промышленности для улучшения фосфорного питания и повышения засухоустойчивости растений // *Агробиология*. 2003. № 5. С. 42—47.
- [8] Свергузова С.В., Василенко Т.А., Гаврилова О.В., Гараць С.Н. Шлак в микроудобрения // *Экология и промышленность России*. 2000. С. 17—19.
- [9] Rao I.M. Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet // *Plant Physiol*. 1993. No 90. Pp. 814—819.

## References

- [1] Vodyanitsky YuN, Plekhanova IO, Prokopovich EV, Savichev AT. Soil pollution by emissions from non-ferrous metallurgy enterprises. *Pochvovedenie*. 2011;(2):240–249. (In Russ.)
- [2] Mukherjee AB. Behavior of heavy metals and their remediation in metalloferous soils. In: Prasad MNV. (ed.) *Metals Environment*. New York: Marcel Dekker, Inc.; 2001. p. 433–471.
- [3] Ermakov VV. Biogeochemical evolution of biosphere taxa in the conditions of technogenesis. *Technogenesis and Biogeochemical Evolution of Taxa of the Biosphere*. Moscow: Nauka Publ.; 2003. (In Russ.)
- [4] Huttel RF. Effects of air pollution on forest soils. *Water, Air, Soil Pollution*. 1992;61(3–4): 205–210.
- [5] Savich VI, Sychev VG, Balabko PN. Balance of biophilic elements in the soil — plant system. *Bulletin of BSAU*. 2016;(1):14–19. (In Russ.)
- [6] Zerling VO. *Diagnostics of nutrition of agricultural crops*. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1990. (In Russ.)
- [7] Matychenkov VV, Bocharnikova EA. The use of metallurgical waste to improve phosphorus nutrition and increase drought resistance of plants. *Agrochimia*. 2003;(5):42–47. (In Russ.)
- [8] Sverguzova SV, Vasilenko TA, Gavrilova OV, Garats SN. Slag in microfertilizers. *Ecology and Industry of Russia*. 2000:17–19.
- [9] Rao IM. Leaf phosphate status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet. *Plant Physiol*. 1993;90:814–819.

### Сведения об авторах:

Степанова Лидия Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, агрохимии и агропочвоведения, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Российская Федерация, 302019, Орел, ул. Генерала Родина, д. 69. ORCID: 0000-0001-5568-1411. E-mail: steplena66@mail.ru

Коренькова Екатерина Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. ORCID: 0000-0002-9984-3803. E-mail: korkatya@mail.ru

Степанова Елена Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агроэкологии и охраны окружающей среды, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. ORCID: 0000-0003-1338-670X. E-mail: steplena66@mail.ru

Яковлева Елена Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры БЖД на производстве Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. ORCID: 0000-0003-3038-6808. E-mail: elenavalerevna79@yandex.ru

### Bio notes:

Lidiya P. Stepanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Agrosoil Science, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 69 Generala Rodina St, Oryol, 302019, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5568-1411. E-mail: steplena66@mail.ru

Ekaterina A. Korenkova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin. ORCID: 0000-0002-9984-3803. E-mail: korkatya@mail.ru

Elena I. Stepanova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agroecology and Environmental Protection, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin. ORCID: 0000-0003-1338-670X. E-mail: steplena66@mail.ru

Elena V. Yakovleva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Belarusian Railways in Production, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin. ORCID: 0000-0003-3038-6808. E-mail: elenavalerevna79@yandex.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-153-163

УДК 57.042: 54.03

Научная статья / Research article

## Изучение размера пылевых частиц в районах угледобычи с использованием депонирующей способности снежного покрова

А.В. Сумина  , Е.В. Павлова , С.А. Кырова , Е.П. Ворожцов 

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,  
Абакан, Россия

 [alenasumina@list.ru](mailto:alenasumina@list.ru)

**Аннотация.** Проведен анализ размера частиц взвешенных веществ в образцах снега с различных участков вблизи угледобывающего предприятия ООО «Разрез Аршановский» Республики Хакасия. Точки отбора проб снежного покрова располагались в районе автодороги, по которой транспортируется уголь, и на расстоянии 0,5 км от села Аршаново в соответствии с розой ветров. Анализ размера частиц проводили с помощью прибора «Ласка-ТД». Было установлено, что в исследуемых образцах основная доля взвешенных частиц, независимо от точки исследования, имела размеры от 5 до 20 мкм, что составило от 63,8 до 81,3 % от общей массы взвешенных веществ. Участок, расположенный в западном направлении на расстоянии 0,5 км от населенного пункта, имел настолько низкие значения взвешенных веществ, что определить их с помощью указанного прибора не удалось. Средний размер частиц в зависимости от пункта исследования имел следующие значения (мкм): № 1 –  $11,2 \pm 0,4$ ; № 2 –  $11 \pm 1,6$ ; № 3 –  $9,3 \pm 0,2$ ; № 4 –  $7,3 \pm 0,9$ ; № 5 –  $13,5 \pm 0,3$ ; № 6 –  $11,5 \pm 0,2$ ; № 8 –  $11,6 \pm 0,3$ . Полученные результаты исследования позволяют сделать заключение о наличии в снежном покрове большого количества мелкоразмерной пыли, способной накапливаться в окружающей среде и негативно влиять на ее биологическую составляющую, в том числе на человека.

**Ключевые слова:** размер частиц, угледобыча, снежный покров, Хакасия, роза ветров, транспортировка угля

**Вклад авторов.** А.В. Сумина, Е.В. Павлова — концептуализация исследований, выполнение лабораторных опытов и сбор данных. Е.П. Ворожцов — выполнение лабораторных опытов. С.А. Кырова — концептуализация исследования, критический анализ текста. Все авторы участвовали в подведении итогов и подготовке заключения.

**История статьи:** поступила в редакцию 12.01.2022.; принята к публикации 14.03.2022.

**Для цитирования:** Сумина А.В., Павлова Е.В., Кырова С.А., Ворожцов Е.П. Изучение размера пылевых частиц в районах угледобычи с использованием депонирующей способности снежного покрова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 153–163. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-153-163>

© Сумина А.В., Павлова Е.В., Кырова С.А., Ворожцов Е.П., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

## On the issue of studying the size of dust particles in coal mining areas using the depositing ability of the snow cover

A.V. Sumina  , E.V. Pavlova , S.A. Kyrova , E.P. Vorozhtsov 

Khakass State University named after N.F. Katanov  
Abakan, Russia  
 alenasumina@list.ru

**Abstract.** The analysis of the particle size of suspended solids in snow samples from various areas near the coal-mining enterprise “Razrez Arshanovsky” LLC in the Republic of Khakassia. Snow sampling sites of the snow cover were located in the area of the road along which coal is transported, and at a distance of 0,5 km from the village of Arshanovo in accordance with the wind rose. Particle size analysis was performed using a Laska-TD device. It was found that in the samples under study, the main proportion of suspended particles, regardless of the point of study, had sizes from 5 to 20 microns, which numerically amounted from 63.8 to 81,3 % of the total weight of suspended substances. The site located in the western direction at a distance of 0,5 km from the Arshanovo had such low values of suspended solids that it was not possible to determine them using the Laska-TD device. The average particle size, depending on the point of study, had the following values ( $\mu\text{m}$ ): № 1 –  $11,2 \pm 0,4$ ; № 2 –  $11 \pm 1,6$ ; № 3 –  $9,3 \pm 0,2$ ; № 4 –  $7,3 \pm 0,9$ ; № 5 –  $13,5 \pm 0,3$ ; № 6 –  $11,5 \pm 0,2$ ; № 8 –  $11,6 \pm 0,3$ . The obtained results of the study allow to conclude that there is a large amount of fine dust in the snow cover, which can accumulate in the environment and negatively affect its biological component, including humans.

**Keywords:** particle size, coal mining, snow cover, Khakassia, wind rose, coal transportation

**Authors' contributions.** A.V. Sumina, E.V. Pavlova — conceptualization of research, performance of laboratory experiments and data collection. E.P. Vorozhtsov — performance of laboratory experiments. S.A. Kyrova — conceptualization of research, critical analysis of the text. All the authors participated in the summing up and preparation of the conclusion.

**Article history:** received 12.01.2022.; accepted 14.03.2022.

**For citation:** Sumina AV, Pavlova EV, Kyrova SA, Vorozhtsov EP. On the issue of studying the size of dust particles in coal mining areas using the depositing ability of the snow cover. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):153—163. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-153-163>

### Введение

Наиболее динамичной и сложной средой для проведения мониторинга является атмосферный воздух, поэтому при исследовании данного компонента окружающей среды используют разнообразные методы, в том числе и экспрессные, позволяющие в относительно короткие сроки провести оценку качества окружающей среды, например анализ снежного покрова в части аккумуляции загрязнений атмосферного воздуха [1].

Сегодня территория республики подвержена серьезным региональным загрязнениям, связанным с активной разработкой угольных месторождений. Данный тип природопользования изменяет практически все компоненты природной среды: воздушный бассейн, подземные воды, почвенный покров, растительность. В процессе добычи, переработки и перевалки угля в атмосферный воздух выбрасывается множество веществ, основными загрязнителями являются взвешенные вещества (пыли угля и угольной золы, пыли песка породы), диоксиды серы и азота, редкоземельные элементы [2]. При этом особую опасность представляет пыль с размером частиц менее 10—25 мкм [3—5], а по некоторым данным и менее

75 мкм [6]. Именно такая пыль находится во взвешенном состоянии в воздушной среде на протяжении длительного времени [3, 7]. В угольной пыли также могут содержаться потенциально опасные и токсичные микроэлементы, которые транспортируются воздушными потоками и оседают вблизи шахт, угольных предприятий, транспортных терминалов, приводя к загрязнению почвы и воды [8, 9]. Аэрозольная пыль может переноситься на большие расстояния, поэтому ее негативному воздействию подвержено население близлежащих территорий, не входящих в санитарно-защитные зоны предприятий [10].

В научной литературе приводятся данные о существенном влиянии способа разработки угольного месторождения на количество формируемой тонкодисперсной пыли. Также установлена положительная корреляция между рангом угля и количеством образованной тонкодисперсной пыли и отрицательная зависимость с ее микрокомпонентным составом [11].

К сожалению, основная часть научных исследований по указанной тематике проводится в основном на территории крупных населенных пунктов. Данных о составе атмосферных взвесей в небольших населенных пунктах, расположенных в районах угледобычи, приводится крайне мало.

**Цель исследования** заключалась в анализе размерности взвешенных частиц атмосферного воздуха в районах угледобычи посредством мониторинга снежного покрова.

## Объект и методы исследования

Точки отбора снежного покрова находились в районе села Аршаново. Данный населенный пункт расположен в Алтайском районе Республики Хакасия, в 34 км к юго-западу от райцентра с. Белый Яр. В непосредственной близости от села ведется добыча угля открытым способом, осуществляемая ООО «Разрез Аршановский».

Согласно данным Хакасского ЦГМС — филиала ФГБУ «Среднесибирское УГМС», преобладающие направления ветра, циркулирующие на данной территории, в течение года практически равномерно распределены между юго-западным и северным направлениями. Чуть меньшую долю занимают южные и северо-восточные ветра (табл. 1).

Таблица 1

### Повторяемость направлений ветра и штилей в районе исследований (по данным метеостанции «Хакасская», %)

Направление ветра и штилей	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Повторяемость направлений ветра и штилей, %	18	14	7	8	15	19	12	7	25

Table 1

### Frequency of calm and wind directions in the study area (according to the data of the Khakasskaya meteorological station, %)

Wind direction and calm	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calm
Repeatability of wind directions and calms, %	18	14	7	8	15	19	12	7	25

Таблица 2 отражает распределение температур на территории исследования. Можно видеть, что стабильно отрицательные температуры установились в ноябре 2020 г. В сравнении с многолетними значениями осенне-зимний период 2020—2021 гг. имел относительно невысокие значения температур, за исключением января 2021 г.

Таблица 2

**Температурный режим исследуемой территории  
за октябрь—февраль 2021 г., °С**

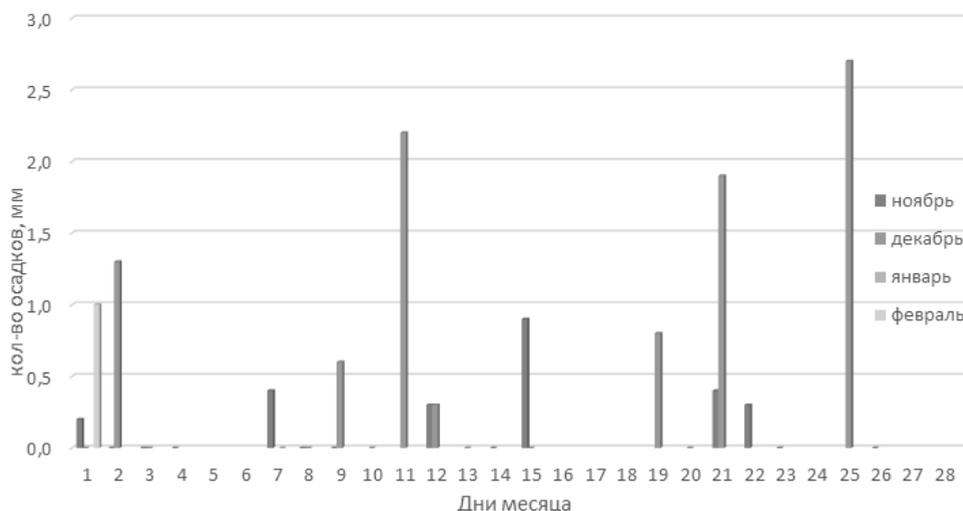
Показатель	Месяц				
	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль
Среднемесячное	2,4	-4,1	-14,0	-19,4	-14,1
Среднемноголетнее	8,3	-8,3	-15,9	-18,7	-17,1
Разница	-5,9	4,2	1,9	-0,7	3,0

Table 2

**Temperature regime of the study area for the period October-February 2021, °C**

Index	Month				
	October	November	December	January	February
Average monthly	2,4	-4,1	-14,0	-19,4	-14,1
Average long-term	8,3	-8,3	-15,9	-18,7	-17,1
Difference	-5,9	4,2	1,9	-0,7	3,0

Относительно постоянный снежный покров на территории исследования установился в ноябре 2020 г. Атмосферные осадки в течение указанного периода распределялись неравномерно (рис. 1). Значения данного показателя находились в пределах среднемноголетних значений, за исключением декабря 2020 г., когда отмечался дефицит.



**Рис. 1.** Количество осадков, выпавших на исследуемой территории, за период октябрь–февраль 2021 г.

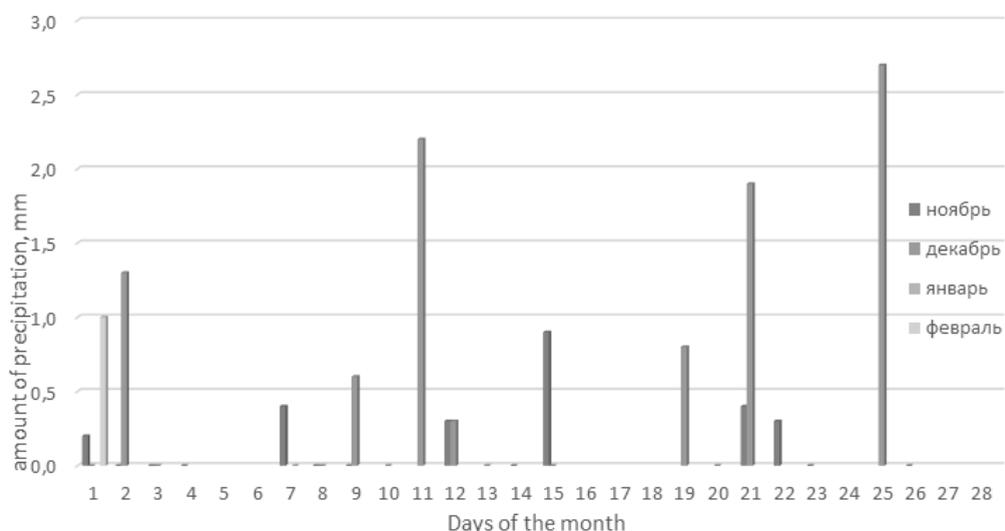


Fig. 1. The amount of precipitation in the study area for the period October-February 2021

Отбор снеговых проб проводили в феврале 2021 г. вблизи с. Аршаново Алтайского района Республики Хакасия на восьми участках. Первые четыре участка располагались в северном направлении от села, вблизи в районе автомобильной дороги, по которой транспортируют уголь от разреза Аршановский. При этом участки находились на разном удалении от источника загрязнения (автодороги). Также были отобраны образцы снега с участков согласно направлениям розы ветров, находящихся на удалении около 500 м от населенного пункта. Расположение и характеристика точек отбора проб снежного покрова в районе исследования приведены в табл. 3.

Анализ состава снеговых проб проводился в лаборатории Института естественных наук и математики Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. После топления проб и фильтрования массу взвешенных частиц определяли весовым методом, точность составила 0,0001 г. Анализ размерности частиц проводили с помощью лазерного прибора «Ласка-ТД». Повторность всех измерений трех-, четырехкратная.

Таблица 3

#### Расположение и характеристика точек отбора снежного покрова

№ участка	Координаты, WGS 84 (градусы, минуты и секунды, DD MM SS)		Высота м над ур. м.	Характеристика точек	Высота снежного покрова, см
	Северная широта	Восточная долгота			
1	53°25'48.0"	91° 4'43.8"	256	Точка расположена на меандрирующем рукаве р. Абакан в северном направлении от с. Аршаново (на расстоянии 492 м) в направлении автомобильной дороги (на расстоянии 15 м), по которой транспортируют уголь	6
2	53°25'48.4"	91° 4'43.9"	264	Точка расположена на первой надпойменной террасе (5–8 м над урезом воды) до древесно-кустарниковой растительности в 10 метрах от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 500 м	8

№ участка	Координаты, WGS 84 (градусы, минуты и секунды, DD MM SS)		Высота м над ур. м.	Характеристика точек	Высота снежного покрова, см
	Северная широта	Восточная долгота			
3	53°25'48.47"	91° 4'43.91"	262	Точка расположена на второй надпойменной террасе (8–10 м над урезом воды) после древесно-кустарниковой растительности в 5 метрах от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 505 м	9
4	53°25'48.37"	91° 4'44.34"	262	Точка расположена на второй надпойменной террасе (1,5–2 м над урезом воды) после древесно-кустарниковой растительности в 3 метрах от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 507 м.	16
5	53°24'58.10"	91° 5'2.50"	282	Точка расположена в восточном направлении от с. Аршаново на расстоянии 431 м. В направлении Аршановского угольного разреза (988 м от ближайшего отвала).	4,5
6	53°25'6.10"	91° 3'41.58"	286	Точка расположена в западном направлении от с. Аршаново (223 м) в направлении меандрирующего рукава р. Абакан	4,5
7	53°24'48.70"	91° 3'3.40"	284	Точка расположена в западном направлении от с. Аршаново (492 м) в направлении меандрирующего рукава р. Абакан, с западной стороны от дамбы, которая ориентированной на юг (1710)	8,5
8	53°23'43.70"	91° 2'53.80"	292	Точка расположена на старичном русле р. Абакан в северном направлении от с. Аршаново (на расстоянии 485 м). В восточном направлении от точки (на расстоянии 313 м) расположена автомобильная дорога, по которой транспортируют уголь. В 765 м на юго-восток расположен Майрыхский угольный разрез	5

Table 3

**Location and characteristics of points of sampling of snow cover**

Point No.	Coordinates, WGS 84 (degrees, minutes and seconds, DD MM SS)		Height m above sea level	Point characteristics	Snow depth, cm
	Northern latitude	Eastern longitude			
1	53°25'48.0"	91° 4'43.8"	256	The point is located on the meandering arm of the Abakan River in the northern direction from the village of Arshanovo (at a distance of 492 m) in the direction of the highway (at a distance of 15 meters) along which coal is transported	6
2	53°25'48.4"	91° 4'43.9"	264	The point is located on the first terrace above the floodplain (5–8 m above the water's edge) to trees and shrubs 10 meters from the road to the north of the village of Arshanovo at a distance of 500 m.	8
3	53°25'48.47"	91° 4'43.91"	262	The point is located on the second terrace above the floodplain (8–10 m above the water's edge) after trees and shrubs, 5 meters from the road to the north of the village of Arshanovo at a distance of 505 m	9

Point No.	Coordinates, WGS 84 (degrees, minutes and seconds, DD MM SS)		Height m above sea level	Point characteristics	Snow depth, cm
	Northern latitude	Eastern longitude			
4	53°25'48.37"	91° 4'44.34"	262	The point is located on the second terrace above the floodplain (1.5-2 m above the water's edge) after trees and shrubs, 3 meters from the road to the north of the village of Arshanovo at a distance of 507 m	16
5	53°24'58.10"	91° 5'2.50"	282	The point is located in the eastern direction from the village of Arshanovo at a distance of 431 m. In the direction of the Arshanovsky coal mine (988 m from the nearest dump).	4,5
6	53°25'6.10"	91° 3'41.58"	286	The point is located in the western direction from the village of Arshanovo (223 m) in the direction of the meandering arm of the Abakan River	4,5
7	53°24'48.70"	91° 3'3.40"	284	The point is located in the western direction from the village of Arshanovo (492 m) in the direction of the meandering arm of the Abakan River, on the western side of the dam, which is oriented south (1710)	8,5
8	53°23'43.70"	91° 2'53.80"	292	The point is located on the old channel of the Abakan River in the northern direction from the village of Arshanovo (at a distance of 485 m). In the eastern direction from the point (at a distance of 313 m) there is a motor road along which coal is transported. The Mayrykh coal mine is located 765 m to the southeast.	5

## Результаты и обсуждение

В атмосферном воздухе содержатся загрязняющие вещества, имеющие различные размерные характеристики. Согласно классификации К.С. Голохваста, атмосферные взвеси можно разделить на семь групп: 1) менее 1 мкм; 2) 1—10 мкм; 3) 10—50 мкм; 4) 50—100 мкм; 5) 100—400 мкм; 6) 400—700 мкм; 7) более 700 мкм [12]. При этом частицы размером 10—100 мкм могут переноситься в атмосфере на расстояния до нескольких тысяч километров, частицы размером до 10 мкм — до 10 тысяч километров [13]. Мелкие частицы способны долгое время оставаться в воздухе (несколько дней и даже недель), а крупные частицы размером более 10 мкм осаждаются быстрее, при этом концентрация частиц взвеси может сильно варьироваться во времени в одном и том же месте [3]. Большие и мелкие взвешенные частицы представляют собой сложное соединение органических и неорганических веществ.

При исследовании размера частиц снежно-грязевого шлама (участки 1—4), образующегося путем смешивания снега и поверхностных осадений с транспортных средств, транспортирующих уголь, было установлено, что независимо от точек исследования основная доля частиц имеет размеры в диапазоне от 5 до 20 мкм (табл. 4). Данный показатель составляет приблизительно 80 % от общего количества обнаруженных частиц. Исключение составляет участок № 4, где доля частиц с указанными параметрами равна 64 %. Наряду с этим для данной точки зарегистрировано увеличение загрязнений практически в 3 раза в сравнении с другими участками в границах автодороги, доли частиц размером 2—5 мкм. Средний размер частиц для участков отбора проб снежного покрова в районе дороги, по которой

транспортируется уголь до железнодорожного пути, имела следующие средние значения: № 1 —  $11,2 \pm 0,4$ ; № 2 —  $11 \pm 1,6$ ; № 3 —  $9,3 \pm 0,2$ ; № 4 —  $7,3 \pm 0,9$ . Можно видеть, что размерность частиц по мере удаления от дороги увеличивается.

Таблица 4

**Размерные характеристики частиц, содержащихся в образцах талой снеговой воды, собранных с территории исследования**

Пункт исследования	Доля частиц по размерам (мкм), %				
	1–2	2–5	5–20	20–50	50–100
1	$0,15 \pm 0,007$	$9,94 \pm 0,4$	$81,13 \pm 1,2$	$8,71 \pm 0,2$	$0,07 \pm 0,001$
2	$0,23 \pm 0,01$	$11,26 \pm 0,3$	$79,81 \pm 2,3$	$8,61 \pm 0,3$	$0,09 \pm 0,001$
3	$0,26 \pm 0,001$	$13,46 \pm 0,5$	$80,13 \pm 2,5$	$6,13 \pm 0,2$	$0,01 \pm 0,005$
4	$1,93 \pm 0,006$	$32,65 \pm 0,3$	$63,79 \pm 1,3$	$1,58 \pm 0,05$	–
5	$0,05 \pm 0,002$	$5,06 \pm 0,2$	$79,25 \pm 1,8$	$15,33 \pm 0,3$	$0,31 \pm 0,001$
6	$0,11 \pm 0,002$	$8,59 \pm 0,3$	$81,31 \pm 1,9$	$9,88 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,004$
8	$0,13 \pm 0,001$	$9,05 \pm 0,2$	$81,34 \pm 1,8$	$9,4 \pm 0,4$	$0,09 \pm 0,003$
Среднее	$0,41 \pm 0,36$	$12,86 \pm 11,2$	$78,11 \pm 1,9$	$8,52 \pm 7,1$	$0,11 \pm 0,15$

Примечание: значения в строках существенно различаются между собой в пределах каждой колонки для каждого пункта по *t*-критерию при  $p \leq 0,05$ .

Table 4

**Dimensional characteristics of particles contained in samples of melt snow water collected from the study area**

Research point	Fraction of particles by size ( $\mu\text{m}$ ), %				
	1–2	2–5	5–20	20–50	50–100
1	$0,15 \pm 0,007$	$9,94 \pm 0,4$	$81,13 \pm 1,2$	$8,71 \pm 0,2$	$0,07 \pm 0,001$
2	$0,23 \pm 0,01$	$11,26 \pm 0,3$	$79,81 \pm 2,3$	$8,61 \pm 0,3$	$0,09 \pm 0,001$
3	$0,26 \pm 0,001$	$13,46 \pm 0,5$	$80,13 \pm 2,5$	$6,13 \pm 0,2$	$0,01 \pm 0,005$
4	$1,93 \pm 0,006$	$32,65 \pm 0,3$	$63,79 \pm 1,3$	$1,58 \pm 0,05$	–
5	$0,05 \pm 0,002$	$5,06 \pm 0,2$	$79,25 \pm 1,8$	$15,33 \pm 0,3$	$0,31 \pm 0,001$
6	$0,11 \pm 0,002$	$8,59 \pm 0,3$	$81,31 \pm 1,9$	$9,88 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,004$
8	$0,13 \pm 0,001$	$9,05 \pm 0,2$	$81,34 \pm 1,8$	$9,4 \pm 0,4$	$0,09 \pm 0,003$
Average	$0,41 \pm 0,36$	$12,86 \pm 11,2$	$78,11 \pm 1,9$	$8,52 \pm 7,1$	$0,11 \pm 0,15$

Note: the values in the lines differ significantly from each other within each column for each item according to the *t*-criterion at  $p \leq 0,05$ .

Анализ размера частиц, образцов снеговой воды с участков, расположенных по направлению розы ветров, показал, что основная доля принадлежит частицам с размерами от 5–20 мкм. При этом средний размер частиц для участка № 5 составил  $13,5 \pm 0,3$  мкм, для участка № 6 —  $11,5 \pm 0,2$  мкм, для участка № 8 —  $11,6 \pm 0,3$  мкм. Размер частиц участка № 7 был настолько мал как с количественной, так и с качественной стороны, что определить его с помощью прибора не представлялось возможным, что объясняется его расположением по отношению к источникам загрязнения и розе ветров.

**Зависимость размера частиц от массы фильтрата снеговой воды,  
собранный с исследуемых участков (n = 24)**

Размер частиц, мкм	Масса загрязняющих веществ, г
1–2	0,88
2–5	0,92
5–20	-0,85
20–50	-0,85
50–100	-0,60

Table 5

**Dependence of the size of particles on the mass of snow water filtrate collected  
from the studied areas (n = 24)**

Particle size, $\mu\text{m}$	Weight of pollutants, g
1–2	0,88
2–5	0,92
5–20	-0,85
20–50	-0,85
50–100	-0,60

При проведении корреляционного анализа показателей массы загрязняющих веществ и размерных характеристик частиц было установлено, что частицы размером до 5 мкм имеют достоверную положительную зависимость с количественной составляющей снеговой талой воды. Противоположная тенденция отмечается для размерности от 5 до 100 мкм, которая имеет отрицательную корреляцию с массовыми характеристиками. Выявленная зависимость позволяет предположить, что с увеличением массы веществ, загрязняющих снеговой покров, увеличивается и доля мелкоразмерных частиц, которые являются потенциально опасными для здоровья человека и стабильного существования экосистем.

### Заключение

Атмосферные твердые взвешенные частицы представляют собой гетерогенную смесь различных размеров, способную перемещаться на большие расстояния. Данный факт играет значительную роль в биогеохимических циклах в части поступления различных загрязняющих веществ в экосистемы. В результате анализа размеров частиц взвешенных веществ в районе угледобычи ООО «Разрез Аршановский» с использованием депонирующей способности снежного покрова было установлено, что основная доля частиц имеет размеры в диапазоне от 0 до 20 мкм, т.е. принадлежит к мелкоразмерному загрязнению. Частицы от 50 до 100 мкм составляют, в зависимости от точки исследования, от десятой до сотой доли процента. В научной литературе имеются данные о негативном влиянии мелкоразмерных взвешенных частиц на здоровье человека, в частности они вызывают респираторные и сердечно-сосудистые заболевания [14]. В связи с этим дальнейшее исследование данного вопроса представляется крайне важным.

## Список литературы

- [1] Беспалова Е.В., Прохорова Т.И., Куропан С.А. Мониторинг техногенного загрязнения снежного покрова г. Воронежа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2015. № 4. С. 77–80.
- [2] Экологический мониторинг в районах угледобычи. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2017. 208 с.
- [3] Холодов А.С. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферы малых и средних населенных пунктов Приморского края микроразмерными частицами. Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. 2019.
- [4] Fedorova G.G., Sidorov I.N., Afanas'ev K.M. Dispersion of coal in a gaseous medium under the influence of physicochemical processes, and methods of dust suppression // Soviet Mining Science. 1974. Vol. 10. № 4. С. 498–503.
- [5] Harris M.L., Sapko M.J., Varley F.D., Weiss E.S. Coal Dust Explosibility Meter Evaluation and Recommendations for Application. Information Circular 9529. 2012.
- [6] Organiscak J.A., Page S.J. Airborne Dust Liberation During Coal Crushing // Coal Preparation. 2000. Vol. 21. № 5–6. С. 423–453. DOI: 10.1080/07349340108945630
- [7] Богатиков О.А. Неорганические наночастицы в природе // Вестник РАН. 2003. Т. 73. № 5. С. 426–428.
- [8] Rout T.K., Masto R.E., Padhy P.K., George J., Ram L.C., Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area // Journal of Geochemical Exploration, 2014. Vol. 144. № PC. С. 443–455. DOI 10.1016/j.gexplo.2014.04.003
- [9] Tang Z., Chai M., Cheng J., Jin J., Yang Y., Nie Z., Huang Q., Li Y. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2017. Vol. 138. С. 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.003>
- [10] Jiang H., Du C., Dong J. Investigation of rock cutting dust formation and suppression using water jets during mining // Powder Technology. 2017. Vol. 307. С. 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.11.029>
- [11] Chen S., Wang H., Li Y., Cui H., Zhao J., Zhang X. Theoretical and numerical analysis of coal dust separated by centrifugal force for working and heading faces // International Journal of Coal Science and Technology. 2014. Vol. 1. № 3. С. 338–345. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0039-9>
- [12] Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока: монография. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2013. 178 с.
- [13] Salvador P. Composition and origin of PM10 in Cape Verde: characterization of long-range transport episodes // Atmospheric Environment. 2016. Vol. 127. P. 326–339. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.057>
- [14] Boreddy S.K.R., Hegde P., Aswini A.R. Geochemical characteristics of trace elements in size-resolved coastal urban aerosols associated with distinct air masses over tropical peninsular India: Size distributions and source apportionment // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 763. С. 142–967. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142967>

## References

- [1] Bespalova EV, Prozhorina TI, Kurolap SA. Monitoring of techno-gene pollution of the snow cover of Voronezh. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2015;(4):77–80. (In Russ.)
- [2] Environmental monitoring in coal mining. Novosibirsk: Geo 2017. (In Russ.)
- [3] Kholodov AS. Geoecological assessment of atmospheric pollution of small and medium-sized settlements of Primorsky Krai with micro-dimensional particles: dissertation. Pacific Institute of Geography FEO RAS Publ. 2019. (In Russ.)
- [4] Fedorova GG, Sidorov IN, Afanas'ev KM. Dispersion of coal in a gaseous medium under the influence of physicochemical processes, and methods of dust suppression. *Soviet Mining Science*. 1974;10(4):498–503.
- [5] Harris ML, Sapko MJ, Varley FD, Weiss ES. Coal Dust Explosibility Meter Evaluation and Recommendations for Application. Information Circular 9529. 2012.
- [6] Organiscak JA, Page SJ. Airborne Dust Liberation During Coal Crushing. *Coal Preparation*. 2000;21(5–6):423–453. DOI: 10.1080/07349340108945630
- [7] Bogatnikov OA. Inorganic nanoparticles in nature. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2003;73(5):426–428. (In Russ.)
- [8] Rout TK, Masto RE, Padhy PK, George J, Ram LC, Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014;144(PC):443–455. DOI 10.1016/j.gexplo.2014.04.003
- [9] Tang Z, Chai M, Cheng J, Jin J, Yang Y, Nie Z, Huang Q, Li Y. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;138:83–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.003>

- [10] Jiang H, Du C, Dong J. Investigation of rock cutting dust formation and suppression using water jets during mining. *Powder Technology*. 2017;307:99–108. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.11.029>
- [11] Chen S, Wang H, Li Y, Cui H, Zhao J, Zhang X. Theoretical and numerical analysis of coal dust separated by centrifugal force for working and heading faces. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2014;1(3):338–345. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0039-9> (In Russ.)
- [12] Golokhvast KS. Atmospheric weights of cities of the Far East: mono-graphics. Vladivostok: Far Eastern Federal University Publ. 2013. (In Russ.)
- [13] Salvador P. Composition and origin of PM10 in Cape Verde: characterization of long-range transport episodes. *Atmospheric Environment*. 2016;127:326–339. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.057>
- [14] Boreddy SKR, Hegde P, Aswini AR. Geochemical characteristics of trace elements in size-resolved coastal urban aerosols associated with distinct air masses over tropical peninsular India: Size distributions and source apportionment. *Science of The Total Environment*. 2021;763:142967. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142967>

#### **Сведения об авторе:**

Сумина Алена Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Российская Федерация, 655017, Республика Хакасия, г. Абакан, проспект Ленина, д. 90. ORCID: 0000-0002-0466-6833, SPIN-код: 8115-5233. E-mail: alenasumina@list.ru

Павлова Екатерина Валерьевна, кандидат географических наук, доцент кафедры химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ORCID 0000-0002-1970-7570, SPIN-код: 7779-6314. E-mail: eve21@yandex.ru

Кырова Светлана Анатольевна, кандидат географических наук, доцент кафедры химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова. ORCID: 0000-0003-3008-7277, SPIN-код: 363562. E-mail: Kyrova\_sa@khsu.ru

Ворожцов Евгений Павлович, студент 3 курса, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова. SPIN-код: 7369-1563. E-mail: vorozhcov2001@mail.ru

#### **Bio note:**

Alena V. Sumina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. 90 Lenin Avenue, Abakan, 655017, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0466-6833, SPIN code: 8115-5233. E-mail: alenasumina@list.ru

Ekaterina V. Pavlova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. ORCID: 0000-0002-1970-7570, SPIN-code: 7779-6314. E-mail: eve21@yandex.ru

Svetlana A. Kyrova, Candidate of Geographical Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. ORCID: 0000-0003-3008-7277, SPIN-code: 363562. E-mail: Kyrova\_sa@khsu.ru

Vorozhtsov E. Pavlovich, third-year undergraduate student Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. ORCID: 0000-0001-8388-1330, SPIN-code: 7369-1563. E-mail: vorozhcov2001@mail.ru



# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-164-176

УДК 502.131

*Научная статья / Research article*

## Экологически ориентированная деятельность нефтегазодобывающих предприятий на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры

К.С. Юдин  , О.А. Притужалова *Тюменский государственный университет  
Тюмень, Россия* [stud003944515@study.utmn.ru](mailto:stud003944515@study.utmn.ru)

**Аннотация.** Предприятия нефтегазодобывающей отрасли являются одним из наиболее крупных источников негативного воздействия на окружающую среду, поэтому необходима комплексная оценка их экологически ориентированной деятельности. Целью исследования является изучение экологически ориентированной деятельности предприятий-недропользователей основного нефтегазодобывающего региона страны — Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, включая переход к низкоуглеродному развитию. В статье проведен анализ открытой информации об экологической деятельности восьми нефтегазодобывающих предприятий ХМАО — Югры за период 2015—2019 гг. Предложен перечень оценочных показателей, позволяющих сравнивать нефтегазодобывающие предприятия между собой и оценивать основные направления их экологической деятельности, в том числе в области декарбонизации производств. Ключевыми направлениями экологической деятельности предприятий округа являются снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, в том числе благодаря утилизации попутных нефтяных газов, оптимизация водопользования, а также борьба с порывами трубопроводов. В стратегиях развития большинства нефтегазодобывающих предприятий округа выявлен тренд на декарбонизацию.

**Ключевые слова:** нефтегазодобывающая отрасль, низкоуглеродное развитие, декарбонизация, природоохранная деятельность

**Вклад авторов.** Притужалова О.А. — концепция и дизайн исследования, написание текста (Аннотация, Введение, Материалы и методы); Юдин К.С. — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста (Введение, Результаты и обсуждение, Заключение).

**История статьи:** поступила в редакцию 10.01.2022; принята к публикации 10.04.2022.

---

© Юдин К.С., Притужалова О.А., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

**Для цитирования:** Юдин К.С., Пrituzhalova О.А. Экологически ориентированная деятельность нефтегазодобывающих предприятий на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 164—176. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-164-176>

## Ecological activity of oil and gas companies in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra

Kirill S. Yudin  , Olga A. Prituzhalova 

*Tyumen State University,  
Tyumen, Russia*

 [stud003944515@study.utmn.ru](mailto:stud003944515@study.utmn.ru)

**Abstract.** The enterprises of the oil and gas industry of the Russian Federation are one of the largest sources of negative environmental impacts; therefore, a comprehensive assessment of their ecological activities is necessary. The purpose of the study is to investigate the ecological activities of the subsoil user enterprises of the main oil and gas producing region of the country — Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra, including activities related to the low-carbon transition. The article analyzes the open information on the environmental activities of eight oil and gas producing enterprises of KhMAO-Yugra for the period 2015—2019. A list of evaluation indicators is proposed that allows comparing oil and gas producing enterprises with each other and evaluating the main directions of their ecological activities, including those in the field of decarbonization of production. The key areas of ecological activities of the district's enterprises are the reduction of pollutant emissions into the atmosphere, including through the utilization of associated petroleum gases, optimization of water use, as well as the fight against pipeline breaks. In the development strategies of most oil and gas producing enterprises of the district, a trend towards decarbonization has been identified.

**Keywords:** oil and gas industry, low-carbon development, decarbonization, environmental protection

**Authors' contributions.** O.A. Prituzhalova — concept and design of the study, text writing (Abstract, Introduction, Materials, and Methods); K.S. Yudin — collection and processing of materials, analysis of the data obtained, text writing (Introduction, Results and Discussion, Conclusion).

**Article history:** received 10.01.2022; accepted 11.04.2022.

**For citation:** Yudin KS, Prituzhalova OA. Ecological activity of oil and gas companies in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):164—176. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-164-176>

### Введение

Основным нефтегазодобывающим регионом России является Ханты-Мансийский автономный округ — Югра (ХМАО — Югра), львиная доля промышленной продукции которого (в 2020 г. — 99 %) обеспечивается предприятиями, занятыми в сфере добычи полезных ископаемых [1]. На территории Югры добычу нефти и газа осуществляют восемь компаний: ПАО «НК Роснефть»; ПАО «Газпромнефть»; ПАО НК «РуссНефть»; ОАО «Сургутнефтегаз»; ПАО «ЛУКОЙЛ»; АО «Томскнефть» ВНК; Компания «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.» и ОАО «НГК «Славнефть». В результате их деятельности на территории округа возникли многочисленные экологические проблемы — от загрязнения воздуха на месторождениях до высокого уровня накопленного загрязнения почв [2].

Оценка экологически ориентированной (экологической) деятельности предприятий нефтегазодобывающей промышленности государственными органами публикуется в ежегодных государственных докладах Министерства природных ресурсов и экологии РФ «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации...». В частности, доклады содержат сведения по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» в федеральном и региональном разрезе [3]. В общей сложности в докладах Минприроды России характеризуется менее двух десятков экологических показателей, все они являются валовыми. Ежегодные экологические отчеты издаются и на уровне субъектов Федерации, включая ХМАО — Югру, в них фигурируют обобщенные результаты локального экологического мониторинга недропользователей (данные геохимического опробования компонентов природной среды) [4].

Наряду с государственными органами оценку природоохранной деятельности нефтегазодобывающих компаний выполняет ряд общественных организаций. Наиболее известны оценки, проводимые на основе рейтингов, включающих экологические параметры: рейтинги Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) «Ответственность и открытость» и «Вектор устойчивого развития», а также «Рейтинг открытости нефтегазовых компаний в сфере экологической ответственности», курируемый Всемирным фондом дикой природы (WWF России). Число показателей, которыми оперируют такие рейтинги, достигает трех десятков, при этом используются более информативные удельные показатели.

Наиболее выраженная на сегодня тенденция развития экологической деятельности компаний связана с низкоуглеродным развитием или низкоуглеродной экономикой, под которыми понимается «вариант концепции устойчивого развития, нацеленный на предотвращение катастрофических последствий глобального изменения климата в нынешнем столетии» [5]. Так называемая климатическая повестка — один из главных вызовов для России, по-прежнему являющейся ведущим мировым экспортером углеводородного топлива. Определенные трудности связаны с деятельностью нефтегазодобывающих компаний, которая не всегда предполагает сбалансированность экономической эффективности и соответствие «зеленым» стандартам декарбонизации.

**Цель исследования** — изучить экологически ориентированную деятельность нефтегазодобывающих предприятий на территории ХМАО — Югры, включая переход к низкоуглеродному развитию.

## Материалы и методы

В качестве информационной основы исследования послужили открытые данные корпоративной отчетности восьми нефтегазодобывающих компаний, действующих на территории ХМАО — Югры.

Основной метод исследования — ретроспективный анализ корпоративной отчетности нефтегазодобывающих предприятий ХМАО — Югры в области экологической ответственности за период 2015—2019 гг. При изучении отчетности предприятий особое внимание уделялось показателям, связанным с переходом к низкоуглеродному развитию.

## Результаты и обсуждение

В ходе ретроспективного анализа открытой информации по экологически ориентированной деятельности нефтегазодобывающих предприятий ХМАО — Югры авторами было выделено шесть основных показателей.

В таблице 1 эти показатели представлены по данным корпоративной отчетности **ПАО «НК Роснефть»** — крупнейшего предприятия-недропользователя на территории ХМАО — Югры, добыча нефти которого в 2019 г. составила 103,17 млн т [6].

Таблица 1

### Основные показатели экологически ориентированной деятельности ПАО «НК Роснефть», составлено на основе [6]

Показатель	Годы				
	2015	2016	2017	2018	2019
1. Удельные валовые выбросы в атмосферу вредных веществ, кг/т.у.т.	3,89	3,95	4,05	3,96	3,2
2. Уровень утилизации ПНГ, %	87,9	90	89,2	84,4	94,5
3. Удельное водоотведение в поверхностные водоемы загрязненных вод, м <sup>3</sup> /т.у.т.	0,1	0,2	0,1	0,1	0,09
4. Отношение образования отходов за год к их утилизации за год	0,98	0,74	0,73	0,58	0,29
5. Отношение площади нарушенных и загрязненных земель на конец года к началу года	1,36	1,34	1,01	0,96	0,79
6. Удельная частота порывов трубопроводов, шт./1 тыс. км трубопроводов)	111	127	101	95	95

Table 1

### Main indicators of ecological activities of Rosneft, compiled on the basis of [6]

Indicator	The years				
	2015	2016	2017	2018	2019
1. Specific gross emissions of harmful substances into the atmosphere, kg/t.e.f.	3,89	3,95	4,05	3,96	3,2
2. Recycling level APG, %	87,9	90	89,2	84,4	94,5
3. Specific discharge of polluted waters into surface water bodies, m <sup>3</sup> /t.e.f.	0,1	0,2	0,1	0,1	0,09
4. Ratio of waste generation per year to their utilization per year	0,98	0,74	0,73	0,58	0,29
5. Ratio of the area of disturbed and polluted lands at the end of the year to the beginning of the year	1,36	1,34	1,01	0,96	0,79
6. Specific frequency of pipeline ruptures, p./1 th. km pipelines	111	127	101	95	95

Таблица 1 показывает позитивную динамику двух последних отчетных лет: почти по всем выбранным удельным критериям наблюдается снижение негативного воздействия, в частности зафиксирован рост уровня утилизации ПНГ на 10 %.

Компания отмечает: за 2018—2019 гг. было инвестировано более 36 млрд руб. в природоохранную и природовосстановительную деятельность в ХМАО — Югре (капитальные и операционные затраты), что составляет около 24 % от общих инвестиций ПАО «НК Роснефть» по стране. За счет выведения на проектную мощность комплекса биологической очистки воды ПАО АНК «Башнефть-Уфанефтехим» ПАО «НК Роснефть» удалось сократить сброс загрязненных сточных вод на 4 %, что привело к двукратному увеличению объема оборотной воды [6].

Рассмотрим следующую крупнейшую вертикально интегрированную компанию региона — **ОАО «Сургутнефтегаз»**, объемы добычи и переработки которой за 2019 г. в 2 раза меньше «Роснефти» [4].

Объемы деятельности компании на территории ХМАО — Югры отражаются и на экологических критериях: практически по всем анализируемым направлениям за 2019 г. величины меньше, чем у «Роснефти». Интерес представляет третий показатель — «Сургутнефтегаз» наряду с ПАО «Газпромнефть» не осуществляет удельное водоотведение в поверхностные водоемы загрязненных вод, что более выгодно характеризует эти компании по сравнению с конкурентами (табл. 2).

Таблица 2

**Основные показатели экологически ориентированной деятельности  
ОАО «Сургутнефтегаз», составлено на основе [7]**

Показатель	Годы				
	2015	2016	2017	2018	2019
1. Удельные валовые выбросы в атмосферу вредных веществ, кг/т.у.т.	2,99	2,1	2,51	1,98	1,85
2. Уровень утилизации ПНГ, %	99,4	99,3	99,3	99,5	99,6
3. Удельное водоотведение в поверхностные водоемы загрязненных вод, м <sup>3</sup> /т.у.т.	0				
4. Отношение образования отходов за год к их утилизации за год	1,07	1,11	1,16	1,16	1,15
5. Отношение площади нарушенных и загрязненных земель на конец года / к началу года	0,21	0,58	0,36	0,5	0,42
6. Удельная частота порывов трубопроводов, шт./1 тыс. км трубопроводов	–	251*	138	74	35

\* Средняя частота порывов трубопроводов для региона в 2016 г.

Table 2

**Main indicators of ecological activities of Surgutneftegas, compiled on the basis of [7]**

Indicator	The years				
	2015	2016	2017	2018	2019
1. Specific gross emissions of harmful substances into the atmosphere, kg/t.e.f.	2,99	2,1	2,51	1,98	1,85
2. Recycling level APG, %	99,4	99,3	99,3	99,5	99,6
3. Specific discharge of polluted waters into surface water bodies, m <sup>3</sup> /t.e.f.	0				
4. Ratio of waste generation per year to their utilization per year	1,07	1,11	1,16	1,16	1,15
5. Ratio of the area of disturbed and polluted lands at the end of the year / to the beginning of the year	0,21	0,58	0,36	0,5	0,42
6. Specific frequency of pipeline ruptures, p./1 th. km pipelines	–	251*	138	74	35

\* The average frequency of pipeline guests for the region in 2016.

Число прорывов трубопроводов за последнее пятилетие существенно снизилось, возможно, за счет применения антикоррозионного покрытия для труб и соединительных деталей трубопроводов [7].

Для программы «Экология» в 2020 г. компанией были выделены средства в размере 26,8 млрд руб. Отмечается, что затраты планируется увеличить.

**ПАО «ЛУКОЙЛ»** добывает около 36 % углеводородов в ХМАО — Югре, являясь одной из богатейших и влиятельных компаний, заключающей соглашения о социально-экономическом сотрудничестве с правительством региона последние 15 лет [8].

Таблица 3

**Основные показатели экологически ориентированной деятельности  
ПАО «ЛУКОЙЛ», составлено на основе [8]**

Показатель	Годы				
	2015	2016	2017	2018	2019
1. Удельные валовые выбросы в атмосферу вредных веществ, кг/т.у.т.	4,5	5,5	4,1	3,4	3,2
2. Уровень утилизации ПНГ, %	91,9	91,7	95,2	97,3	97,5
3. Удельное водоотведение в поверхностные водоемы загрязненных вод, м <sup>3</sup> /т.у.т.	0,05	0,05	0,08	0,04	0,04
4. Отношение образования отходов за год к их утилизации за год	1,06	0,93	1,03	0,97	1,02
5. Отношение площади нарушенных и загрязненных земель на конец года / к началу года	–		1,1	1,03	0,72
6. Удельная частота порывов трубопроводов, шт./1 тыс. км трубопроводов	148	133	117	92	81

Table 3

**Main indicators of ecological activities of LUKOIL, compiled on the basis of [8]**

Indicator	The years				
	2015	2016	2017	2018	2019
1. Specific gross emissions of harmful substances into the atmosphere, kg/t.e.f.	4,5	5,5	4,1	3,4	3,2
2. Recycling level APG, %	91,9	91,7	95,2	97,3	97,5
3. Specific discharge of polluted waters into surface water bodies, m <sup>3</sup> /t.e.f.	0,05	0,05	0,08	0,04	0,04
4. Ratio of waste generation per year to their utilization per year	1,06	0,93	1,03	0,97	1,02
5. Ratio of the area of disturbed and polluted lands at the end of the year / to the beginning of the year	–		1,1	1,03	0,72
6. Specific frequency of pipeline ruptures, p./1 th. km pipelines	148	133	117	92	95

Прогресс компании «ЛУКОЙЛ» по большинству задач в области экологически ориентированной деятельности оценивается «как умеренный или слабый» по сравнению с другими крупными недропользователями, в том числе и на территории ХМАО — Югры. Однако наблюдается положительная тенденция по уменьшению аварий на трубопроводах (табл. 3): за последние пять лет количество порывов на тысячу километров сократилось почти в 2 раза. Причиной компания называет

«применение труб из альтернативных (неметаллических) материалов, которые обладают увеличенным сроком службы и запасом надежности» [8].

Следующим крупным нефтегазодобывающим предприятием ХМАО — Югры является **ООО «Газпромнефть-Хантос»** — дочернее предприятие «Газпромнефти». Основной объем нефтедобычи компании приходится на Южно-Приобское месторождение, на котором «за счет применения гидроразрыва пласта и горизонтального бурения удалось повысить объем добычи до 16,3 млн тонн» [9].

Так же как и основные конкуренты, за последнее пятилетие Группа «Газпромнефть» вводит реализацию целевой программы по увеличению надежности трубопроводов (частота порывов меняется со 193 шт./1 тыс. км в 2016 г. до 78—79 шт. в 2019 г.). Однако ситуацию с уровнем утилизации ПНГ для компании можно назвать критической — значение параметра не поднимается выше 80 % уже несколько лет, что пытаются объяснить «развитием новых проектов, на которых инфраструктура находится в зародышевой стадии» [9] (рис. 1).

Одной из важнейших программ компании **«Салым Петролеум Девелопмент Н.В.»** последнего четырехлетнего периода является повышение энергоэффективности и энергосбережения: «внедряются новые технологии подъема нефтяной эмульсии и оптимизируются режимы работы электроприводных установок центробежных насосов» [10].

С оставшимися тремя крупными компаниями (**ПАО «Славнефть»**, **ПАО «РуссНефть»** и **ОАО «Томскнефть»**) ситуация гораздо сложнее. Перечисленные недропользователи характеризуются низким уровнем открытости — на сайтах компаний отсутствуют отчеты по вопросам устойчивого развития и экологии, а раздел, посвященный вопросам экологически ориентированной деятельности, содержит общие слова, интересующая нас информация представлена скудно. Лишь в последние несколько лет можно обнаружить приблизительные значения по некоторым искомым параметрам.

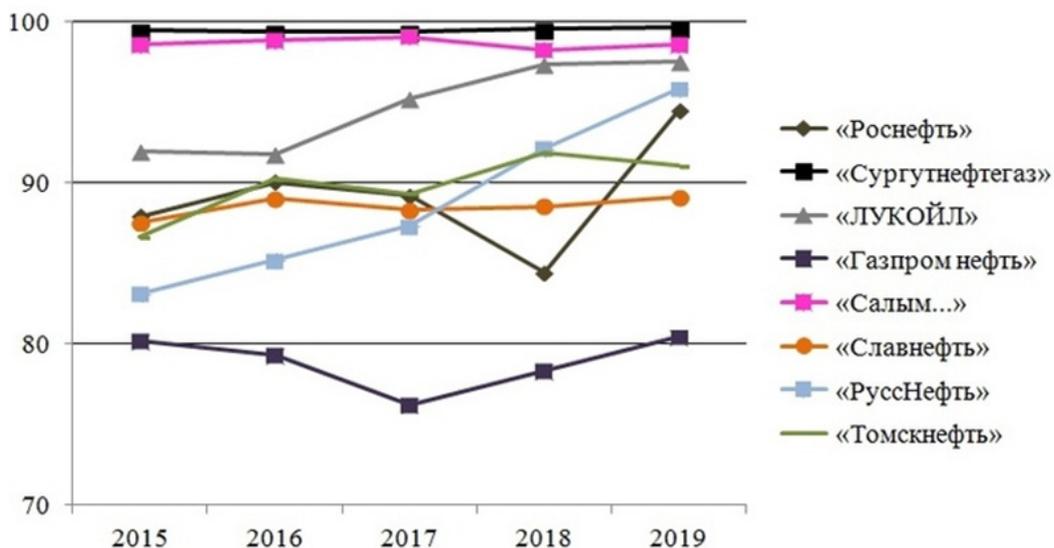
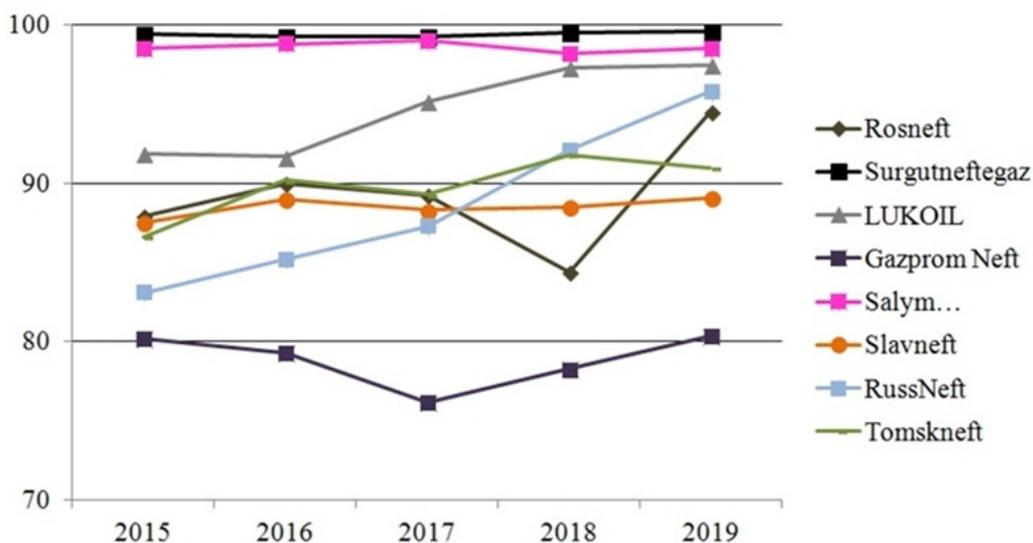


Рис. 1. Уровень утилизации ПНГ нефтегазодобывающими компаниями, действующими на территории ХМАО — Югры, % [6–13]



**Fig. 1.** The level of utilization of associated petroleum gas by oil and gas companies operating in the KhMAO – Yugra, % [6–13]

Так, у «Славнефти» и «РуссНефти» нет общедоступных данных за последние пять лет по двум индикаторам (удельное водоотведение в поверхностные водоемы загрязненных вод и удельная частота порывов трубопроводов); а у «Томскнефти» до 2019 г. — еще и по удельным валовым выбросам в атмосферу вредных веществ.

Низкий уровень прозрачности «Славнефти» и «Томскнефти» в литературных источниках объясняют попустительством «материнских транснациональных компаний, не относящихся скрупулезно к стандартам деятельности в области экологической политики своих «дочек»» [14, 15].

Как показывает приведенный анализ открытых данных об экологической деятельности нефтегазодобывающих предприятий ХМАО — Югры, они не всегда отражают аспекты, связанные с переходом к низкоуглеродному развитию, напрямую. Однако с учетом климатических рисков давление на нефтегазовую промышленность усиливается, результатом чего становится наращивание инвестиций в экологические проекты.

Так, План по углеродному менеджменту до 2035 г. — основа «зеленой» повестки «Роснефти» в контексте декарбонизации экономики. Его целевым показателем является снижение интенсивности выбросов ПНГ на 30 % в каждом регионе присутствия компании. В рамках Плана «Роснефть» «сконструировала установку по преобразованию метана в синтетические жидкие углеводороды, которая успешно прошла серию экспертиз, в т. ч. с участием независимой консалтинговой компании Euro Petroleum». Также «Роснефть» реализует Инвестиционную газовую программу — в ее рамках за 2019—2020 гг. построено около 30 объектов по полезному использованию ПНГ при суммарных капитальных вложениях в 32 млрд руб., что позволило сократить выбросы метана на 18 % по сравнению с 2018 г. С 2021 года компания для предотвращения утечек метана планирует использовать беспилотные летательные аппараты (БЛА) на месторождениях Западной Сибири в условиях низких температур. Линии связи компании оснащены альтернативными источниками энергии — солнечными батареями; к сожалению, их вклад в общий объем производства энергии очень мал. Объемы выбросов парниковых газов на территории Югры

в результате деятельности компании в 2020 г. составили около 37 млн т  $\text{CO}_2$ -экв., из них 80 % пришлось на прямые выбросы ПГ, а остальные 20 — на косвенные, связанные с закупками электрической и тепловой энергии [6].

В 2020 году «Сургутнефтегаз» сумел сократить выбросы ПГ благодаря принятой в 2016 г. корпоративной программе по утилизации ПНГ до 0,49 т  $\text{CO}_2$ -экв./т.у.т. В Обществе за последнее десятилетие ввели в эксплуатацию «30 объектов малой энергетики, способствующих сокращению факельного сжигания газа, 23 компрессорные станции низких ступеней сепарации, 1 установку компримирования и подготовки газа». Перечисленные технические решения позволяют полностью извлекать газ из нефтяной эмульсии [7]. Территория Западной Сибири широко известна своими таежными богатствами, обладающими высокими поглотительными способностями. На лесовосстановительные мероприятия «Сургутнефтегаз» ежегодно выделяет около 100 млн руб., что на выходе конвертируется в положительную динамику. В 2020 году высажено более 1,5 млн саженцев сосны обыкновенной на участках площадью 700 га [7].

Вопросы стабилизации климатической ситуации не обходят также и предприятия «ЛУКОЙЛ», отвечающие за разведку и добычу нефти и газа в Югре, — «ЛУКОЙЛ — Западная Сибирь», «Ритэк», «Турсунт» и «ЛУКОЙЛ-АИК» [8]. Направления деятельности в этой области — те же, что у их конкурентов (поиск новых технологических решений по сокращению выбросов ПГ и реализация компенсационных мероприятий).

Для другого крупного игрока на территории ХМАО — Югры — «Газпромнефти» — значимыми вопросами являются выбросы в атмосферный воздух метана при ремонте магистральных трубопроводов и оксидов азота при работе компрессорных станций; целевые показатели для снижения негативного воздействия по этим экологическим параметрам закреплены в корпоративных документах [9]. Открытая информация «Газпромнефти» в части полезного использования ПНГ является запутанной; приведено несколько значений по группам дочерних предприятий, в которых фигурируют величины от 91,1 % до 98,2 %, однако в корпоративном отчете за 2019 г. вскользь упоминается фактическое значение для региона ХМАО — Югра: чуть более 80 % [9]. В исследовании по вопросам низкоуглеродного развития компанией инвестируется около 3 млрд руб. ежегодно, результатом чего являются инновационные разработки производства водорода из природного газа «на основе плазменного пиролиза метана и пиролиза метана в расплавах металлов» [9], а также поиск уникальных технических способов транспортировки водорода.

В профиле «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.», осваивающем Салымскую группу нефтяных месторождений Западной Сибири, утвержден План долгосрочного развития в области управления выбросами ПГ и энергоэффективностью [10]. Прслеживается перевыполнение плана по многим параметрам, а энергопотребление снижается на протяжении 2017—2020 гг. Так, интенсивность выбросов ПГ упала с 0,12 т  $\text{CO}_2$ -экв./т.у.т. в 2017 г. до 0,09 в 2020 г., что обусловлено «реализацией мероприятий при добыче нефти и закачки воды в пласт, внедрению систем поддержания режимов эффективного потребления топлива и электроэнергии (СЕМИС), а также повышением уровня утилизации ПНГ» [10].

Среди альтернативных решений снижения углеродного следа компания рассматривает сохранение болот, поглощающих в 7—15 раз больше углекислого газа,

чем гектар леса. Помимо этого, хорошей практикой для нефтегазодобывающей компании является проект «Зеленая сейсмика» — в 2020 г. на площади 280 га было высажено около 450 тыс. деревьев [4].

Таким образом, на сегодня открытая отчетность нефтегазодобывающих предприятий ХМАО — Югры содержит параметры, позволяющие оценить экологическую сторону ведения деятельности. По мнению авторов, при дальнейшем совершенствовании оценки экологической деятельности нефтегазодобывающих предприятий следует придерживаться методологии WWF, предполагающей рейтинговый подход и применяющей требования Глобальной инициативы отчетности.

Для оценки экологически ориентированной деятельности нефтегазодобывающих компаний авторами разработан перечень из 11 показателей (табл. 4). Достоинства данного перечня показателей заключаются в следующем: оценка возможна на основе открытых данных, максимально задействованы более репрезентативные по сравнению с валовыми удельные показатели, в оценке используются показатели, описывающие деятельность по переходу к низкоуглеродной экономике.

Таблица 4

**Ключевые параметры оценки экологической деятельности нефтегазодобывающих компаний ХМАО — Югры за 2019 г., составлено авторами на основе [6–13]**

Показатель	Нефтегазовые компании, действующие на территории ХМАО – Югры							
	ЛУКОЙЛ	Сургутнефтегаз	НК Роснефть	Славнефть	РуссНефть	ГАЗПРОМ нефть	Салым Петролеум Девелопмент Н.В.	Томскнефть
1. Удельные валовые выбросы в атмосферу вредных веществ, кг/т.у.т.	3,2	1,85	3,2	4,9	4	3,73	0,6	0,2
2. Удельные выбросы ПГ, т CO <sub>2</sub> -экв./т.у.т.	0,69	0,53	0,58	–	1,03	0,74	0,09	–
3. Углеродоемкость продукции, г CO <sub>2</sub> -экв./МДж	83,5	79,4	88,3	99,9	–	64,6	66,6	–
4. Инвестиции в природоохранную деятельность, в т.ч. в исследования по вопросам низкоуглеродного развития, млрд руб.	35,9	25,3	19	–	0,9	17,2	0,45	0,36
5. Уровень утилизации ПНГ, %	97,5	99,6	94,5	89,1	95,8	80,4	98,5	91
6. Удельное водоотведение в поверхностные водоемы загрязненных вод, м <sup>3</sup> /т.у.т.	0,04	0	0,09	1	1	0	0,01	–
7. Отношение образования отходов за год к их утилизации за год	1,02	1,15	0,29	1,22	1,19	0,93	0,71	0,6
8. Отношение площади нарушенных и загрязненных земель на конец года к началу года	0,72	0,42	0,79	3,05	1,01	0,97	1	0,77
9. Удельная частота порывов трубопроводов, шт./1 тыс. км трубопроводов	81	32	95	–	–	46	5	–
10. Доля энергопроизводства из ВИЭ в общем объеме производства энергии, %	0,6	0,1	0,06	0	0	0,02	0,02	0
11. Площадь лесовосстановления, га	250	611	499	–	–	197	280	75

**Basic indicators for assessment of ecological activities of oil and gas companies of Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra in 2019, compiled on the basis of [6–13]**

Indicator	Oil and gas companies operating on the territory of KhMAO – Yugra							
	LUKOIL	Surgutneftegaz	Rosneft	Slavneft	RussNeft	GAZPROM Neft	Salym Petroleum Development	Tomskneft
1. Specific gross emissions of harmful substances into the atmosphere, kg/t.e.f.	3,2	1,85	3,2	4,9	4	3,73	0,6	0,2
2. Specific GHG emissions, t CO <sub>2</sub> -eq./t.e.f.	0,69	0,53	0,58	–	1,03	0,74	0,09	–
3. Carbon intensity of products, g CO <sub>2</sub> -eq/MJ	83,5	79,4	88,3	99,9	–	64,6	66,6	–
4. Investments in environmental activities, incl. in research on low-carbon development, billion rubles	35,9	25,3	19	–	0,9	17,2	0,45	0,36
5. Recycling level APG, %	97,5	99,6	94,5	89,1	95,8	80,4	98,5	91
6. Specific discharge of polluted waters into surface water bodies, m <sup>3</sup> /t.e.f.	0,04	0	0,09	1	1	0	0,01	–
7. Ratio of waste generation per year to their utilization per year	1,02	1,15	0,29	1,22	1,19	0,93	0,71	0,6
8. Ratio of the area of disturbed and polluted lands at the end of the year to the beginning of the year	0,72	0,42	0,79	3,05	1,01	0,97	1	0,77
9. Specific frequency of pipeline ruptures, p./1 th. km pipelines	81	32	95	–	–	46	5	–
10. Share of energy production from RES in total energy production, %	0,6	0,1	0,06	0	0	0,02	0,02	0
11. Reforestation area, ha	250	611	499	–	–	197	280	75

Разброс вложений в природоохранную деятельность — от почти 36 млрд руб. у «ЛУКОЙЛ» до 360 млн у «Томскнефти» отчасти можно объяснить масштабами присутствия перечисленных компаний в регионе, тем не менее тот же «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.», довольно обширно представленный на месторождениях ХМАО, также отличается относительно невысокими инвестициями (450 млн руб.).

## Заключение

В рамках проведенного исследования с помощью ретроспективного анализа корпоративных отчетов в области устойчивого развития и экологических отчетов проанализированы сведения об экологически ориентированной деятельности нефтегазодобывающих компаний ХМАО — Югры за период с 2015 по 2019 г. Выявлено, что основными направлениями «зеленой» политики предприятий округа являются планомерное снижение негативного воздействия на атмосферный воздух, в том числе благодаря мероприятиям, направленным на сокращение доли сжигания ПНГ, оптимизация водопользования, а также предупреждение и ликвидация аварий на трубопроводах. В стратегиях развития большинства крупных

нефтегазодобывающих предприятий округа выявлен тренд на декарбонизацию, включающий разработку и финансирование программ по переработке и утилизации ПНГ, создание в перспективе водородного кластера, а также альтернативные мероприятия в области перехода к низкоуглеродному развитию, например сохранение биологического разнообразия (лесовосстановительные кампании, сохранение болотных угодий и т.п.).

В развитие методики оценки экологически ориентированной деятельности нефтегазодобывающих компаний разработан перечень из одиннадцати параметров, основополагающими среди которых являются удельные параметры, что позволит в перспективе создать экологический рейтинг нефтегазодобывающих компаний, учитывающий деятельность в области перехода к низкоуглеродному развитию.

### Список литературы

- [1] О Стратегии социально-экономического развития Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2030 года: Распоряжение № 101-рп от 22 марта 2013 г.: по состоянию на 16.08.2019 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
- [2] Юдин К.С. Анализ экологических проблем Ханты-Мансийского автономного округа — Югры // Наука, технологии, инновации в мире глобальных трансформаций: материалы IX Международной научно-практической конференции (21 апреля 2021 г.): в 2 ч. Ч 1. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного университета ИУБиП, 2021. С. 36—39.
- [3] О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с.
- [4] Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре в 2019 году. Государственный доклад. М.: Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, 2020. 193 с.
- [5] Грицевич И.Г. Перспективы и сценарии низкоуглеродного развития: ЕС, Китай и США в глобальном контексте. Скорость цвета. 2021. С. 36.
- [6] Отчет в области устойчивого развития за 2020 год. Корпоративная отчетность. М.: ПАО «НК Роснефть», 2021. 236 с.
- [7] Экологический отчет ПАО «Сургутнефтегаз» за 2020 год. Корпоративная отчетность. М.: ПАО «Сургутнефтегаз», 2021. 62 с.
- [8] Об устойчивом развитии группы «ЛУКОЙЛ» за 2020 год. Корпоративная отчетность. М.: ПАО «ЛУКОЙЛ», 2021. 187 с.
- [9] Об устойчивом развитии 2019. Корпоративная отчетность. СПб.: «ГАЗПРОМ нефть». 2020. 180 с.
- [10] Салым Петролеум: официальный сайт. Москва. URL: <https://salympetroleum.ru/> (дата обращения: 15.11.2021).
- [11] ПАО «НГК Славнефть»: официальный сайт. Москва. URL: <https://www.slavneft.ru/> (дата обращения: 15.11.2021).
- [12] ПАО НК «РуссНефть»: официальный сайт. Москва. URL: <https://russneft.ru/> (дата обращения: 01.12.2021).
- [13] АО «Томскнефть» ВНК: официальный сайт. Москва. URL: <https://www.tomskneft.ru/> (дата обращения: 15.11.2021).
- [14] Грушевенко Е., Капитонов С., Мельников Ю. и др. Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России. М.: Центр энергетики Московской школы управления Сколково, 2020.
- [15] Кирушин П.А., Книжников А.Ю., Кочи К.В. и др. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. Москва: WWF, 2013. 90 с.

### References

- [1] On the Strategy for the Socio-Economic Development of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug–Yugra for the period up to 2030: March 22, 2013; as of August 16, 2019. *Electronic Fund of Legal and Regulatory and Technical Documents*. (In Russ.)

- [2] Yudin KS. Analysis of environmental problems of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug—Yugra. Science, technology, innovation in the world of global transformations: materials of the IX International Scientific and Practical Conference (April 21, 2021): in 2 hours, Part 1. Rostov-on-Don: Publishing house of the Southern University of IUBiP. 2021:36—39. (In Russ.)
- [3] On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2019. State report. M.: Ministry of Natural Resources of Russia: Moscow State University named after M.V. Lomonosov. 2020. (In Russ.)
- [4] On the environmental situation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug—Yugra in 2019. State report. M.: Service for control and supervision in the field of environmental protection, wildlife, and forest relations of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug—Yugra. 2020. (In Russ.)
- [5] Gritsevich IG. Prospects and scenarios for low-carbon development: the EU, China and the US in a global context. *Color Speed*. 2021. (In Russ.)
- [6] Sustainability Report 2020. Corporate reporting. M.: NK Rosneft. 2021. (In Russ.)
- [7] Environmental report of Surgutneftegas for 2020. Corporate reporting. M.: Surgutneftegaz. 2021. (In Russ.)
- [8] On the sustainable development of the LUKOIL Group in 2020. Corporate reporting. M.: LUKOIL. 2021. (In Russ.)
- [9] On sustainable development 2019. Corporate reporting. St. Petersburg: GAZPROM Neft. 2020. (In Russ.)
- [10] Salym Petroleum: official site. Moscow. URL: <https://salympetroleum.ru/> (date of access: 11/15/2021).
- [11] Slavneft: official website. Moscow. URL: <https://www.slavneft.ru/> (date of access: 11/15/2021).
- [12] RussNeft: official website. Moscow. URL: <https://russneft.ru/> (date of access: 01.12.2021).
- [13] Tomskneft: official site. Moscow. URL: <https://www.tomskneft.ru/> (date of access: 11/15/2021).
- [14] Grushevenko E, Kapitonov S, Melnikov Yu. Decarbonization of the oil and gas industry: international experience and priorities of Russia. Moscow: *Energy Center of the Moscow School of Management Skolkovo*. 2020. (In Russ.)
- [15] Kiryushin PA, Knizhnikov AYu, Kochi KV. Associated petroleum gas in Russia: «You can't burn it, process it!» Analytical report on the economic and environmental costs of burning associated petroleum gas in Russia. Moscow: WWF, 2013. 90 p.

#### Сведения об авторах:

Юдин Кирилл Сергеевич, магистрант направления «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов», Тюменский государственный университет. Российская Федерация, 625003, Тюмень, Володарского, 6. SPIN-код: 9196-1084, ORCID 0000-0002-9590-2925 E-mail: stud003944515@study.utmn.ru

Притужалова Ольга Александровна, Dr. rer. nat., кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования, Тюменский государственный университет. ORCID 0000-0002-0720-9793. SPIN-код: 3360-6144, E-mail: spook191@yandex.ru

#### Bio notes:

Kirill S. Yudin, master student of Programm “Geoecology of oil and gas producing regions”, Tyumen State University, 6, Volodarsky St, Tyumen, 625003, Russian Federatin. SPIN-код: 9196—1084, ORCID 0000-0002-9590-2925 E-mail: stud003944515@study.utmn.ru

Olga A. Prituzhalova, Dr. rer. nat., Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of The Department of Geocology and Environmental Management, Tyumen State University. SPIN-код: 3360-6144, ORCID 0000-0002-0720-9793. E-mail: spook191@yandex.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-177-188

УДК 663.63.0

Научная статья / Research article

## Перспективы использования поверхностных вод Иркутской области для питьевого водоснабжения и производства безалкогольных напитков

О.И. Дзювина<sup>1</sup> , Т.В. Котова<sup>2,3</sup>  , Ю.С. Федорова<sup>2</sup> ,А.С. Вальнюкова<sup>2</sup> , В.Ю. Масаев<sup>4,5</sup> <sup>1</sup>Филиал Байкальского государственного университета в г. Усть-Илимск,  
Усть-Илимск, Россия<sup>2</sup>Кемеровский государственный медицинский университет, Кемерово, Россия<sup>3</sup>Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия<sup>4</sup>Кузбасский государственный технический университет, Кемерово, Россия<sup>5</sup>Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия [t\\_kotova@inbox.ru](mailto:t_kotova@inbox.ru)

**Аннотация.** Актуальной проблемой современной цивилизации является обеспечение населения качественной питьевой водой. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) от заболеваний, распространяющихся через воду, страдает не менее 5—10 % населения. По данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в девяти городах Сибирского федерального округа качество воды влияет на формирование заболеваемости населения (от 7,7 до 41,0 %). Анализ данных, представленных в государственных докладах по состоянию и охране окружающей среды Иркутской области, показал, что в поверхностных водах региона систематически наблюдается превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) по фенолу, а в некоторых контролируемых районах и по хлороформу. Одним из основных компонентов, используемых при производстве различной безалкогольной продукции, является вода. Различные органические вещества, такие как фенолы, нефтепродукты, галогенорганические производные углеводородов, согласно требованиям к качеству воды, используемой для приготовления безалкогольных напитков, должны отсутствовать. В связи с этим целью работы явилось изучение возможности использования различных адсорбционных систем для очистки сточных вод Иркутской области для питьевого водоснабжения и производства безалкогольных напитков. Применяли адсорбционный метод. Исследования проводились на модельных водных растворах как индивидуальных веществ, так и при совместном присутствии. Проведено математическое моделирование сорбционного процесса в динамических условиях. Доказана возможность использования древесного угля для очистки сточных вод. Предварительная обработка активированного угля соляной кислотой практически не влияет на адсорбцию хлороформа, но приводит к увеличению адсорбции фенола. Соляная кислота способствует удалению ионов железа из пор сорбентов. Снижение степени очистки воды от фенола при повышении pH приводит к подавлению адсорбции. Установлено влияние фенола и хлороформа на величину адсорбции. Процесс сорбции лимитируется внешним массопереносом. Рассчитано расхождение между расчетными

© Дзювина О.И., Котова Т.В., Федорова Ю.С., Вальнюкова А.С., Масаев В.Ю., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

и экспериментальными выходными кривыми сорбции фенола и хлороформа из индивидуальных растворов и при их совместном присутствии.

**Ключевые слова:** поверхностные воды, загрязнения, фенол, хлороформ, сорбент, активный уголь, динамика

**Вклад авторов.** О.И. Дзювина — сбор и обработка материала, написание статьи. Т.В. Котова — анализ полученных данных, написание статьи. Ю.С. Федорова — анализ полученных данных, обработка материала. А.С. Вальнюкова — экспериментальное исследование динамики сорбционного процесса, обработка полученных данных. В.Ю. Масаев — обработка результатов по адсорбционным системам.

**История статьи:** поступила в редакцию 23.11.2021; принята к публикации 30.11.2021.

**Для цитирования:** Дзювина О.И., Котова Т.В., Федорова Ю.С., Вальнюкова А.С., Масаев В.Ю. Перспективы использования поверхностных вод Иркутской области для питьевого водоснабжения и производства безалкогольных напитков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 177—188. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-177-188>

## Prospects for the use of surface waters of the Irkutsk region for drinking water supply and the production of soft drinks

Oksana I. Dzyuvina<sup>1</sup>  , Tatyana V. Kotova<sup>2,3</sup> ,

Yuliya S. Fedorova<sup>2</sup> , Anastasia S. Valnyukova<sup>2</sup> , Vladislav Yu. Masaev<sup>4,5</sup> 

<sup>1</sup>Branch of the Baikal State University in Ust-Ilimsk, Ust-Ilimsk, Russia

<sup>2</sup>Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia

<sup>3</sup>Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

<sup>4</sup>Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia

<sup>5</sup>Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia

t\_kotova@inbox.ru

**Abstract.** One of the urgent problems of modern civilization is the provision of the population with high-quality drinking water. According to the World Health Organization (WHO), at least 5—10 % of the population suffers from waterborne diseases. According to the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being in nine cities of the Siberian Federal District, the influence of water quality on the formation of population morbidity (from 7,7 to 41,0 %) has been established. Analysis of the data presented in the State reports on the state and protection of the environment of the Irkutsk region showed that in the surface waters of the region there is a systematic excess of the maximum permissible concentration (MPC) for phenol, and in some controlled areas for chloroform. One of the main components used in the production of various non-alcoholic products is water. Various organic substances, such as phenols, petroleum products, halogenated derivatives of hydrocarbons, according to the requirements for the quality of water used for the preparation of soft drinks, should be absent. Therefore, the purpose of the study was the use of various adsorption systems for wastewater treatment in the Irkutsk region for drinking water supply and the production of soft drinks. Used the adsorption method. The studies were carried out on model aqueous solutions, both of individual substances and in their joint presence. Mathematical modeling of the sorption process under dynamic conditions has been carried out. As a result of the studies carried out, the possibility of using charcoal for wastewater treatment has been proven. Pretreatment of activated carbon with hydrochloric acid practically does not affect the adsorption of chloroform, but leads to an increase in the adsorption of phenol. Hydrochloric acid helps to remove iron ions from the pores of the sorbents. A decrease in the degree of water purification from phenol with an increase in pH leads to the suppression of adsorption. The effect of phenol and chloroform on the value of adsorption has been established. The sorption process is limited by external mass transfer. The discrepancy between the calculated and experimental output curves of phenol and chloroform sorption from individual solutions and in their joint presence is calculated.

**Keywords:** surface water, pollution, phenol, chloroform, sorbent, activated carbon, dynamics

**Authors' contributions.** O.I. Dzyuvina — collection and processing of the material, writing the article. T.V. Kotova — analysis of the data obtained, writing the article. Yu.S. Fedorova — analysis of the data obtained, processing of the material. A.S. Valnyukova — experimental study of the dynamics of the sorption process, processing of the data obtained. V. Yu. Masaev — processing of results on adsorption systems.

**Article history:** received 23.11.2021; accepted 30.11.2021.

**For citation:** Dzyuvina OI, Kotova TV, Fedorova YS, Valnyukova AS, Masaev VYu. Prospects for the use of surface waters of the Irkutsk region for drinking water supply and the production of soft drinks. *RUDN Journal of Ecology and Life safety*. 2022;30(2):177—188. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-177-188>

## Введение

В производстве безалкогольной продукции (газированные напитки, соки, морсы и т. п.) доля воды в конечном продукте составляет более 80 %. Одним из параметров, определяющих качества пищевой продукции, является качество питьевой воды, используемой для приготовления. Вода, используемая в производстве безалкогольных напитков, по своим показателям должна соответствовать требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», введенного в действие с 1 марта 2021 г., и не содержать загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих уровень ПДК. Различные органические вещества, такие как фенолы, нефтепродукты, галогенорганические производные углеводов должны отсутствовать.

Для питьевых и хозяйственно-бытовых целей в Иркутской области используется вода из поверхностных и подземных источников водоснабжения. При этом на долю поверхностных водоемов приходится 86 % потребности воды и только 14 % потребления — на подземные источники. В связи с высокими темпами роста производств и использования химических веществ возрастает присутствие органических микрозагрязнителей в окружающей среде и, следовательно, в источниках питьевой воды. Во всем мире аналитическими методами обнаруживают наличие в малых концентрациях органические загрязняющие вещества в питьевой воде [1—3]. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году» практически на всех контролируемых объектах наблюдается ПДК по фенолу и хлороформу в поверхностных водах р. Ангары. Аналогичная ситуация наблюдается и в 2020—2021 гг.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), от заболеваний, распространяющихся через воду, страдает не менее 5—10 % населения. Таким образом, доочистка воды от данных веществ в процессе водоподготовки является необходимой стадией как для питьевого водоснабжения, так и для производства безалкогольной продукции.

Для подготовки воды, направляемой для централизованного водоснабжения и производства напитков, используются различные методы [4]. Одним из распространенных методов обеззараживания является хлорирование. При хлорировании воды, содержащей органические вещества, образуются более токсичные соединения — хлороформ, хлорфенол и др. Также может быть использован метод озонирования (как предварительного, так и постозонирования) [3, 5]. Тем не менее

анализ используемых методов водоподготовки показывает, что независимо от используемых методов при обработке поверхностных вод, загрязненных лигнином и его производными, будут образовываться токсичные вещества — хлороформ, фенол и формальдегид.

К ведущему и наиболее перспективному направлению в технологии извлечения небольших количеств органических веществ из водных растворов относится сорбционный способ [5, 6].

Очистка с помощью активированного угля (АУ) находит широкое применение при обработке и очистке воды, где механизмы адсорбции, например, физическая сорбция или хемосорбция, позволяют загрязнителям перемещаться из жидкости на твердую поверхность. Для этих целей используют гранулированный АУ, обладающий низким содержанием минералов, высоким содержанием углерода, и высокой пористостью [7, 8].

## Методы и материалы

Эффективность адсорбционной очистки вод от органических соединений сорбентами определялась по совокупности исследований равновесия, кинетики и динамики адсорбционного процесса. Характеристики сорбентов представлены в табл. 1. Кроме достаточно известных и используемых марок угля были использованы образцы древесного угля (ДУ), полученные в лабораторных условиях при переработке отходов лесоперерабатывающего производства на основе лиственницы.

Таблица 1

Основные характеристики используемых сорбентов

Показатель	Марка сорбента				
	АГ-3	СКД-515	КАУ	ПФС	Образец ДУ
Удельная поверхность по БЭТ, м <sup>2</sup> /г	810	850	–	–	–
Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>	465	526	417	374	425
Массовая доля общей золы, %	8,0	–	5,4	1,3	6,0
Суммарный объем пор, дм <sup>3</sup> /кг	0,88	0,85	0,97	1,10	–
Основной размер частиц, мм	1,0-1,5	–	0,5-1,5	0,5-1,0	0,5-1,5
Прочность, %	88	75	90	86	80
Объем пор, дм <sup>3</sup> /кг:					
микро-	0,26	0,28	0,31	0,34	–
мезо-	0,09	0,11	0,66	0,76	–
макро-	0,53	0,33	–	–	–

Table 1

Main characteristics of the used sorbents

Indicator	Sorbent grade				
	AG-3	SKD-515	KAC	PFR	Charcoal sample
BET specific surface area, m <sup>2</sup> /g	810	850	–	–	–
Bulk density, g/dm <sup>3</sup>	465	526	417	374	425
Mass fraction of total ash, %	8,0	–	5,4	1,3	6,0
Total pore volume, dm <sup>3</sup> /kg	0,88	0,85	0,97	1,10	–

Indicator	Sorbent grade				
	AG-3	SKD-515	KAC	PFR	Charcoal sample
Main particle size, mm	1,0-1,5	–	0,5-1,5	0,5-1,0	0,5-1,5
Strength, %	88	75	90	86	80
Pore volume, dm <sup>3</sup> /kg:					
micro-	0,26	0,28	0,31	0,34	–
meso-	0,09	0,11	0,66	0,76	–
macro-	0,53	0,33	–	–	–

Исследование равновесия проводилось с использованием модельных водных растворов хлороформа и фенола с концентрациями в интервалах от 0,1 до 100 ПДК. Предварительно установлено оптимальное время контакта сорбента с изучаемыми системами, которое составило 30 мин.

Для определения концентрации хлороформа применялся газохроматографический метод, а для фенола — фотоколориметрический метод.

Изучалось адсорбционное равновесие в системах («водный раствор хлороформа — сорбент»; «водный раствор фенола — сорбент»; «водный раствор смеси фенола с хлороформом — сорбент»):

1) постоянная навеска каждого образца сорбента загружалась в водные растворы с переменными концентрациями сорбтива в изучаемом интервале (индивидуальные системы и при взаимном присутствии компонентов);

2) в течение 30 мин. навеска встряхивалась;

3) в фильтрате определялась концентрация вещества.

Величина равновесной адсорбции рассчитывалась по формуле

$$a = \frac{(C_0 - C_p) \times V}{m},$$

где  $a$  – величина равновесной адсорбции, моль/г;  $C_0$ ,  $C_p$  – исходная и равновесная концентрация вещества в растворе, моль/дм<sup>3</sup>;  $V$  – объем раствора, из которого ведется адсорбция, дм<sup>3</sup>;  $m$  – масса сорбента, г.

Изучение кинетики адсорбции проводилось с использованием модельных растворов с концентрациями вещества от 0,1 до 10 ПДК. Постоянная навеска образца сорбента помещалась в коническую колбу, заливалась точно известным объемом раствора с точно известной (постоянной) концентрацией адсорбтива и встряхивалась. Через определенное время (интервал времени контакта изменялся от 30 сек. до 60 мин.) определялась концентрация адсорбтива в растворе и рассчитывалась величина адсорбции.

Экспериментальное изучение динамики заключалось в установлении концентрации сорбтива в каждой порции фильтрата, полученного при прогонке раствора известной концентрации через колонку, заполненную сорбентом. Математическое моделирование непрерывного процесса адсорбции на всех исследованных АУ проводилось на основе фундаментального уравнения внешнедиффузионной динамики адсорбции с использованием адсорбционных констант уравнения Дубинина — Радушкевича и кинетических данных [9]. Критерием применимости расчетной модели послужило совпадение экспериментальных и рассчитанных динамических кривых при заданных параметрах извлечения.

## Результаты и обсуждение

Исследование равновесия адсорбции позволяет получить информацию о природе взаимодействия адсорбтива с поверхностью сорбента, определить максимальную величину адсорбции, а также предположить способ регенерации сорбентов. Предварительное изучение сорбционного процесса в системах: «водный раствор хлороформа — сорбент», «водный раствор фенола — сорбент», «водный раствор фенола / хлороформа — сорбент» — показало, что адсорбционное равновесие в системах достигается только через 6 ч от начала процесса. Результаты изучения сорбционного процесса для индивидуальных систем и для сорбции из смеси представлены в табл. 2—4. Степени извлечения хлороформа и фенола как из индивидуальных смесей, так и при совместном присутствии имеют высокие значения и составляют 70—95 %. Экспериментальный образец древесного угля, полученного при пиролизе отходов лесопильного производства, показывает также оптимальные результаты по извлечению данных веществ в равновесных условиях. Процесс адсорбции пористыми углеродными материалами описывается уравнением Дубинина — Радускевича, которое позволяет рассчитать величину предельной адсорбции, характеристическую энергию  $E$  и объем адсорбционного пространства  $W$ .

Таблица 2

### Адсорбционные параметры системы водный раствор хлороформа – углеродный сорбент

Показатель	Марка АУ				
	АГЗ	СКД-515	КАУ	ПФС	Экспериментальный образец ДУ
$a_{\max}$ , моль/г	6,85	7,22	7,96	4,56	3,20
Степень извлечения хлороформа, %	89	90	95	85	80
$E$ , кДж/моль	9,97	10,15	10,39	11,68	8,90
$W$ , $\text{дм}^3/\text{кг}$	0,73	0,77	0,85	0,49	0,29

Table 2

### System adsorption parameters chloroform aqueous solution – carbon sorbent

Indicator	Sorbent grade				
	AG-3	SKD-515	KAC	PFR	Charcoal sample
$a_{\max}$ , mol/g	6,85	7,22	7,96	4,56	3,20
Chloroform recovery, %	89	90	95	85	80
$E$ , kJ/mol	9,97	10,15	10,39	11,68	8,90
$W$ , $\text{дм}^3/\text{кг}$	0,73	0,77	0,85	0,49	0,29

Таблица 3

### Адсорбционные параметры системы водный раствор фенола – углеродный сорбент

Показатель	Марка АУ				
	АГЗ	СКД-515	КАУ	ПФС	Экспериментальный образец ДУ
$a_{\max}$ , моль/г	6,25	6,84	6,36	6,56	4,10
Степень извлечения фенола, %	86	88	83	90	75
$E$ , кДж/моль	12,50	15,60	13,54	16,88	12,90
$W$ , $\text{дм}^3/\text{кг}$	0,71	0,76	0,79	0,54	0,25

**System adsorption parameters  
aqueous solution of phenol – carbon sorbent**

Indicator	Sorbent grade				
	AG-3	SKD-515	KAC	PFR	Charcoal sample
$a_{\max}$ , mol/g	6,25	6,84	6,36	6,56	4,10
Phenol recovery, %	86	88	83	90	75
$E$ , kJ/mol	12,50	15,60	13,54	16,88	12,90
$W$ , dm <sup>3</sup> /kg	0,71	0,76	0,79	0,54	0,25

Таблица 4

**Адсорбционные параметры системы  
водный раствор хлороформа / фенола – углеродный сорбент  
(совместное присутствие)**

Показатель	Марка АУ				
	АГ-3	СКД-515	КАУ	ПФС	Экспериментальный образец ДУ
$a_{\max}$ , моль/г по хлороформу	2,95	3,05	3,1	2,1	1,6
$a_{\max}$ , моль/г по фенолу	1,75	2,5	2,4	3,6	1,5

Table 4

**System adsorption parameters chloroform / phenol aqueous solution – carbon sorbent  
(joint presence)**

Indicator	Sorbent grade				
	AG-3	SKD-515	KAC	PFR	Charcoal sample
$a_{\max}$ , mol/g by chloroform	2,95	3,05	3,1	2,1	1,6
$a_{\max}$ , mol/g by phenol	1,75	2,5	2,4	3,6	1,5

Для исследуемых углей, в том числе экспериментального образца ДУ, значение характеристической энергии, рассчитанной по результатам процесса сорбции, доказывает микропористую структуру сорбента. Объемы адсорбционного пространства, определенные по результатам сорбции из индивидуальных растворов, имеют сопоставимые значения и согласуются с имеющими данными по суммарному объему пор по активным углям марок АГ-3, СКД-515 и КАУ. Значения теплот адсорбции во всех изученных случаях находятся в пределах значений от 7,5 до 18 кДж/моль. Можно предложить, что изначально извлечение фенола и хлороформа углеродными сорбентами происходит в результате физической адсорбции. Следовательно, для регенерации отработанных сорбентов можно будет использовать термическую обработку или обработку водяным паром.

Проведено экспериментальное исследование кинетики адсорбции фенола и хлороформа при совместном присутствии из водных растворов АУ, рассчитаны кинетические параметры (табл. 5).

**Коэффициенты внешнего массопереноса в система АУ – вода – сорбтив**

Вещество	Уголь	АГ-3	СКД-515	КАУ	ДУ
Хлороформ	βп, с-1	0,9837	1,0034	0,9986	0,5284
Фенол	βп, с-1	0,8564	0,8436	0,8466	0,4856

Table 5

**External mass transfer coefficients into the system AC – water – sorbtiv**

Sorbent grade	AG-3	SKD-515	KAC	PFR	Charcoal sample
Chloroform	βп, с-1	0,9837	1,0034	0,9986	0,5284
Phenol	βп, с-1	0,8564	0,8436	0,8466	0,4856

Близость величин коэффициента внешнего массопереноса свидетельствует о том, что природа и структура сорбента не оказывают влияния на характер массопереноса. Анализ экспериментальных данных по кинетике адсорбции изученных систем показывает, что в области концентраций от 0,1 до 10 ПДК по загрязняющему веществу (хлороформу или фенолу) сорбция контролируется внешним массопереносом. Увеличение концентрации сорбтива в растворе приводит к сокращению времени, лимитируемого внешним массопереносом. При концентрации хлороформа 0,6 мг/дм<sup>3</sup> (10 ПДК) оно составляет 110 сек, а при концентрации 10 мг/дм<sup>3</sup> (167 ПДК) — всего 30 сек.

Таким образом, в области концентраций загрязняющих веществ (хлороформа и фенола), наблюдаемых в поверхностных источниках воды в Иркутской области, при проведении процесса адсорбционной очистки в динамических условиях можно ожидать высокую степень извлечения по изучаемым веществам. Данные, полученные для экспериментального образца ДУ на основе пиролиза древесных отходов, также позволяют предположить возможность его использования для очистки.

Экспериментальное изучение динамики сорбционного процесса предполагает последовательный подбор параметров (тип сорбента, длина неподвижного слоя, скорость потока и др.) и получение экспериментальных выходных кривых, зависящих от одной варьируемой переменной (например, скорости потока раствора) при фиксированных значениях остальных переменных. Это связано со значительными затратами времени. Математическое моделирование динамики, осуществляемое на основе теоретических зависимостей, описывающих массоперенос, значительно сокращает объем экспериментальных исследований динамики адсорбции.

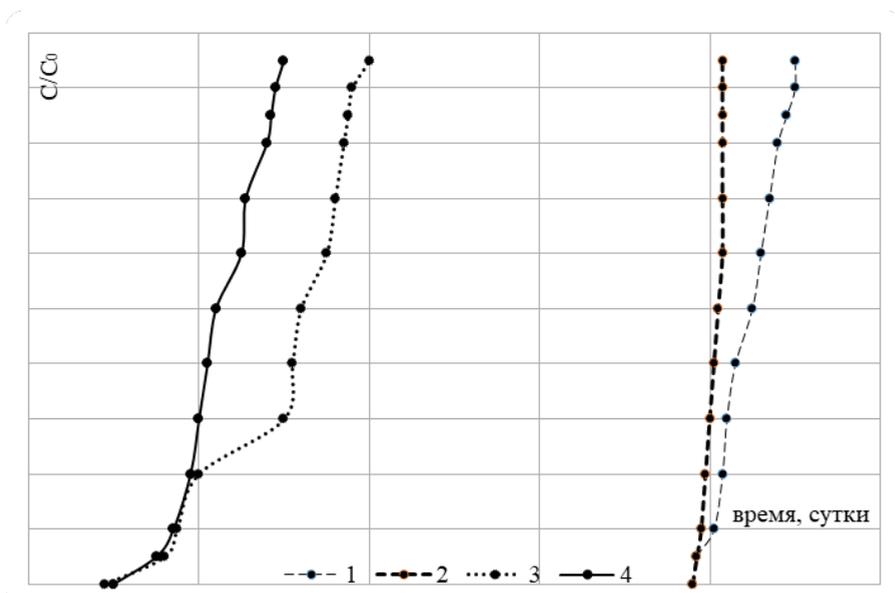
Математическое моделирование непрерывного процесса адсорбции на всех исследованных АУ проведено на основе фундаментального уравнения внешне-диффузионной динамики адсорбции с использованием адсорбционных констант уравнения Дубинина — Радужкевича и кинетических данных.

На рисунке 1 представлены экспериментальные и расчетные выходные кривые фенола и хлороформа при совместном присутствии для неподвижного фильтрующего слоя сорбента (АУ СКД-515) длиной 2 м при средней скорости потока 2 м/ч.

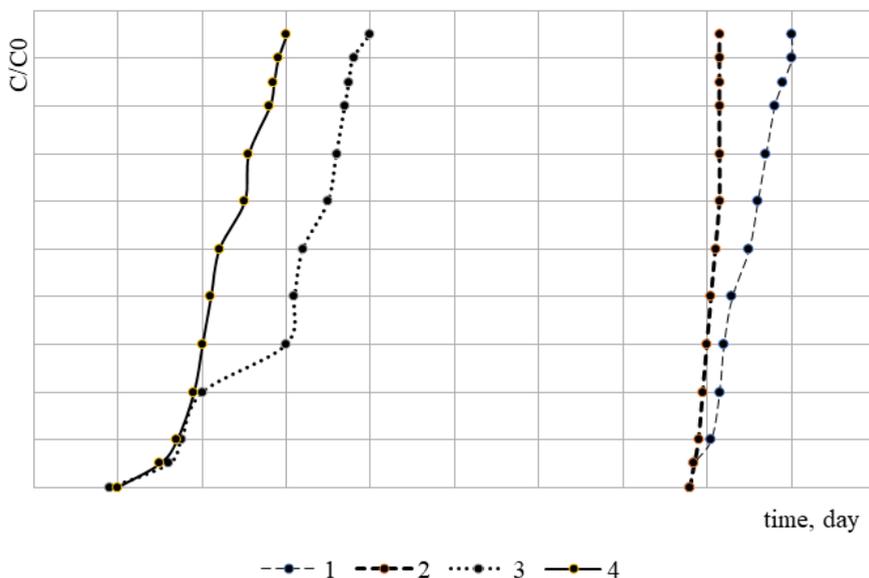
Сопоставление изотерм адсорбции смеси фенола и хлороформа в водном растворе с изотермами адсорбции индивидуальных водных растворов показало,

что из смеси каждый компонент адсорбируется слабее, чем из индивидуального водного раствора.

Эта закономерность сохраняется при адсорбции хлороформа, причем адсорбция хлороформа на АУ выше, чем адсорбция фенола, что, вероятно, связано с его меньшей растворимостью в воде ( $C_s$  фенола = 925 ммоль/дм<sup>3</sup>,  $C_s$  хлороформа = 68,68 ммоль/ дм<sup>3</sup>), а также меньшим по сравнению с фенолом вандерваальсовским размером молекулы — 0,64 нм хлороформа, 0,67 нм фенола.



**Рис. 1.** Экспериментальные (2, 4) и теоретические (1, 3) выходные кривые адсорбции фенола и хлороформа при совместном присутствии на АУ СКД-515:  $V = 2$  м/ч,  $L = 1$  м (1, 2),  $L = 2$  м (3, 4)



**Fig. 1.** Experimental (2, 4) and theoretical (1, 3) output curves of phenol and chloroform adsorption in the presence of SKD-515 on AC:  $V = 2$  m / h,  $L = 1$  m (1, 2),  $L = 2$  m (3, 4)

Экспериментально установлено, что предварительная обработка АУ соляной кислотой практически не влияет на адсорбцию хлороформа, но приводит к увеличению адсорбции фенола. При обработке углей раствором соляной кислоты происходит изменение состава поверхностных функциональных групп, при этом гидроксидная группа фенола образует дополнительную водородную связь с кислородсодержащей поверхностной группой угля. Благодаря этому взаимодействию адсорбция фенола значительно увеличивается по сравнению с адсорбцией на необработанных адсорбентах. Таким образом, соляная кислота способствует удалению ионов железа из пор сорбентов, которые, размещаясь преимущественно в наиболее узких доступных участках мезопор, блокируют входы в целые области микропористой структуры угля.

Исследование влияния рН среды показало снижение степени очистки воды от фенола при повышении рН, что обусловлено образованием фенолят-ионов, которое приводит к подавлению адсорбции. При этом рН раствора практически не влияет на адсорбцию хлороформа.

Важным фактором, обуславливающим выбор технологической схемы, является кинетика процесса адсорбции, т.е. определение стадии массопереноса, контролирующего скорость процесса адсорбции и значения коэффициентов массопереноса. Установлено, что время процесса адсорбции, лимитируемое внешним массопереносом, сокращается при увеличении концентрации фенола и хлороформа в растворе. Полученные данные позволяют предположить, что при проведении процесса адсорбции в динамических условиях можно ожидать высокую степень извлечения хлороформа и фенола при их совместном присутствии из очищаемой воды при высоких скоростях фильтрации. Теоретически определены коэффициенты внешнего массопереноса, необходимые для оптимизации непрерывного процесса адсорбции.

Критерием применимости расчетной модели служит совпадение экспериментальных и рассчитанных динамических кривых при заданных параметрах извлечения. Полученные результаты показывают, что формы выходных кривых, полученных экспериментально и рассчитанных с помощью математической модели, совпадают на участке до отношения концентраций 0,05, далее формы кривых отличаются. Таким образом, можно сделать вывод, что для оценки времени проскока (т.е. времени работы сорбционного фильтра) можно использовать математическую модель и не проводить исследование сорбции в динамических условиях.

Исследование процессов адсорбции из водных растворов фенола и хлороформа экспериментальными образцами ДУ, полученного в результате пиролиза древесных отходов лесопильного производства (лиственница), позволило предварительно определить объем адсорбционного пространства и оценить возможность его использования в перспективе для очистки поверхностных вод от фенола и хлороформа при их совместном присутствии.

## Выводы

1. Установлено влияние на величину адсорбции фенола и хлороформа при совместном присутствии природы сорбента, способа получения, пористой структуры, величины удельной поверхности, способа подготовки. Определено, что по совокупности параметров наиболее эффективным для сорбционного извлечения

фенола и хлороформа при их совместном присутствии из изученных сорбентов является АУ-СКД-515. Проведенные исследования экспериментальных образцов ДУ на основе древесных отходов лесопильного производства показали возможность использования полученного угля для извлечения фенола и хлороформа в области низких концентраций.

2. В области концентраций от 0,1 до 10 ПДК изученных сорбентов (хлороформа и фенола), наиболее отражающих содержание загрязняющих веществ в поверхностных водах Иркутской области, процесс сорбции лимитируется внешним массопереносом.

3. Рассчитано расхождение между расчетными и экспериментальными выходными кривыми сорбции фенола и хлороформа из индивидуальных растворов и при их совместном присутствии, которое составило в среднем 2 %.

### Список литературы

- [1] Houtman C. J., Kroesbergen J., Lekkerkerker-Teunissen K., Van der Hoek J.P. Human health risk assessment of the mixture of pharmaceuticals in Dutch drinking water and its sources based on frequent monitoring data // *Sci. Total Environ.* 2014. № 496. Pp. 54—62.
- [2] Borrull Josep, Colom Agustí, Fabregas Josepa, Borrull Francesc, Pocurull Eva. Presence, behavior, and removal of selected organic micropollutants through drinking water treatment // *Chemosphere.* 2021. Vol. 276. 130023.
- [3] Verliefde A., Cornelissen E., Amy G., Van der Bruggen B., Van Dijk H. Priority organic micropollutants in water sources in Flanders and the Netherlands and assessment of removal possibilities with nanofiltration // *Environ. Pollut.* 2007. № 146. Pp. 281—289.
- [4] Ким А. Н., Графова О.Е. Современные методы очистки воды в локальных объектах: монография СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. 280 с.
- [5] Дзювина О.И. Оценка эффективности сорбционной очистки питьевой воды от хлороформа // *Химия в интересах устойчивого развития.* 2008. № 16. С. 479—484
- [6] Мусеев Т. С., Солдатов К.В. Анализ современных сорбентов, на основе материалов органического происхождения // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук.* 2017. № 1—1. С. 69—73.
- [7] Dai Y. J., Liu M., Li J.J., Yang S.S., Sun Y., Sun Q.Y., Wang W.S., Lu L., Zhang K.X., Xu J.Y., Zheng W.L., Hu Z.Y., Yang Y.H., Gao Y.W., Liu Z.H. A review on pollution situation and treatment methods of tetracycline in groundwater // *Sep. Sci. Technol.* 2020. № 55. Pp. 1005—1021.
- [8] Lima L., Baêta B.E. L., Lima D.R. S., Afonso R.J. C. F., De Aquino S.F., Libânio M. Comparison between two forms of granular activated carbon for the removal of pharmaceuticals from different waters // *Environ. Technol.* 2016. № 37. Pp. 1334—1345.
- [9] Галимова Р. З., Шайхиев И.Г., Алмазова Г.А., Свергузова С.В. Исследование кинетики процессов адсорбции фенола отходами валяльно-войлочного производства // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.* 2016. № 10. С. 179—184.

### References

- [1] Houtman CJ, Kroesbergen J, Lekkerkerker-Teunissen K, Van der Hoek JP. Human health risk assessment of the mixture of pharmaceuticals in Dutch drinking water and its sources based on frequent monitoring data. *Sci. Total Environ.* 2014;(496):54—62.
- [2] Borrull Josep, Colom Agustí, Fabregas Josepa, Borrull Francesc, Pocurull Eva. Presence, behavior and removal of selected organic micropollutants through drinking water treatment. *Chemosphere.* 2021;276:130023.
- [3] Verliefde A, Cornelissen E, Amy G, Van der Bruggen B, Van Dijk H. Priority organic micropollutants in water sources in Flanders and the Netherlands and assessment of removal possibilities with nanofiltration. *Environ. Pollut.* 2007;(146):281—289.
- [4] Kim AN, Grafova OE. Modern methods of water purification in local objects: monograph. *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ. Saint Petersburg.* 2016. 280 p. (In Russ.)
- [5] Dzyuvina OI. Evaluation of the efficiency of sorption purification of drinking water from chloroform. *Chemistry for sustainable development.* 2008;(16):479—484. (In Russ.)
- [6] Museev TS, Soldatov KV. Analysis of modern sorbents based on materials of organic origin. *Actual problems of the humanities and natural sciences.* 2017;1—1:69—73. (In Russ.)

[7] Dai YJ, Liu M, Li JJ, Yang SS, Sun Y, Sun QY, Wang WS, Lu L, Zhang KX, Xu JY, Zheng WL, Hu ZY, Yang YH, Gao YW, Liu ZH. A review on pollution situation and treatment methods of tetracycline in groundwater. *Sep. Sci. Technol.* 2020;(55):1005–1021.

[8] Lima L, Baêta BE L, Lima DR S, Afonso RJ CF, De Aquino SF, Libânio M. Comparison between two forms of granular activated carbon for the removal of pharmaceuticals from different waters. *Environ. Technol.* 2016;(37):1334–1345.

[9] Galimova RZ, Shaikhiev IG, Almazova GA, Svergzuzova SV. Investigation of the kinetics of phenol adsorption processes by waste felt-felt production. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova.* 2016;(10):179–184.

#### Сведения об авторах:

*Дзювина Оксана Ивановна*, кандидат технических наук, доцент, преподаватель цикловой комиссии механизации, технологии и информатизации, Филиал Байкальского государственного университета в г. Усть-Илимске. ORCID 0000-0001-9288-1594; SPIN-код: 5961-0590. E-mail: chloroform@mail.ru

*Котова Татьяна Вячеславовна*, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры фармацевтической и общей химии, Кемеровский государственный медицинский университет; ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Технологии инновационного развития», Уральский государственный экономический университет. Российская федерация, 650056, Кемерово, Ворошилова, 22 А. ORCID 0000-0002-1601-7371; SPIN-код: 2073-0189. E-mail: t\_kotova@inbox.ru

*Федорова Юлия Сергеевна*, кандидат фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармакологии, Кемеровский государственный медицинский университет. ORCID 0000-0002-5543-0513; SPIN-код: 2591-2967. E-mail: fedorova\_yuliya\_sergeevna@mail.ru

*Вальнюкова Анастасия Сергеевна*, кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтической и общей химии, Кемеровский государственный медицинский университет. ORCID 0000-0002-8084-2536; SPIN-код: 4987-5386. E-mail: nastya711@bk.ru

*Масаев Владислав Юрьевич*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства подземных сооружений и шахт, Кемеровский государственный технический университет; доцент кафедры ландшафтной архитектуры, Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия. ORCID 0000-0003-0709-1278; SPIN-код: 2228-3178. E-mail: masaev-62@mail.ru

#### Bio notes:

*Oksana I. Dzyuvina*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Teacher of the Cycle Commission of Mechanization, Technology and Informatization, Branch of the Baikal State University in Ust-Ilimsk. ORCID 0000-0001-9288-1594; SPIN-code: 5961-0590. E-mail: chloroform@mail.ru

*Tatyana V. Kotova*, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor of the Department of Pharmaceutical and General Chemistry, Kemerovo State Medical University; Leading Researcher, Scientific and Educational Center “Technologies of Innovative Development”, Ural State Economic University, 22 A Voroshilov St., Kemerovo, 650056, Russian Federation. ORCID 0000-0002-1601-7371; SPIN-code: 2073-0189. E-mail: t\_kotova@inbox.ru

*Yulia S. Fedorova*, Candidate of Pharmaceutical Sciences, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Pharmacology, Kemerovo State Medical University. ORCID 0000-0002-5543-0513; SPIN-code: 2591-2967. E-mail: fedorova\_yuliya\_sergeevna@mail.ru

*Anastasia S. Valnyukova*, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical and General Chemistry, Kemerovo State Medical University. ORCID 0000-0002-8084-2536; SPIN-code: 4987-5386. E-mail: nastya711@bk.ru

*Vladislav Yu. Masaev*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Construction of Underground Structures and Mines, Kuzbass State Technical University; Associate Professor at the Department of Landscape Architecture, Kuzbass State Agricultural Academy. 7. ORCID 0000-0003-0709-1278; SPIN-code: 2228-3178. E-mail: masaev-62@mail.ru



# БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ BIOLOGICAL RESOURCES

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-189-200

УДК 591.525

Научная статья / Research article

## Вариативность массы тела разноцветной ящурки (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) и круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) в юго-восточной части Нижнего Поволжья

С.С. Мишустин<sup>1</sup> , Г.В. Польшова<sup>2</sup>  <sup>1</sup>Главное управление обустройства войск,  
Москва, Россия<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов,  
Москва, Россия galinapolnova@mail.ru

**Аннотация.** Одним из направлений исследований микропопуляций разноцветной ящурки (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) и круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) в условиях юго-восточной части Нижнего Поволжья является наблюдение за межсезонными колебаниями массы тела особей. Самцы разноцветной ящурки в весенние периоды стабильно тяжелее, чем самки. В осенние периоды результаты получаются противоречивыми и не дают возможности сделать вывод о том, особи какого пола имеют наибольшую массу. Статистическая обработка материалов с помощью критерия Краскела — Уоллиса (H) не выявила у разноцветной ящурки значимых различий при сравнении массы всех самок и самцов как за все периоды, так и отдельно в весенние и осенние периоды. У круглоголовки-вертихвостки также не выявлена статистическая значимость при сравнении всех самцов и самок за весь период. Однако результаты, полученные при сравнении самок и самцов в сезон 2018 г., а также при сравнении самок разных лет, оказались статистически значимы. Кроме того, масса тела у сеголеток обеих группировок между осенними сезонами 2017 и 2018 г. выявляет статистическую значимость. Особи круглоголовки-вертихвостки и разноцветной ящурки стабильно набирают массу тела, несмотря на замедление или полную остановку роста особей у первых и аутогамии у вторых. Регенерация хвоста или ее отсутствие, очевидно, влияет на рост туловища разноцветной ящурки.

© Мишустин С.С., Польшова Г.В., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

**Ключевые слова:** масса тела, популяция, разноцветная ящурка *Eremias arguta deserti*, круглоголовка-вертихвостка *Phrynocephalus guttatus guttatus*, ящерица, пресмыкающиеся, чешуйчатые, Астраханская область, Нижнее Поволжье

**Благодарности и финансирование.** Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

**Вклад авторов.** В сборе материала и написании статьи авторы принимали равное участие. Таблицы и диаграммы выполнены С.С. Мишустиним.

**История статьи:** поступила в редакцию 02.01.2022; принята к публикации 02.02.2022.

**Для цитирования:** Мишустин С.С., Полюнова Г.В. Вариативность массы тела разноцветной ящурки (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) и круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) в юго-восточной части Нижнего Поволжья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 189—200. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-189-200>

## Variability of body weight (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) and (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) in the southeastern part of the Lower Volga region

Stanislav S. Mishustin<sup>1</sup> , Galina V. Polynova<sup>2</sup>  

<sup>1</sup> Armed forces infrastructure development directorate general,  
Moscow, Russia

<sup>2</sup> Peoples' Friendship University of Russia,  
Moscow, Russia  
[galinapolynova@mail.ru](mailto:galinapolynova@mail.ru)

**Abstract.** One of the aspects of studies of micropopulations of (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) and (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) in the conditions of the southeastern part of the Lower Volga region was the observation of inter-seasonal fluctuations in body weight of individuals. Males of *Eremias arguta deserti* are consistently heavier in the spring than females. In the autumn periods, the results turned out to be contradictory and do not make it possible to conclude which individuals of which sex have the greatest mass. Statistical processing of materials using the Kruskal — Walli's criterion (H) did not reveal significant differences in *Eremias arguta deserti* when comparing the mass of all females and males both for all periods and separately in spring and autumn periods. *Phrynocephalus g. guttatus* also showed no statistical significance when comparing all males and females for the entire period. However, the results obtained when comparing between females and males during the 2018 season, as well as when comparing females of different years, were statistically significant. In addition, the body weight of fingerlings of both groups, between the autumn seasons of 2017 and 2018, revealed statistical significance. Individuals of both *Phrynocephalus g. guttatus* and *Eremias arguta deserti* steadily gain body weight, despite the slowdown or complete stop of the growth of individuals in the former and autotomy in the latter. Regeneration of the tail or its absence obviously affects the growth of the trunk of *Eremias arguta deserti*.

**Keywords:** body weight, population, *Eremias arguta deserti*, *Phrynocephalus guttatus guttatus*, lizard, reptiles, Squamata, Astrakhan region, Lower Volga region

**Acknowledgements and Funding.** This paper has been supported by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

**Authors' contributions.** The authors took an equal part in collecting the material and writing the article. Tables and diagrams were made by S.S. Mishustin.

**Article history:** received 02.01.2022; accepted 02.02.2022

**For citation:** Mishustin SS, Polynova GV. Variability of body weight (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) and (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789) in the southeastern part of the lower Volga region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):189—200. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-189-200>

## Введение

Масса тела является одним из параметров, демонстрирующих воздействие факторов окружающей среды на развитие особей и стабильность трофических связей в сообществе. Данные материалы основаны на многолетних исследованиях, которые проводились нами на территории полупустынь юго-восточной части Нижнего Поволжья в период с 2010 по 2019 гг. Ранее мы смогли убедительно продемонстрировать общее снижение численности представителей аридной герпетофауны в данной части юга России вследствие изменения климатических показателей и последовавшего увеличения проективного покрытия [1, 2]. В рамках более полной оценки наблюдаемой нами дигрессии полупустынного сообщества необходимо исследовать другую сторону биологии разноцветной ящурки (*Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789) и круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmelin, 1789), а именно массу тела ящериц, изменяющуюся по сезонам и годам. Полученные результаты могут помочь дополнительно оценить влияние сукцессионных изменений на рассматриваемые поселения и состояние тех трофических связей, в которых ящерица играет значимую роль.

**Целью исследования** — оценка изменения массы тела животных в течение нескольких сезонов исследований, в том числе путем сравнения данных по повторно встреченным животным.

## Материалы и методы

Изучение ящериц проходило вблизи границы п. Досанг Красноярского района Астраханской области (N 46° 54'08.7264" E 47° 54'52.5312") в течение первой—второй декады мая 2017 и 2018 г., конца августа—начала сентября 2018 г. Наблюдаемые нами поселения соответствовали уровню микропопуляции [3].

Основные методы исследования: отлов, измерение длины туловища и хвоста с точностью до 1 мм, взвешивание на электронных весах с точностью до 0,1 г, определение пола и возраста по классической методике. Мечение постоянной меткой проводилось путем ампутации 1—3 фаланг пальцев [4]; временной меткой — нанесением номера на спину маркером черного или красного цвета. Временная метка хорошо сохранялась до очередной линьки.

Общее число взвешенных особей круглоголовки-вертихвостки составило осенью 2017 г. — 52 ящерицы, осенью 2018 г. — 35 ящериц. У разноцветной ящурки осенью 2017 г. взвешено 24 особи, осенью 2018 г. — 14 особей, весной 2017 г. — 74 особи, весной 2018 г. — 51 особь.

Единицы величин сокращены в соответствии с ГОСТ 8.417-2002. «Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин», введенным постановлением Госстандарта Российской Федерации от 04.02.2003 № 38-ст «О введении в действие Межгосударственного стандарта».

Полученные результаты систематизировали и обрабатывали с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel, а также STATISTICA 12. Оценка достоверности проведена на основании непараметрического критерия Краскела—Уоллиса (H).

## Результаты и обсуждение

### Разноцветная ящурка

В литературе имеются незначительные сведения о массе разноцветной ящурки (*Eremias arguta* Pallas, 1773). В монографии «Разноцветная ящурка» [5] не отмечены подвидовые особенности этого параметра; есть данные по Калмыкии, в которых отмечено, что масса самцов колеблется от 3,8 до 9,1 г ( $6,9 \pm 1,8$ ), самок — от 4,04 до 9,9 г ( $6,5 \pm 0,7$ ). В ряде работ не выделены различия по массе тела самцов и самок [6]. Таким образом, даже в общей сводке по разноцветной ящурке [5] нет материалов, характеризующих данную сторону биологии на уровне подвида.

В появившихся позднее материалах З.К. Брушко [7] есть сведения о массе *Eremias arguta potanini* Bedriaga, 1912. Так, в Зайсанской котловине самки весят от 7,1 до 12,7 г ( $10,28 \pm 0,56$ ), самцы — от 7,5 до 13,9 г ( $10,65 \pm 0,53$ ). В среднем течении р. Или получены следующие значения: по самкам 5,4—7,4 г ( $6,70 \pm 0,65$ ), по самцам 4,9—8,0 г ( $6,90 \pm 0,26$ ), по неполовозрелым особям 3,4—6,7 г ( $4,86 \pm 0,26$ ).

Также есть сведения по *Eremias arguta uzbekistanica* Cernov, 1934 [7]. В Юго-Восточных Кызылкумах самки весят 14,8—21,8 г ( $18,0 \pm 2,42$ ), вес самцов варьирует от 13,2 до 29,8 г ( $18,59 \pm 1,00$ ).

Наши материалы дают представление о массе тела еще одного подвида *Eremias arguta deserti* Gmelin, 1789. Средняя масса животных варьирует в зависимости от сезона (табл. 1; рис. 1, 2).

Таблица 1

**Масса тела разноцветной ящурки (*E. arguta deserti*)  
весной и осенью 2017 и 2018 г.**

Сезон и год	Пол	Число особей	Масса тела, г
Все сезоны	♂♂	64	$6,4 \pm 1,8$ (2,3–10,3)
Все сезоны	♀♀	73	$5,8 \pm 1,9$ (2,6–10,0)
Все сезоны	Juv.	26	$1,3 \pm 0,6$ (0,4–2,6)
Весна 2017	♂♂	33	$6,7 \pm 1,9$ (3,4–10,3)
Осень 2017	♂♂	4	$3,5 \pm 1,2$ (2,3–5,2)
Весна 2018	♂♂	26	$6,6 \pm 1,3$ (3,8–8,4)
Осень 2018	♂♂	1	2,4
Весна 2017	♀♀	41	$6,0 \pm 1,9$ (2,8–10,0)
Осень 2017	♀♀	4	$3,5 \pm 0,9$ (2,9–4,8)
Весна 2018	♀♀	25	$5,8 \pm 1,8$ (2,6–9,2)
Осень 2018	♀♀	3	$5,9 \pm 2,2$ (3,5–7,9)
Осень 2017	Juv.	16	$1,1 \pm 0,6$ (0,4–2,6)
Осень 2018	Juv.	10	$1,6 \pm 0,4$ (0,7–2,3)

**Body weight of *E. arguta deserti* in spring and autumn 2017 and 2018**

Season and year	Sex	Number of individuals	Body weight, g
All seasons	♂♂	64	6,4 ± 1,8 (2,3–10,3)
All seasons	♀♀	73	5,8 ± 1,9 (2,6–10,0)
All seasons	Juv.	26	1,3 ± 0,6 (0,4–2,6)
Spring 2017	♂♂	33	6,7 ± 1,9 (3,4–10,3)
Autumn 2017	♂♂	4	3,5 ± 1,2 (2,3–5,2)
Spring 2018	♂♂	26	6,6 ± 1,3 (3,8–8,4)
Autumn 2018	♂♂	1	2,4
Spring 2017	♀♀	41	6,0 ± 1,9 (2,8–10,0)
Autumn 2017	♀♀	4	3,5 ± 0,9 (2,9–4,8)
Spring 2018	♀♀	25	5,8 ± 1,8 (2,6–9,2)
Autumn 2018	♀♀	3	5,9 ± 2,2 (3,5–7,9)
Autumn 2017	Juv.	16	1,1 ± 0,6 (0,4–2,6)
Autumn 2018	Juv.	10	1,6 ± 0,4 (0,7–2,3)

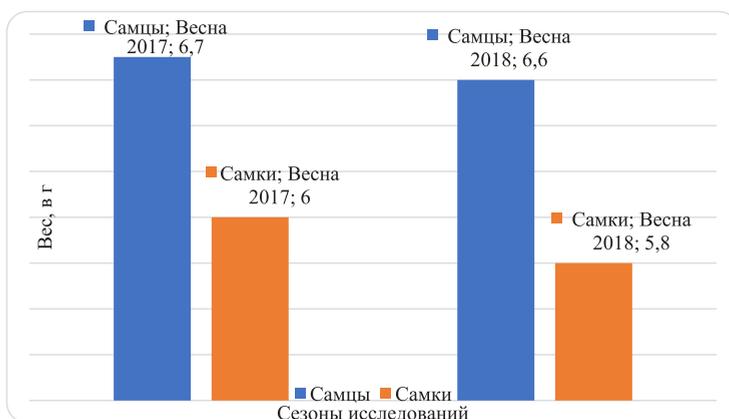


Рис. 1. Масса тела разноцветной ящурки (*E. arguta deserti*) весной 2017 и 2018 гг.

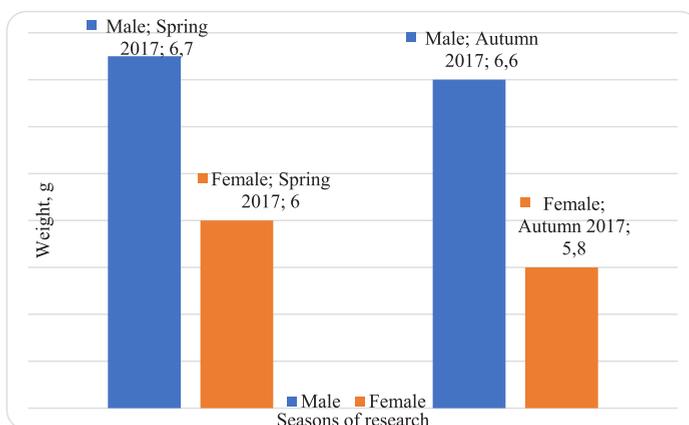


Fig. 1. Body weight of *E. arguta deserti* in the spring of 2017 and 2018

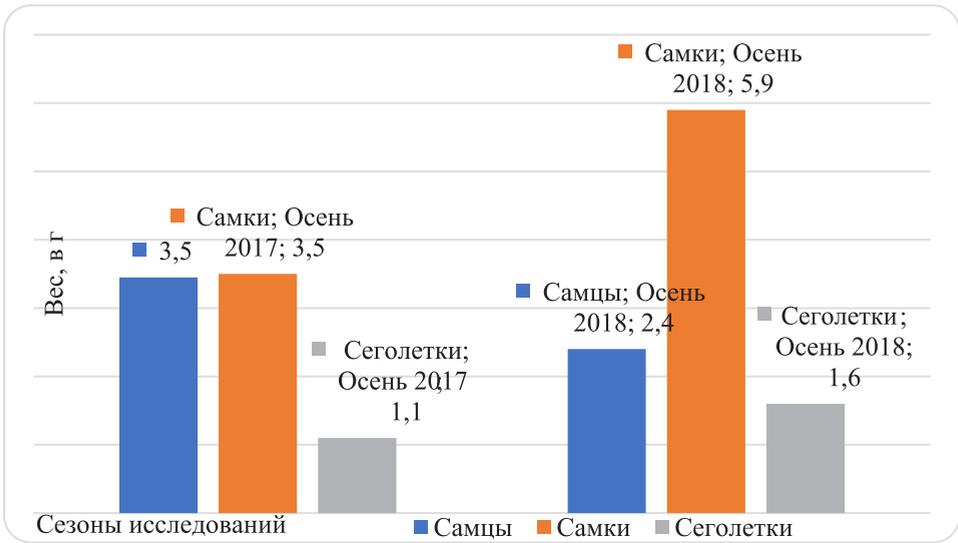


Рис. 2. Масса тела разноцветной ящурки (*E. arguta deserti*) осенью 2017 и 2018 г.

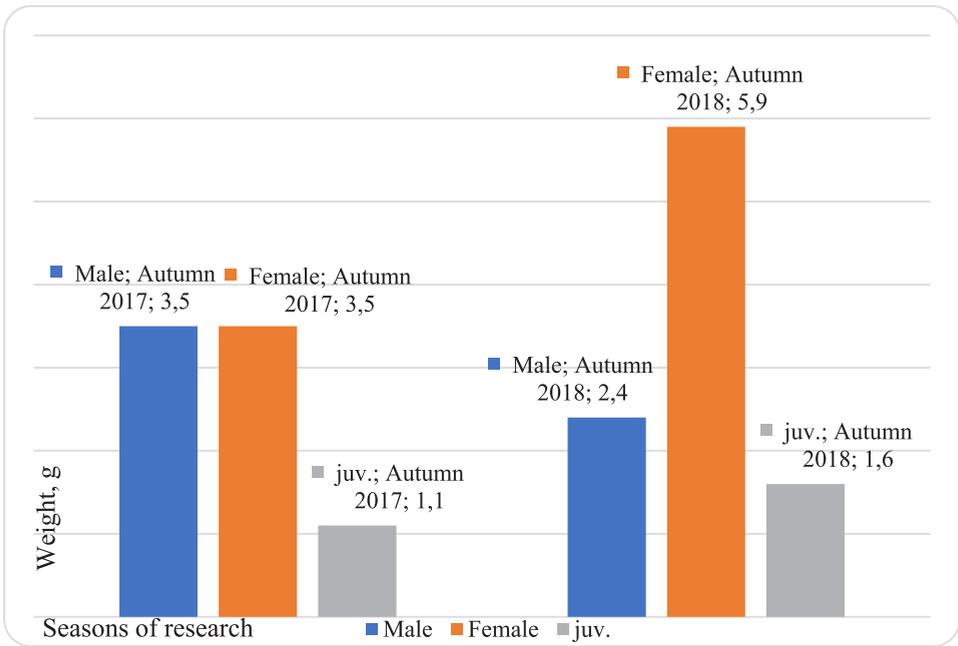


Fig. 2. Body weight of *E. arguta deserti* in autumn 2017 and 2018

Самцы в весенние периоды имели массу тела большую, чем самки. В осенних материалах четкая картина не просматривается из-за широкого изменения диапазона значений массы тела. Осенью 2017 г. масса самцов и самок оказалась одинаковой. Однако осенью 2018 г. самки весили больше самцов. Сравнение результатов весны и осени 2017 г. демонстрирует, что после летнего периода особи теряют около половины массы тела. Все результаты сравнений оказались статистически не значимы за исключением данных, полученных по сеголеткам осени 2017 и 2018 г. (табл. 2).

**Оценка достоверности различий массы тела особей разноцветной ящурки (*E. arguta deserti*) весной и осенью 2017 и 2018 г.**

Сезон и год	Пол	Оценка достоверности по Краскелу – Уоллису $H$	Уровень статистической значимости при $p < 0,05$
Все сезоны	♂♂/♀♀	3,5	$p = 0,06$
Весна 2017	♂♂/♀♀	2,5	$p = 0,11$
Осень 2017	♂♂/♀♀	Недостаточно данных	
Весна 2018	♂♂/♀♀	2,5	$p = 0,09$
Осень 2018	♂♂/♀♀	Недостаточно данных	
Весна 2017–весна 2018	♂♂♂♂	0,2	$p = 0,68$
Весна 2017–весна 2018	♀♀♀♀	0,1	$p = 0,78$
Осень 2017–осень 2018	juv./juv.	5,7	$p = 0,02$

Table 2

**Assessment of the reliability of differences in body weight of *E. arguta deserti* individuals in the spring and autumn of 2017 and 2018**

Season and year	Sex	Assessment of reliability by Kruskal – Wallis $H$	Level of statistical significance, $p < 0,05$
All seasons	♂♂/♀♀	3,5	$p = 0,06$
Spring 2017	♂♂/♀♀	2,5	$p = 0,11$
Autumn 2017	♂♂/♀♀	Data deficient	
Spring 2018	♂♂/♀♀	2,5	$p = 0,09$
Autumn 2018	♂♂/♀♀	Data deficient	
Spring 2017–spring 2018	♂♂♂♂	0,2	$p = 0,68$
Spring 2017–spring 2018	♀♀♀♀	0,1	$p = 0,78$
Autumn 2017–autumn 2018	juv./juv.	5,7	$p = 0,02$

Необходимо отметить, что средний прирост массы тела с осени 2017 г. до весны 2018 г. у повторно встреченных самцов составил 3,6 г, а максимальный — 4,8 г. Минимальным он оказался у самок — 2,1 г. Максимальная масса тела самки достигала 10,0 г при длине туловища 75 мм и хвоста 73 мм. Самый тяжелый самец (10,3 г) имел следующие параметры: длина туловища — 72 мм, хвоста — 89 мм.

С точки зрения развития особей имеет смысл обсудить изменение массы животных при росте их тела. Так, в наших материалах присутствует самец, встреченный 30.08.2017, с длиной туловища 51 мм, хвоста 72 мм, массой 3,0 г. Повторный

отлов самца 13.05.2018 показал, что самец имеет длину туловища 66 мм, хвоста 88 мм, массу 7,8 г.

У самки, встреченной 13.05.2017, длина туловища и хвоста составила 61 мм, масса 5,8 г. Затем данная особь была отловлена 14.05.2018 со следующими параметрами тела: туловище 62 мм, длина регенерированного хвоста 55 мм., масса 7,9 г. Между тем другая самка, встреченная 04.09.2017 с длиной туловища 59 мм, хвоста 72 мм, массой 4,8 г, при повторном отлове 06.05.2018 имела длину туловища и хвоста, равную 67 мм, массу — 8,4 г.

Особый интерес вызывают морфометрические данные второй самки. При повторной встрече туловище удлинилось на 8 мм, длина хвоста особи сократилась на 5 мм, внешних признаков регенерации хвоста не наблюдалось. Такие наблюдения в наших исследованиях единичны и не дают возможности сделать какие-либо обоснованные предположения относительно выявленной особенности. В то же время, возможно, что у данной ящерицы, в отличие от первой, активный рост туловища продолжился из-за отсутствия регенерации хвоста.

Вероятно, аутономия влияет на рост туловища самок и на рост туловища разноцветной ящурки в целом, вне зависимости от пола и возраста. Между тем имеющиеся данные по экономичной аутономии [8], в том числе полученные и в рамках наших исследований [1], позволяют утверждать о «стремлении» особи минимизировать последствия от самокалечения и последующего восстановления.

### Круглоголовка-вертихвостка

Опубликованных данных по массе тела круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus* Gmelin, 1789) практически нет. Только в одной работе З.К. Брушко [7] приведена масса тела подвида *Phrynocephalus guttatus kuschakewitschi* Bedriaga, 1905, на данный момент выделенного в отдельный вид круглоголовки Кушакевича (*Phrynocephalus kuschakewitschi* Bedriaga In Nikolsky, 1905) [9].

Изменение массы тела исследуемого подвида представлено только по осенним данным 2017 и 2018 г. (табл. 3, рис. 3).

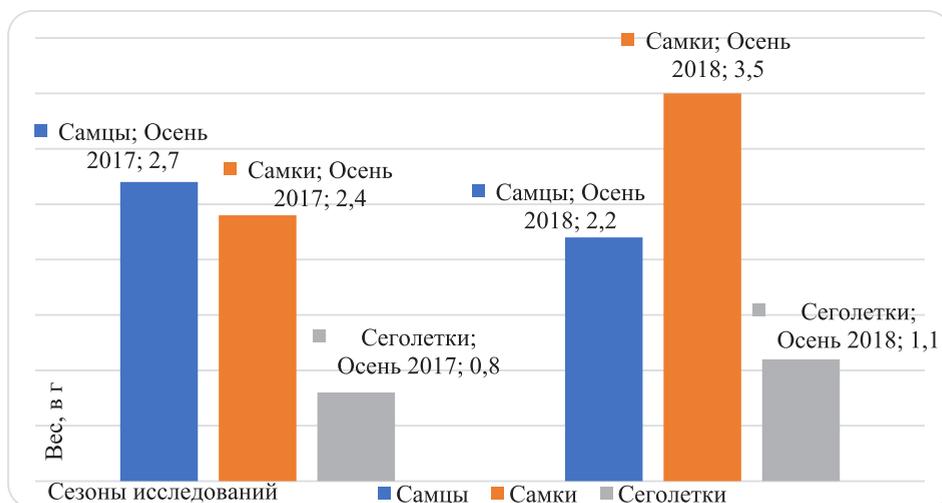
Таблица 3

**Масса тела круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus g. guttatus*) осенью 2017 и 2018 г.**

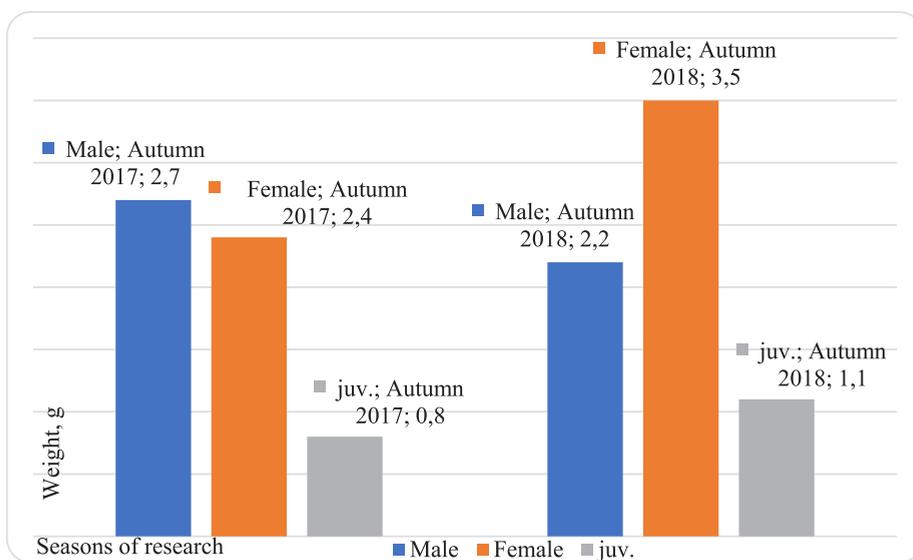
Год	Пол	Число особей	Масса тела, г
2017–2018	♂♂	33	2,5 ± 0,8 (0,9–4,6)
2017–2018	♀♀	27	2,8 ± 1,1 (1,5–4,7)
2017–2018	juv.	27	0,9 ± 0,3 (0,5–1,6)
2017	♂♂	18	2,7 ± 0,9 (1,3–4,6)
2018	♂♂	15	2,2 ± 0,7 (0,9–3,5)
2017	♀♀	18	2,7 ± 0,9 (1,3–4,6)
2018	♀♀	9	3,5 ± 1,1 (1,8–4,5)
2017	juv.	16	0,8 ± 0,2 (0,5–1,4)
2018	juv.	11	1,1 ± 0,4 (0,6–1,6)

**Body weight of *Phrynocephalus g. guttatus* in autumn 2017 and 2018**

Year	Sex	Number of individuals	Body weight, g
2017–2018	♂♂	33	2,5 ± 0,8 (0,9–4,6)
2017–2018	♀♀	27	2,8 ± 1,1 (1,5–4,7)
2017–2018	juv.	27	0,9 ± 0,3 (0,5–1,6)
2017	♂♂	18	2,7 ± 0,9 (1,3–4,6)
2018	♂♂	15	2,2 ± 0,7 (0,9–3,5)
2017	♀♀	18	2,7 ± 0,9 (1,3–4,6)
2018	♀♀	9	3,5 ± 1,1 (1,8–4,5)
2017	juv.	16	0,8 ± 0,2 (0,5–1,4)
2018	juv.	11	1,1 ± 0,4 (0,6–1,6)



**Рис. 3.** Масса тела особей круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus g. guttatus*) осенью 2017 и 2018 г.



**Fig. 3.** Body weight of *Phrynocephalus g. guttatus* individuals in autumn 2017 and 2018

Из полученных результатов видно, что осенью 2017 г. самцы имели бóльшую массу тела, чем самки. В то же время результат осени 2018 г. оказался обратным со значительной разницей, и это различие достоверно (табл. 4). Достоверно и различие размеров сеголеток при сравнении данных по годам: в 2018 г. ювенильные особи оказались крупнее (табл. 4).

Достоверно больший вес сеголеток обоих видов осенью 2018 г. по сравнению с тем же периодом 2017 г. может иметь две причины. Первая причина связана с климатическими особенностями сезонов, которая повлияла на более ранний выход из яиц всех ювенильных особей в 2018 г., вторая заключается в различиях кормовой базы по тем же сезонам. Обе причины могли действовать одновременно.

Таблица 4

**Оценка достоверности различий массы тела особей круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus g. guttatus*) осенью 2017 и 2018 г.**

Год	Пол	Оценка достоверности по Краскелу – Уоллису $H$	Уровень статистической значимости при $p < 0,05$
2017–2018	♂♂/♀♀	0,4	$p = 0,53$
2017	♂♂/♀♀	1,5	$p = 0,22$
2018	♂♂/♀♀	5,9	$p = 0,02$
2017–2018	♂♂/♂♂	3,5	$p = 0,06$
2017–2018	♀♀/♀♀	4,0	$p = 0,05$
2017–2018	juv./juv.	5,4	$p = 0,02$

Table 4

**Assessment of the reliability of differences in body weight of *Phrynocephalus g. guttatus* individuals in autumn 2017 and 2018**

Year	Sex	Assessment of reliability by Kruskal – Wallis $H$	Level of statistical significance, $p < 0,05$
2017–2018	♂♂/♀♀	0,4	$p = 0,53$
2017	♂♂/♀♀	1,5	$p = 0,22$
2018	♂♂/♀♀	5,9	$p = 0,02$
2017–2018	♂♂/♂♂	3,5	$p = 0,06$
2017–2018	♀♀/♀♀	4,0	$p = 0,05$
2017–2018	juv./juv.	5,4	$p = 0,02$

Самая большая масса тела (4,7 г) оказалась у самки с длиной туловища 51 мм и хвоста 62 мм (осень 2017 г.). Среди самцов самый большой вес составлял 4,6 г у особи с длиной туловища 50 мм и хвоста 68 мм.

Относительно соотношения роста тела и набора массы имеются материалы, полученные по результатам повторно отловленных животных. Так, самец на стадии сеголетки при первой встрече 28.08.2017 имел длину туловища 35 мм, хвоста 48 мм, массу 1,6 г. Далее, при повторном отлове 29.08.2018 длина туловища увеличилась

до 46 мм, хвоста — до 61 мм, масса тела составила 3,5 г. В итоге 14.05.2019 длина туловища составила 47 мм, хвоста — 63 мм.

У самки на стадии сеголетки, встреченной 28.08.2017, параметры тела имели следующие значения: длина туловища 36 мм, хвоста 47 мм, масса 1,7 г. При следующем отлове 19.08.2018 получены такие значения: длина туловища 45 мм, хвоста 56 мм, масса 4,0 г. При последнем отлове 04.05.2019 особь имела длину туловища и хвоста идентичную осенним данным 2018 г.

На фоне активного роста и набора веса встречаются особи, размеры которых не меняются в течение полутора лет наблюдений. Очевидно, это относится к животным старше одного года, чей рост уже практически остановился. Примером может служить самка, описанная выше, и другая самка, которая при первом отлове 29.08.2017 весила 4,3 г, имела длину туловища 50 мм и хвоста 60 мм, при повторной встрече 07.05.2019 сохранила такие же параметры длины туловища и хвоста.

Аналогичные данные получены еще по нескольким самцам и самкам, которых мы встречали в течение двух-трех сезонов. Эти материалы подтверждают факт снижения и/или практически полной остановки роста животных после достижения ими возраста одного года.

Полученные результаты по обоим видам служат наглядным примером практической остановки роста ящериц в определенном возрасте, известной также у большинства рептилий [10].

## Выводы

1. Статистически значимых различий массы тела у половозрелых самцов и самок разноцветной ящурки не выявлено.
2. У круглоголовки-вертихвостки только в осенних материалах 2018 г. масса тела половозрелых самцов достоверно больше массы самок.
3. Масса тела ювенильных особей обоих видов, разноцветной ящурки и круглоголовки-вертихвостки осенью 2018 г. достоверно больше, чем осенью 2017 г.
4. Активный рост обоих видов продолжается в течение первого года жизни. Далее рост замедляется и/или практически прекращается.
5. Самоотсечение и восстановление хвоста не оказывают существенного влияния на набор массы тела у разноцветной ящурки, но влияет на рост туловища.

## Список литературы

- [1] Мишустин С.С., Польшова Г.В. Влияние хищничества на численность разноцветной ящурки в полупустынях юго-восточной части Нижнего Поволжья // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2020. Т. 162, кн. 3. С. 461—472. doi: 10.26907/2542-064X.2020.3.461—472
- [2] Польшова Г.В., Мишустин С.С. Изменение пространственной структуры популяции разноцветной ящурки *Eremias arguta deserti* (Gmelin, 1789) в полупустынях Астраханской области // Принципы экологии. 2020. № 2. С. 87—96.
- [3] Шварц С.С., Гурвич Э.Д., Ищенко В.Г., Сосин В.Ф. Функциональное единство популяций // Журнал общей биологии. Т. 33. № 1, 1972. С. 3—14.
- [4] Tinkle D.W., Woodward D.W. Relative movements of lizards in natural populations as determined from receptive radii // Ecology. 1967. V. 48. № 1. Pp. 166—168.
- [5] Разноцветная ящурка: монография / под ред. Н.Н. Щербака. Киев: Наукова думка, 1993. 240 с.
- [6] Котенко Т.И. Пресмыкающиеся левобережной степи Украины: дисс. ... канд. биол. наук. Киев, 1983. 555 с.
- [7] Брушко З.К. Ящерицы пустынь Казахстана. Алматы: Конжык, 1995. 231.

- [8] Cooper Jr., William E., Smith S. Costs, and economy of autotomy for tail movement and running speed in the skink *Trachylepis maculilabris*. *Can. J. Zool.* 87, 2009. P. 400—406.
- [9] Дуйсебаева Т.Н., Барабанов А.В., Ананьева Н.Б. Ящерицы фауны Казахстана: этапы изучения и актуальная таксономия // Герпетологические и орнитологические исследования: современные аспекты. Посвящается 100-летию А.К. Рустамова (1917—2005). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. С. 78—87.
- [10] Сергеев А.М. Материалы по постэмбриональному росту рептилий // Зоологический журнал 1939. Т. 28. №. 5. С. 888—903.

## References

- [1] Mishustin SS, Polynova GV. The Impact of predation on the abundance of steppe runners, *Eremias arguta deserti* (Gmelin, 1789), in semi-deserts of the southeastern part of the Lower Volga region. *Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences.* 2020;162(3):461—472. doi: 10.26907/2542-064X.2020.3.461-472. (In Russ.)
- [2] Polynova GV, Mishustin SS. Changes in the spatial structure of the *Eremias arguta deserti* population in semi-deserts of the Astrakhan region. *Principles of Ecology.* 2020;(2):87–96. (In Russ.)
- [3] Shvarc SS, Gurvich ED, Ishchenko VG, Sosin VF. Functional unity of populations. *Biology Bulletin Reviews.* 1972;33(1):3—14. (In Russ.)
- [4] Tinkle DW, Woodward DW. Relative movements of lizards in natural populations as determined from receptive radii. *Ecology.* 1967;48(1):166—168.
- [5] Multicolored lizard. Monographs / ed. Shherbak NN. Kiev: *Naukova dumka Publ.* 1993. (In Russ.)
- [6] Kotenko TI. Reptiles of the Left Bank Steppe of Ukraine: Dissertation of Candidate of Biological Sciences: 03.00.08. Kiev, 1983 (In Russ.)
- [7] Brushko ZK. Lizards of desert regions of Kazakhstan. *Almaty, Konzhyk Publ.* 1995. (In Russ.)
- [8] Cooper Jr, William E, Smith S. Costs, and economy of autotomy for tail movement and running speed in the skink *Trachylepis maculilabris*. *Can. J. Zool.* 2009;87:400—406.
- [9] Dujsebajeva TN, Barabanov AB, Ananjeva NB. Lizards of the Kazakhstan: stages of study and actual taxonomy. *Herpetological and ornithological research: current aspects Dedicated 10 the 100th Anniversary of A.K. Rustamov (1917—2005).* Saint Petersburg. Moscow. *KMK Scientific Press Publ.* 2018.
- [10] Sergeev AM. Materials after postembryonic growth of reptiles. *Zoological Journal.* 1939;28(5):888—903. (In Russ.)

### Сведения об авторах:

Мишустин Станислав Сергеевич, инженер по охране окружающей среды, Главное управление обустройства войск. ORCID: 0000-0002-5812-6592, SPIN-код: 7425-8363. E-mail: s1kator@mail.ru

Польнова Галина Вячеславовна, кандидат биологических наук, доцент, департамент рационального природопользования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов. Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0003-0217-5771, eLIBRARY SPIN-код: 5257-1556, Scopus Author ID 55948416400. E-mail: polynova-gv@rudn.ru

### Bio notes:

Stanislav S. Mishustin, engineer for environmental protection, Main Directorate of Armed Forces of the Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5812-6592, SPIN-code: 7425-8363. E-mail: s1kator@mail.ru

Galina V. Polynova, PhD of Biological Science, Associate Professor, Department of Environmental Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). 6 Miklukho-Maklaya street, Moscow, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0217-5771, SPIN-code: 5257-1556, Scopus Author ID 55948416400. E-mail: polynova-gv@rudn.ru



# УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-201-210

УДК 911.6/504.54

*Научная статья / Research article*

## Анализ динамики структуры землепользования городского округа Владимир

И.Н. Курочкин  , Т.А. Трифонова , Н.В. Чугай 

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Владимир, Россия  
 [ivan33vl@yandex.ru](mailto:ivan33vl@yandex.ru)

**Аннотация.** Процессы урбанизации отрицательно влияют на окружающую природную среду и нарушают баланс экосистем. Рассмотрены основные тенденции в изменении структуры землепользования городского округа Владимир в период 2001—2020 г. Проведен анализ функционального зонирования территории. Наибольшую долю в структуре землепользования занимают лесные массивы на юго-западе и юго-востоке исследуемой территории. Территория, занятая ими, представляет собой антропогенно-слабоизмененную. Установлено увеличение площади лесных массивов на территории городского округа, снижение площадей, занятых лугами и залежами. Анализ пространственного распределения зеленых насаждений показал несоответствие площади озелененных территорий рекомендуемым значениям. Наблюдается резкое снижение площадей пахотных земель, стагнация промышленности, рост урбанизированных территорий. Происходит реструктуризация дорожной сети, что обусловлено увеличением количества автотранспорта и, как следствие, увеличением антропогенной нагрузки на природные территории.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, структура землепользования, урбанизация, функциональное зонирование, геоинформационные системы

**Вклад авторов.** И.Н. Курочкин — сбор и обработка материалов, дизайн карт, Т.А. Трифонова — концепция исследования, Н.В. Чугай — анализ полученных данных, написание текста.

**История статьи:** поступила в редакцию 16.02.2022; принята к публикации 24.03.2022.

© Курочкин И.Н., Трифонова Т.А., Чугай Н.В., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

**Для цитирования:** Курочкин И.Н., Трифонова Т.А., Чугай Н.В. Анализ динамики структуры землепользования городского округа Владимир // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. Т. 30. № 2. С. 201–210. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-201-210>

## Analysis of dynamics of the structure of Vladimir city district land use

Ivan N. Kurochkin  , Tatiana A. Trifonova , Natalia V. Chugay 

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs,  
Vladimir, Russia

 ivan33vl@yandex.ru

**Annotation.** The processes of urbanization lead to a negative impact on the natural environment and disruption of the balance of ecosystems. The paper considers the main trends in changing the structure of land use of the Vladimir city district in the period 2001—2020. The analysis of the functional zoning of the territory is carried out. The largest share in the structure of land use is occupied by forests in the southwest and southeast of the study area. The territory occupied by them is anthropogenically slightly modified. An increase in the area of forests on the territory of the urban district has been established; a decrease in the areas occupied by meadows and deposits. The analysis of the spatial distribution of green spaces showed that the area of green areas did not correspond to the recommended values. There is a sharp decline in the area of arable land, stagnation of industry, the growth of urbanized areas. There is a restructuring of the road network, which is due to an increase in the number of vehicles, and as a result, an increase in the anthropogenic load on natural areas.

**Keywords:** remote sensing, land use structure, urbanization, functional zoning, geoinformation systems

**Authors' contributions.** I.N. Kurochkin — collection and processing of materials, map design, T.A. Trifonova — research concept, N.V. Chugay — analysis of the data obtained, writing the text.

**Article history:** received 16.02.2022; accepted 24.03.2022.

**For citation:** Kurochkin IN, Trifonova TA, Chugay NV. Analysis of dynamics of the structure of Vladimir city district land use. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):201—210. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-201-210>

### Введение

В настоящее время процессы урбанизации формируют неблагоприятную для проживания населения городскую среду. Это выражается в увеличении площади застроенных территорий в ущерб развитию зеленых насаждений на территориях городов, загрязнении окружающей среды вследствие увеличения количества автомобильного транспорта и работы промышленных и коммунальных предприятий [1, 2].

Наиболее часто подобный комплекс геоэкологических проблем возникает в крупных активно развивающихся городах и промышленных центрах [3].

Городские территории, выступающие в качестве объекта муниципального планирования, представляют собой совокупность нескольких подсистем, наиболее важными из которых являются хозяйственная и природная [4]. Различные цели развития каждой из подсистем обуславливают дифференциацию проведения экологической политики, зачастую основанной на антропоцентрических критери-

ях. При планировании развития муниципальных образований следует исходить из того, что инновационная привлекательность определяется не только наличием промышленных предприятий различных отраслей, но и состоянием городской среды. Экологически ориентированная муниципальная политика в ее современном понимании пока еще формируется в отношении адекватности антропогенно-преобразованной городской среды [5]. Самостоятельные специализированные природоохранные формы территориального планирования в городах в настоящее время распространены незначительно [6].

Многие муниципальные образования, включающие в свою структуру не только город, но и прилегающие территории, пригородные зоны и населенные пункты, сталкиваются также с проблемой, характерной для большинства регионов Центральной России — уменьшением площади пахотных земель и естественной растительности [7, 8] в общей структуре землепользования муниципальных образований. Это приводит к резкому изменению уровня кислотности почв и общей деградации почвенно-растительного покрова [9].

Создание благоприятной среды жизнедеятельности человека с учетом принципов рационального природопользования, создания условий для охраны объектов культурного наследия и окружающей среды относится к основным задачам пространственного планирования муниципальных образований.

**Целью данного исследования** является оценка динамики структуры землепользования на территории городского округа Владимир в его современных границах в период с конца 1980-х гг. по настоящее время.

## Объект и методы исследования

Общая площадь территории городского округа Владимир составляет 32 967 га. Он является наиболее урбанизированной и заселенной территорией области с плотностью населения 1,2 тыс. чел/км<sup>2</sup>. Муниципальное образование г. Владимир испытывает хозяйственное влияние макрорегионов России благодаря развитой железнодорожной и автодорожной сети.

Город обладает устойчивой экономической базой за счет стабильного развития комплекса предприятий перерабатывающих отраслей промышленности, достаточных трудовых ресурсов, высокого туристско-рекреационного потенциала<sup>1</sup>.

Границы территории муниципального образования установлены в 2004 г. и с тех пор изменений не претерпели<sup>2</sup>. В состав городского округа входит город Владимир и 17 сельских населенных пунктов.

Структуру землепользования городского округа составляют как урбанизированные территории, так и пахотные земли и леса.

Для анализа структуры землепользования были использованы космические снимки Архивного центра земных процессов (LP DAAC). Исследования проводили посредством оцифровки спутниковых снимков территории, а также с использованием карт почвенно-растительного покрова, полученных с помощью сканирующего спектрорадиометра среднего разрешения (MODIS). Подобные наборы данных

<sup>1</sup> Генеральный план муниципального образования город Владимир (внесение изменений). Т. 2. Кн. 1. Материалы по обоснованию проекта (в ред. июня 2019 г.). Москва. 2017. 282 с.

<sup>2</sup> Закон Владимирской области от 26.11.2004. № 189-ОЗ «О наделении статусом городского округа муниципального образования город Владимир Владимирской области»

отражают глобальную территорию с высоким пространственным разрешением, что является вполне достаточным для выделения того или иного класса землепользования на изучаемой территории.

Кроме того, проведена детальная оцифровка спутниковых снимков и тематических карт для более подробного анализа землепользования и функционального зонирования городского округа. При анализе спутниковых снимков были использованы данные за период 2001—2020 гг. На снимках может быть выделено 17 классов землепользования (на исследуемой территории встречаются 10):

- 1) хвойные леса;
- 2) лиственные леса;
- 3) смешанные леса;
- 4) редколесья с покрытием 30—60 %;
- 5) редколесья с покрытием 10—30 %;
- 6) луга;
- 7) водноболотные угодья;
- 8) пахотные земли;
- 9) урбанизированные территории;

10) мозаика сельскохозяйственных угодий с 40—60 %-ным покрытием естественной древесной, кустарниковой или травянистой растительностью.

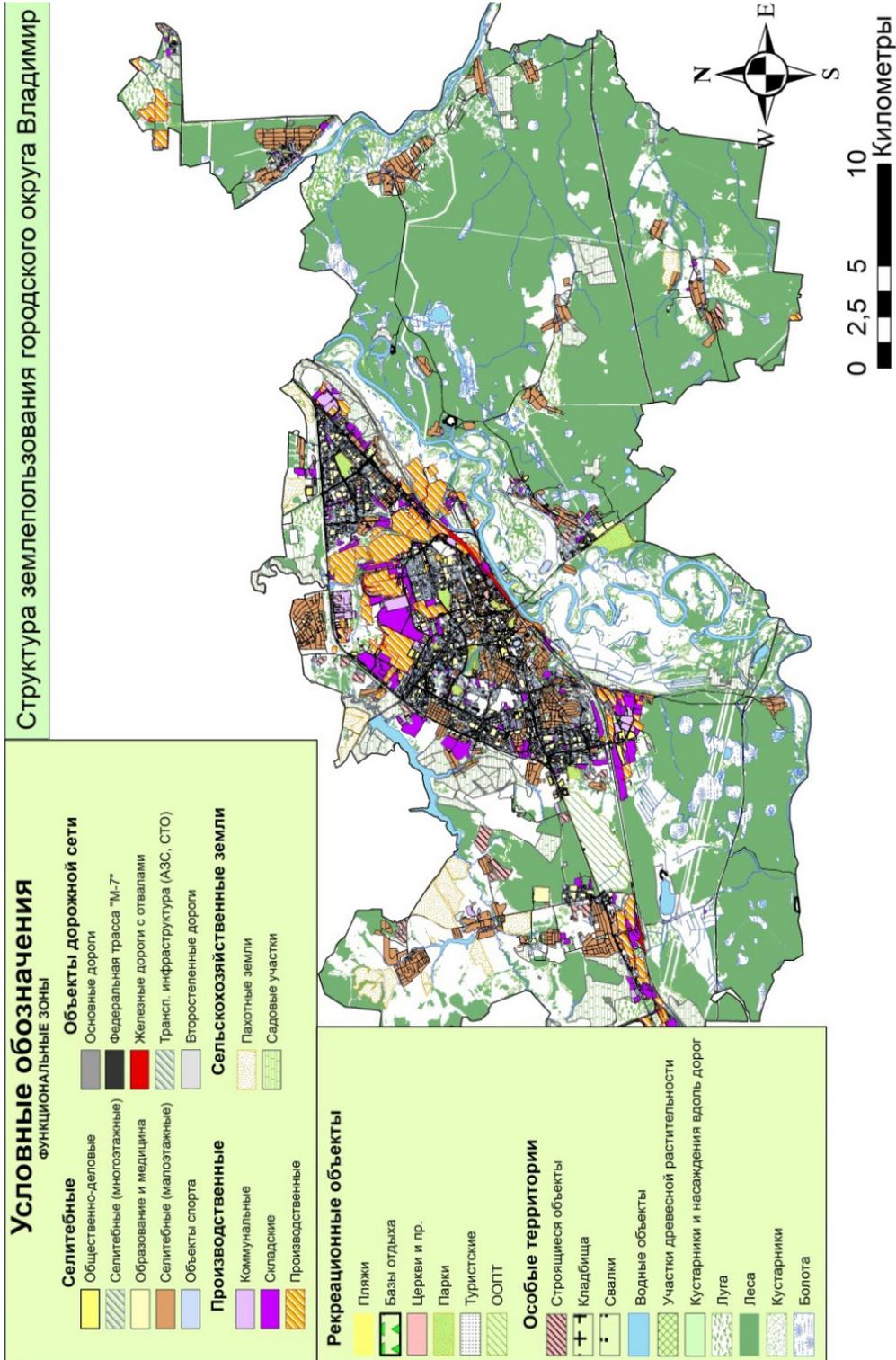
При оцифровке функционального зонирования муниципального образования в соответствии с Земельным кодексом РФ было выделено 9 основных классов территорий с более мелкими категориями:

- 1) территории особого назначения (военные части, режимные объекты, строящиеся объекты, кладбища, свалки);
- 2) водные объекты;
- 3) рекреационные зоны (ООПТ, парковые зоны, базы отдыха, пляжи, объекты туристской инфраструктуры и объекты историко-культурного наследия);
- 4) сельскохозяйственные зоны (пахотные земли, садовые участки);
- 5) производственные зоны (объекты ЖКХ и коммунального хозяйства, складские и производственные объекты);
- 6) объекты транспортной инфраструктуры (в том числе основные, второстепенные автодороги, объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта, федеральные трассы);
- 7) селитебные зоны (жилые массивы мало-, средне- и многоэтажной застройки, объекты сферы обслуживания, образования и здравоохранения, спортивные объекты);
- 8) зеленые насаждения;
- 9) антропогенно-слабоизмененные территории (луговая растительность, леса, кустарники, болота).

## Результаты

Структура землепользования городского округа по состоянию на 2021 г. показана на рис. 1.

Наибольшую долю в структуре землепользования (56 %) занимают лесные массивы, большая часть которых расположена на юго-западе и юго-востоке исследуемой



N  
W E  
S

0 2,5 5 10 Километры

Структура землепользования городского округа Владимир

Рис. 1. Структура землепользования городского округа Владимир

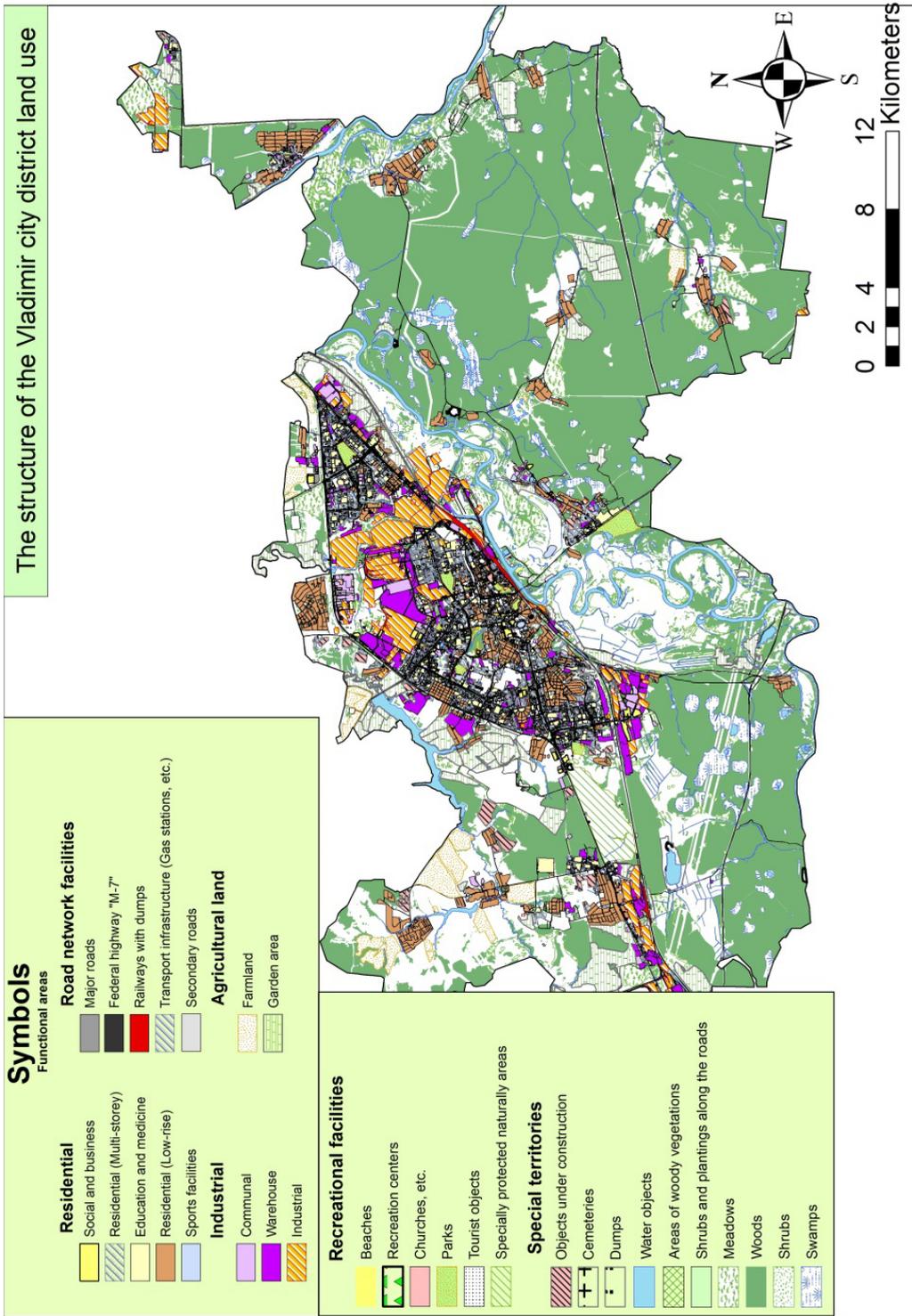


Fig. 1. The structure of the Vladimir city district land use

территории. Территория, занятая лесными массивами, в настоящее время представляет собой антропогенно-слабоизмененную — явления субурбанизации представлены здесь индивидуальной жилой застройкой на окраинах сельских населенных пунктов. Лесные массивы пронизывает сеть коммуникаций (высоковольтные ЛЭП, газопровод).

Садовые участки занимают 5,72 % от общей площади муниципального образования. В основном это садовые товарищества, образованные еще в 1960—1980-х гг. Они окружают город с северо-запада вдоль федеральной трассы М-7 «Волга» (бывшие садовые товарищества Владимирского тракторного завода) и юго-востока вдоль железной дороги Москва — Нижний Новгород (находившиеся ранее в ведении завода «Автоприбор», Владимирского химического завода и Владимирского завода керамических изделий).

Зоны малоэтажной и индивидуальной жилой застройки также занимают сравнительно большую площадь в структуре землепользования (5,19 %). Распределение таких зон крайне неравномерно. Они представлены как в черте города (в основном центральная и западная часть), так и в сельских населенных пунктах, входящих в состав муниципального образования.

Большая часть производственных объектов сконцентрирована в промышленных зонах в восточной и юго-западной частях. Крупнейшие из них — заводы «Автоприбор» и «Точмаш», а также Владимирский электромоторный и Владимирский химический заводы. Промышленная зона в юго-западной части города представлена складскими объектами и предприятиями пищевой промышленности.

Болотные угодья на территории городского округа представлены в основном в пойме р. Клязьмы и небольшим массивом в юго-западной части изучаемой территории. Площадь болот составляет 3,51 % от общей площади муниципального образования.

К крупнейшим водным объектам можно отнести р. Клязьму с многочисленными старицами, водохранилище на р. Содышке, озера Вышихры и Омшаное.

Пахотные земли, занимающие чуть менее 2 % в структуре землепользования, расположены к северу и северо-западу от города, на более плодородных почвах природного района Ополье. До начала 2000-х гг. активно распахивались также и земли на юго-востоке от города, вблизи сельских населенных пунктов, существовала система коллективных хозяйств, однако к настоящему времени эти земли отданы под индивидуальную жилую застройку либо не обрабатываются.

Строящиеся объекты, занимающие в настоящее время 0,67 % территории городского округа, представлены массивами многоэтажных жилых домов в юго-западной и северной части города на окраине уже существующей жилой застройки. Также жилищное строительство активно ведется на территории населенных пунктов Юрьевоц и Энергетик. Малоэтажное строительство включает в себя таунхаусы в центральной части города и коттеджные поселки на северо-западе муниципального образования.

## Обсуждение

Согласно данным, полученным с помощью сканирующего спектрорадиометра MODIS, наибольшую долю в структуре землепользования городского округа занимают лесные массивы, причем с 2001 г. их площадь увеличилась с 34 до 39 км<sup>2</sup>.

Доля залежных земель увеличивалась с конца 1980-х гг. до 2011—2014 гг., когда максимальное значение достигло 33 % от общей площади городского округа. Это

обусловлено резким снижением обрабатываемых сельскохозяйственных земель и их постепенным зарастанием. К настоящему времени на территории муниципального образования происходит рекультивация заброшенных земель либо их застройка индивидуальными жилыми домами, вследствие чего площадь залежей снизилась на 6 %.

Площадь городского округа, занятая лугами, сократилась с 31 до 27 км<sup>2</sup>, что также связано с зарастанием и активным пригородным строительством.

Площадь урбанизированных территорий за исследуемый период изменилась незначительно. Причиной этого является проектирование и строительство жилых кварталов небольшой площади с многоэтажной застройкой (часто выше 12 этажей) с плотностью застройки 7000—9000 м<sup>2</sup>/га.

Функциональное зонирование городского округа в современных границах за исследуемый период претерпело значительные изменения. Происходит активное расширение жилых массивов за счет освоения новых территорий на окраинах города. Однако площадь прочих территорий, относящихся к классу селитебных (объекты здравоохранения и образования, спорта), практически не изменилась с 2001 г. ввиду того, что в 2000-х гг. наблюдалась стагнация данных отраслей, что привело к передаче многих объектов в частные руки либо к реперофилированию под другие нужды.

Сеть федеральных и региональных автомобильных дорог за рассматриваемый период также претерпела значительные изменения. Помимо уже имеющегося участка федеральной автодороги М-7 «Волга», в начале 2000-х гг. введена в эксплуатацию объездная дорога, проходящая к югу от территории города.

В настоящее время также ведется строительство скоростной автомобильной магистрали М-12 Москва — Казань — Екатеринбург, которая станет дублером уже имеющейся трассы М-7 «Волга». К сети региональных автодорог также относятся три магистрали межрегионального значения: Владимир — Муром — Арзамас (юго-восток), Владимир — Муром — Рязань (юго-запад) и Ярославль — Кострома — Иваново — Владимир (север).

Общая площадь озелененных территорий в настоящее время составляет 398,5 га и обеспечивает 11,1 м<sup>2</sup> на одного жителя, что не соответствует рекомендуемому значению 16 м<sup>2</sup>/чел<sup>1</sup>. В основном озелененные территории общего пользования располагаются в центральной части города; в зонах старой индивидуальной застройки они практически отсутствуют. Распределение зеленых насаждений на территории городского округа неравномерно. Например, обеспеченность западной части города соответствует норме лишь за счет лесного парка «Дружба», являющегося ООПТ и занимающего площадь в 257,0 га. Кроме того, наблюдается несоответствие озелененных территорий общего пользования по показателям благоустроенности (наличие пешеходной тропинойной сети, освещения, эстетической привлекательности и пр.).

## Заключение

Сохранение, развитие, визуальное раскрытие природно-ландшафтного каркаса, формируемого системой городских зеленых массивов и долин рек и образующего природоохранную и рекреационную подсистему территории города, должно стать одним из основных направлений развития и совершенствования

<sup>1</sup> СП 42.13330.2016 Градостроительство

пространственной организации городского округа. Развитие и совершенствование сложившегося каркаса городского общественного центра, примагистральных территорий и общественных подцентров, визуальное акцентирование характерных архитектурно-пространственных признаков городской среды должны проводиться на основе анализа использования городской территории при тщательном анализе и планировании структуры землепользования. Охрана зеленого фонда городских и пригородных территорий, увеличение площади зеленых насаждений всех категорий для улучшения экологической обстановки должны стать основными планировочными задачами по сохранению и развитию природного комплекса городского округа. Необходимо обеспечение нормативных требований по озеленению городских территорий.

### Список литературы

- [1] Бобылев С.Н., Соловьева С.В., Ситкина К.С. Индикаторы устойчивого развития Уральского региона // *Экономика региона*. 2013. № 2(34). С. 10—17
- [2] Конюшков Д.Е. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2015. № 80. С. 26—49.
- [3] Сокольская Е.В. Подходы к изучению и формированию экологической комфортности городской среды (на примере г. Тирасполя) // *Вестник Приднестровского университета. Серия: Медико-биологические и химические науки*. 2021. № 2 (68). С. 172—179.
- [4] Васенев В.И., Ауденховен А.П.В., Ромзайкина О.Н., Гаджагаева Р.А. Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) // *Почвоведение*. 2018. № 10. С. 1177—1191.
- [5] Климина Е.М. Ландшафтно-картографическое обеспечение территориального планирования (на примере Хабаровского края). Владивосток: Дальнаука. 2007. 132 с.
- [6] Калманова В.Б. Экологический каркас урбанизированных территорий (на примере города Биробиджана) // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. Т. 18. № 2. С. 385—388.
- [7] Мищенко Н.В., Баранова К.Е. Оценка состояния земельных угодий // *Агрохимический вестник*. 2011. № 3. С. 19—21.
- [8] Чугай Н.В., Курочкин И.Н., Кулагина Е.Ю. Анализ динамики структуры землепользования бассейна реки Тезы // *Аграрная Россия*. 2021. № 12. С. 31—36.
- [9] Строганова М.Н., Прокофьева Т.В., Прохоров А.Н., Лысак Л.В., Сизов А.П., Яковлев А.С. Экологическое состояние городских почв и стоимостная оценка земель // *Почвоведение*. 2003. № 7. С. 867—875.

### References

- [1] Bobylev SN, Solov'eva SV, Sitkina KS. Indicators of sustainable development of the Ural region // *Economy of the Region*. 2013. № 2(34). С. 10—17 (in Russ.)
- [2] Konyushkov DE. Formation and development of the concept of ecosystem services: review of foreign publications // *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 2015. № 80. С. 26—49.
- [3] Sokol'skaya EV. Approaches to the study and formation of ecological comfort of the urban environment (on the example of Tiraspol). *Bulletin of the Pridnestrovian University. Series: Biomedical and Chemical Sciences*. 2021;2(68):72—179. (in Russ.)
- [4] Vasenev VI, Audenhoven APV, Romzaykina ON, Gadjiagaeva RA. Ecological functions and ecosystem services of urban and man-made soils: from theory to practical application (review) // *Soil science*. 2018. № 10. С. 1177—1191.
- [5] Klimina EM. Landscape and cartographic support of territorial planning (on the example of the Khabarovsk Territory). Vladivostok: Dal'nauka Publ. 2007. (in Russ.)
- [6] Kalmanova VB. Ecological framework of urbanized territories (on the example of the city of Birobidzhan). *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016;18(2):385—388. (in Russ.)
- [7] Mischenko NV, Baranova KE. Assessment of the state of land. *Agrochemical Bulletin*. 2011;3:9—21. (in Russ.)
- [8] Chugay NV, Kurochkin IN, Kulagina EYu. Analysis of the dynamics of the structure of land use of the Teza River basin. *Agrarian Russia*. 2021;12:31—36. (in Russ.)

[9] Stroganova MN, Prokof'eva TV, Prokhorov AN, Lyusak LV, Sizov AP, Yakovlev AS. Ecological condition of urban soils and land valuation // *Soil Science*. 2003. № 7. С. 867—875.

**Сведения об авторах:**

Курочкин Иван Николаевич, ассистент кафедры биологии и экологии, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87. ORCID: 0000-0002-0405-2225. SPIN-код: 2278-0422. E-mail: ivan33vl@yandex.ru

Трифорова Татьяна Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой биологии и экологии Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. ORCID: 0000-0002-1628-9430. SPIN-код: 7747-6193. E-mail: tatrifon@mail.ru

Чугай Наталья Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и экологии Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. E-mail: ivan33vl@yandex.ru.

**Bio notes:**

Ivan N. Kurochkin, Assistant of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, 87 Gorky str., Vladimir, 600000, Russia. ORCID: 0000-0002-0405-2225. SPIN code: 2278-0422 E-mail: ivan33vl@yandex.ru .

Tatiana A. Trifonova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov. ORCID: 0000-0002-1628-9430 SPIN code: 7747-6193 E-mail: tatrifon@mail.ru

Natalia V. Chugai, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biology and Ecology, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov. SPIN-code: 4062-7713 E-mail: ivan33vl@yandex.ru